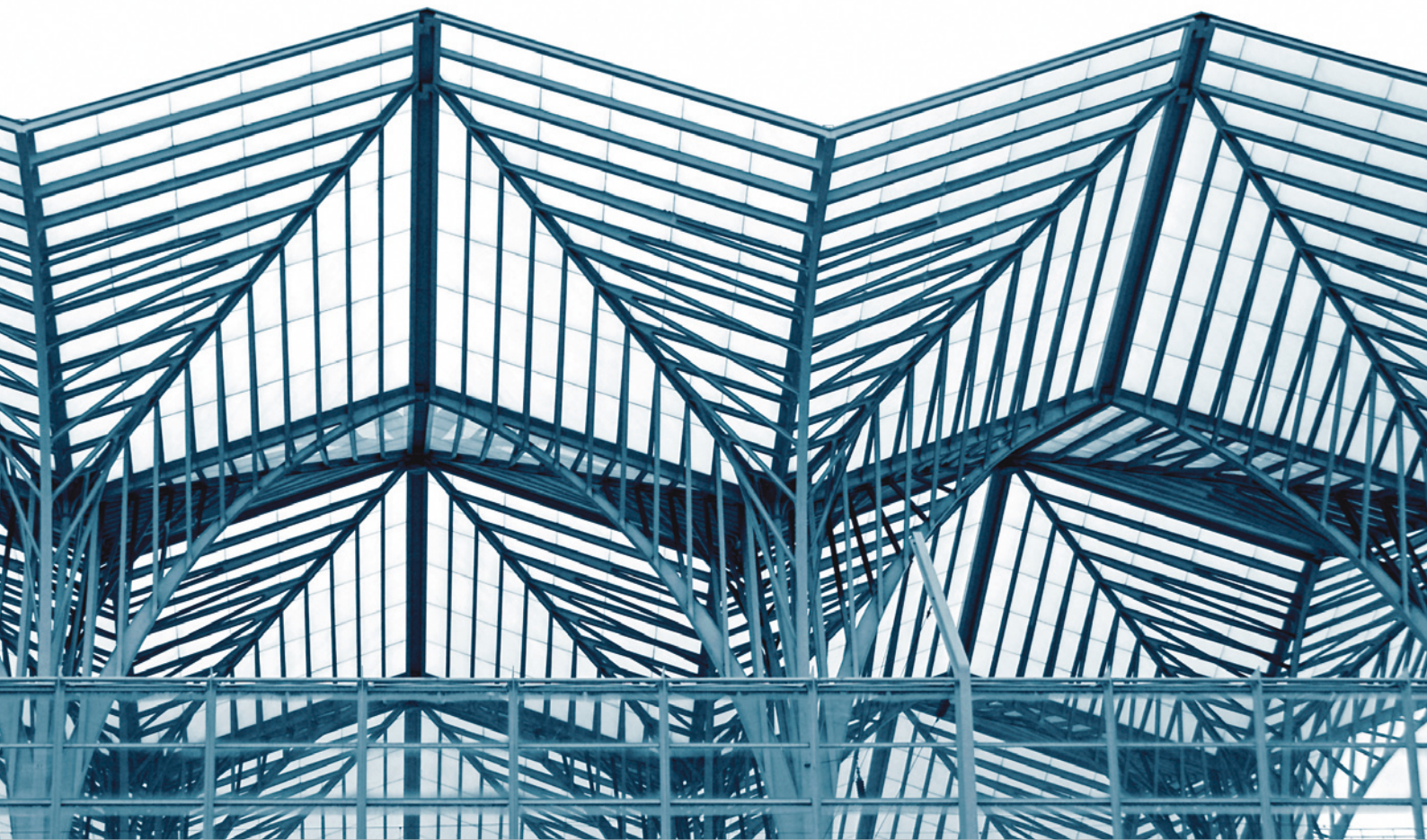


Teräsrakentaminen



STÅLBYGGNADSinSTITUTET

Teräsrakentaminen

TERÄSRAKENTAMINEN

Stålbyggnadsinstitutet
Teräsrakentaminen

Alkuperäisteos
Stålbyggnad. Stålbyggnadsinstitutet, 2004.

ISBN 978-951-784-457-1
ISSN 1795-4231
HAMKin julkaisuja 2/2008

© Hämeen ammattikorkeakoulu ja kirjoittajat

JULKAISIJA
Hämeen ammattikorkeakoulu
PL 230
13101 HÄMEENLINNA
puh. (03) 6461
faksi (03) 646 4259
julkaisut@hamk.fi
www.hamk.fi/julkaisut

Kannen suunnittelu ja taitto: Offsetkolmio Oy, Hämeenlinna

Painopaikka: Saarijärven Offset Oy, Saarijärvi

Hämeenlinna, tammikuu 2008

SVENSK STÅLBYGGNADSFORSKNING -SÄÄTIÖN JÄSENET

Teräsvalmistajat

Arcelor
Corus Svenska AB
Outokumpu Stainless AB
Rautaruukki Rör AB
SSAB Oxelösund AB
SSAB Tunnplåt AB

Teräksen tukkukauppiat

Bröderna Edstrand AB
Tibnor AB

Ohutlevyvalmistajat

Europrofil AB
Gasell Profil AB
Lindab Profil AB
Plannja AB

Kiinteistö- ja rakennusalan yritykset

Arcona AB
Open House System AB
PEAB AB
Skanska Sverige AB

Palontorjuntakalusto

GPG Fire Systems AB
NFP Systems AB
Stål- och Brandteknik AB
Tepro byggmaterial AB

KONSULTTIPALVELUJA TARJOAVAT INSINÖÖRITOIMISTOT

Bjerking AB
Bloms Ingenjörbyrå AB
ELU Konsult AB
FB Engineering AB
Hillstatik AB
Kadesjös Ingenjörbyrå AB
PI i Göteborg PIAB AB
Prodevelopment i Sverige AB
Projektteamet Västsvenska AB
Ramböll
Sweco Bloco AB
SZ Konsult AB
Tyréns AB
VBK
WSP Sverige AB

Valvonta/testaus

Force Technology Sweden AB
Ingenjör Joel L Jonsson AB

Saumaus/koneet

Ejot & Avdel System AB
Emhart Teknik AB
ESAB AB
K-Plast AB
Richard Steen AB
SFS Intec AB
U-nite Fasteners Technology AB

Eristys ja kevytrakentaminen

Gyproc AB
Knauf Danogips GmbH
Norgips Svenska AB
Paroc AB
Saint-Gobain Isover AB

Tietokoneohjelmat/tietotekniikka

StruProg AB
Tekla Software AB

Teräsrakentajat ja konepajat

Bröderna Jansson-Nissavarvet, AB
Contiga AB
DEM-Verk Mekaniska AB
EAB AB
Göinge Mekaniska AB
H Forssells Smidesverkstad, AB
H-Steel Oy Ltd
LECOR Stålteknik AB
Llentab AB
Maku-Stål, AB
Normek Sverige AB
Peikko AB
PPTH Norden Oy
Ranaverken, AB
Scandinavian WeldTech AB
Skanska Stålteknik AB
Smederna, AB
Stålmonteringar AB STÅLAB
SWL Stålkonstruktioner AB
Västanfors Industrier, AB

Etujärjestöt

Jernkontoret
Mekaniska Verkstädernas Riksförbund
Plåtslageriernas Riksförbund
Sveriges Färgfabrikanterns Förening
The Steel Construction Institute

Etujärjestöt maaliskuussa 2004

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|-----------|
| TERÄSRAKENTAMINEN | 1 |
| SUOMENKIELISEN KÄÄNNÖKSEN ESIPUHE | 13 |
| 1. TERÄSRAKENTAMINEN ENNEN JA TULEVAISUUDESSA | 14 |
| 1.1 TERÄSRAKENTAMISEN HISTORIA | 15 |
| 1.2 TERÄSRAKENTAMINEN RUOTSISSA | 16 |
| 1.3 MIKSI RAKENTAA TERÄKSESTÄ? | 20 |
| 2. TERÄS | 21 |
| 2.1 VALMISTUSPROSESSIT | 21 |
| 2.2.2 Hiiliteräs ja hiilimangaaniteräs | 26 |
| 2.2.3 Hienorae- tai mikroseosteräs | 26 |
| 2.2.4 Nuorrutettu ja termomekaanisesti valssattu teräs | 26 |
| 2.2.5 Kylmämuokattu teräs | 26 |
| 2.2.6 Ruostumaton teräs | 26 |
| 2.3 ELASTINEN JA PLASTINEN MUODONMUUTOS | 27 |
| 2.4 TERÄKSEN FYSIKAALISET OMINAISUUDET | 28 |
| 2.4.1 Muokkauskäyrä | 28 |
| 2.4.2 Sitkeys | 29 |
| 2.5 TERÄSSTANDARDEJA | 31 |
| 3. RAKENNEOSAT, PROFIILIT | 33 |
| 3.1 KUUMAVALSSATUT TANGOT | 33 |
| 3.2 KUUMA- JA KYLMÄVALSSATUT LEVYIT | 33 |
| 3.3 HITSATUT PALKIT | 34 |
| 3.4 RAKENNEPUTKET | 35 |
| 3.5 OHUTLEVY JA KYLMÄMUOKATUT PROFIILIT | 36 |
| 3.6 KARKEA- JA MEDIUM-LEVYSTÄ KYLMÄMUOKATUT PROFIILIT | 37 |
| 3.7 RUOSTUMATTOMASTA TERÄKSESTÄ VALMISTETUT RAKENNEOSAT | 38 |
| 3.9 TOIMITUSTAPA | 39 |
| 3.10 MATERIAALIEN HINNAT | 40 |
| 4. LIITOSMENETELMÄT | 42 |
| 4.1 HITSILIITOKSET | 42 |
| 4.1.1 Materiaalit ja menetelmät | 42 |
| 4.1.4 Hitsityypit ja niiden kuvaukset | 46 |
| 4.1.5 Hitsiluokat | 46 |
| 4.1.6 Hitsausvirheet | 46 |
| 4.2 RUUVILIITOKSET | 48 |
| 4.2.1 Ruuviliitosten luokittelu | 48 |
| 4.2.3 Reuna- ja keskiöväli | 50 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5. | HALLIRAKENNUKSET | 52 |
| 5.1 | KONSEPTISUUNNITTELU..... | 53 |
| 5.2 | RUNKORAKENNE | 54 |
| 5.2.1 | Kuormat | 54 |
| 5.2.3 | Raskaat hallit | 56 |
| 6. | MUUT RAKENNUKSET..... | 58 |
| 6.1 | RUNKORAKENTEET | 58 |
| 6.2 | TERÄSRUNGOISSA KÄYTETYT TUOTTEET | 61 |
| 6.3 | VERTIKAALINEN KANTAVA RAKENNE | 62 |
| 6.4 | HORISONTAALINEN KANTAVA RAKENNE..... | 62 |
| 6.5 | VÄLIPOHJA | 62 |
| 6.5.1 | Esivalmistetut betonivälipohjat..... | 64 |
| 6.5.2 | Osittain paikalleen valetut välipohjat | 64 |
| 6.5.3 | Kevyet välipohjat | 65 |
| 6.6 | RUNGON TÄYDENTÄMINEN | 66 |
| 6.6.1 | Seinät | 66 |
| 6.6.2 | Julkisivut | 67 |
| 6.6.3 | Katto | 68 |
| 6.7 | RAKENNUSJÄRJESTELMÄT | 68 |
| 6.7.1 | Teräs-ontelolaattajärjestelmä..... | 69 |
| 6.7.2 | Kevytrakentaminen teräksestä..... | 69 |
| 7. | TERÄSSILLAT | 72 |
| 7.1 | HISTORIAALLISET TERÄSSILLAT | 72 |
| 7.2 | YLEISTÄ SILLOISTA..... | 76 |
| 7.3 | TERÄSPALKKISILLAT | 77 |
| 7.3.1 | Palkkisillan osat | 77 |
| 7.3.2 | Liittopalkkisillat..... | 78 |
| 7.3.3 | Teräspalkkisilta, jossa on teräsajorata | 79 |
| 7.3.4 | Ristikkosillat | 79 |
| 7.3.5 | Palkkisiltojen työntömenetelmä | 79 |
| 7.4 | TERÄKSISET KAARISILLAT..... | 80 |
| 7.5 | KAAPELISILLAT | 81 |
| 7.5.1 | Vinoköysisillat | 81 |
| 7.5.2 | Riippusillat..... | 83 |
| 8. | DETALJISUUNNITTELU..... | 87 |
| 8.1 | MITOITUS | 88 |
| 8.2 | PILARIN POHJALEVY..... | 88 |
| 8.3 | PILARIJATKOS | 90 |
| 8.4 | PALKKI-PILARIKIINNITYS..... | 91 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 8.5 | PILARIN PÄÄ..... | 92 |
| 8.6 | PALKKIJATKOKSET..... | 93 |
| 8.7 | PALKKI-PALKKILIITOS..... | 94 |
| 8.8 | TANKOKIINNITYS..... | 95 |
| 9. | VALMISTUS – ASENNUS – TARKASTUS..... | 96 |
| 9.1 | VALMISTUS..... | 96 |
| 9.1.1 | Materiaalivarasto..... | 97 |
| 9.1.2 | Tangon työstäminen..... | 97 |
| 9.1.3 | Levyn työstäminen..... | 98 |
| 9.1.4 | Yhteenliittäminen..... | 98 |
| 9.1.5 | Valmistustarkkuus..... | 100 |
| 9.2 | KULJETUKSET..... | 101 |
| 9.3 | ASENNUS..... | 101 |
| 9.3.1 | Rungon asentaminen..... | 103 |
| 9.3.3 | Hitsaaminen rakennuspaikalla..... | 105 |
| 9.4 | TARKASTUS..... | 105 |
| 9.4.1 | Materiaalin tarkastaminen..... | 106 |
| 9.4.3 | Tarkastusmenetelmät..... | 110 |
| 10. | PALOTURVALLISUUS..... | 112 |
| 10.1 | PALOTURVALLISUUSSUUNNITTELU..... | 112 |
| 10.2 | TULIPALO..... | 113 |
| 10.2.1 | Tulipalon eteneminen..... | 113 |
| 10.2.2 | Tulipalon leviäminen..... | 114 |
| 10.3 | PALONEHKÄISY..... | 114 |
| 10.3.1 | Sprinkleri..... | 114 |
| 10.3.2 | Savunpoisto..... | 115 |
| 10.3.3 | Varauloskäynnit..... | 115 |
| 10.3.4 | Erottavat konstruktioit..... | 115 |
| 10.3.5 | Kantavien runkojen paloturvallisuus..... | 115 |
| 10.4 | PALOTURVALLISUUSSUUNNITTELU..... | 117 |
| 10.5 | LUOKITUKSEEN PERUSTUVA MITOITUS..... | 117 |
| 10.5.1 | Lämmönsiirtymiskertoimen määrittäminen..... | 118 |
| 10.5.2 | Kuormitusten mitoittaminen tulipalon yhteydessä..... | 119 |
| 10.5.3 | Mitoittaminen..... | 119 |
| 10.5.4 | Mitoitus esimerkkejä..... | 120 |
| 10.6 | LUONNOLLISEEN PALONKEHITYKSEEN PERUSTUVA MITOITUS..... | 121 |
| 10.6.1 | Kaasun lämpötilan määrittäminen..... | 122 |
| 10.6.2 | Teräksen lämpötilan määrittäminen..... | 123 |
| 10.7 | KANTOKYKY TULIPALON YHTEYDESSÄ..... | 125 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 11. | RUOSTESUOJAUS | 126 |
| 11.1 | OLOSUHTEET KORROOSIOLLE JA KORROOSIOLUOKAT | 126 |
| 11.2 | RUOSTESUOJAMAALAUUS | 127 |
| 11.2.1 | Ruostesuojamaalien suojamekanismi | 127 |
| 11.2.2 | Esikäsitteily | 128 |
| 11.2.3 | Pintakäsittely – Maalaus | 129 |
| 11.2.4 | Ruostesuojamaalit | 130 |
| 11.2.5 | Työympäristö | 131 |
| 11.3 | SINKITYS | 131 |
| 11.3.1 | Kuumasinkitys | 131 |
| 11.3.2 | Ruiskusinkitys | 132 |
| 11.3.3 | Sinkkipinnan maalaaminen | 133 |
| 11.4 | RAKENTEIDEN SUUNNITTELU | 133 |
| 11.5 | RUOSTESUOJAUSMENETELMÄN VALINTA | 134 |
| 12. | RAKENNUSELVITYS | 135 |
| 12.1 | TEHTÄVÄNJAKO | 135 |
| 12.1.1 | Kokonaisurakointi | 136 |
| 12.2 | ERI PIIRUSTUSTYYPIT | 136 |
| 12.2.1 | Asennuspiirustukset | 136 |
| 12.2.2 | Tuotantopiirustukset | 140 |
| 12.3 | PIIRUSTUSTEKNIikka | 142 |
| 12.4 | NIMIKKEET | 142 |
| 13. | OHUTLEVYRAKENTEET | 144 |
| 13.1 | OHUTLEVYTEKNIikka | 144 |
| 13.1.2 | Teräslajit | 145 |
| 13.2 | VALMISTUS | 147 |
| 13.3 | TUOTTEET | 150 |
| 13.3.1 | Levykate ja nauhakate | 150 |
| 13.3.2 | Tuet | 150 |
| 13.3.3 | Yhdistelmäprofiilit | 151 |
| 13.3.4 | Profiloitu levy | 152 |
| 13.3.5 | Kasetit | 152 |
| 13.3.6 | Puristetut levytuotteet | 152 |
| 13.3.7 | Sandwich-paneelit | 153 |
| 13.3.8 | Liittoprofiilit | 155 |
| 13.4 | KIINNITYSOSAT | 155 |
| 13.4.1 | Liitokselle asetetut vaatimukset | 155 |
| 13.4.2 | Ohutlevyliitostyyppit | 155 |
| 13.4.3 | Ruuviliitoksen vahvuus ja jäykkyys | 160 |
| 13.4.4 | Pysyvyys | 160 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 13.5 | RAKENNUSKONSTRUKTIOT | 161 |
| 13.5.1 | Hallirakennusten seinät | 161 |
| 13.5.4 | Julkisivut | 164 |
| 13.5.5 | Kevyet välipohjat | 164 |
| 13.6 | RAKENNE | 165 |
| 13.6.1 | Murtumisilmiö | 165 |
| 13.6.2 | Mitoitus | 165 |
| 13.7 | TULEVA KEHITYS | 166 |
| 13.7.1 | Olemassa olevien tuotteiden kehitys | 166 |
| 13.7.2 | Uudet tuotteet | 166 |
| 14. | LIITTORAKENTEET | 167 |
| 14.1 | ERI LIITTORAKENNETYYPPEJÄ | 167 |
| 14.2 | LIITTOPALKIT | 169 |
| 14.2.1 | Suunnittelu | 169 |
| 14.2.2 | Staattinen vaikutustapa | 169 |
| 14.3 | LIITTOVÄLIPOHJA | 173 |
| 14.3.1 | Suunnittelu | 173 |
| 14.3.2 | Staattinen vaikutustapa | 173 |
| 14.4 | LIITTOPILARI | 174 |
| 14.4.1 | Suunnittelu | 174 |
| 14.4.2 | Staattinen vaikutustapa | 175 |
| 15. | YMPÄRISTÖ | 176 |
| 15.1 | ENERGIA | 177 |
| 15.2 | MATERIAALI | 179 |
| 15.3 | KIERTO JA KIERRÄTYS | 180 |
| 15.4 | YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET | 181 |
| 15.5 | SISÄYMPÄRISTÖ | 181 |
| 15.5.1 | Kosteus ja korroosio | 182 |
| 15.5.2 | Ilman laatu ja mukavuus | 183 |
| 15.6 | YMPÄRISTÖOHJAUS | 184 |
| 15.6.1 | Ympäristöluokat | 184 |
| 15.6.2 | Lait ja ympäristöpolitiikka | 184 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 16. | MITOITUS | 187 |
| 16.1 | MITOITUKSEN PERUSTEET | 187 |
| 16.1.1 | Määräykset ja ohjeet | 187 |
| 16.1.2 | Rajatilamitoitus ja osavarmuusluvut | 189 |
| 16.1.3 | Laskentamalli | 191 |
| 16.1.4 | Materiaaliominaisuudet | 193 |
| 16.2 | TAIVUTUSMOMENTIN KUORMITTAMAN PROFIILIN KESTÄVYYS | 199 |
| 16.2.1 | Taivutusmomenttikapasiteetti, ei hoikat poikkileikkaukset | 199 |
| 16.2.3 | Poikkileikkausluokat | 204 |
| 16.2.5 | Leikkausvoimakapasiteetti | 207 |
| 16.2.6 | Pistekuormakestävyys | 213 |
| 16.2.7 | Taipumat | 215 |
| 16.2.8 | Mitoitus Eurokoodi 3:n mukaan | 215 |
| 16.3 | NORMAALIVOIMAN KUORMITTAMAN PROFIILIN KESTÄVYYS | 217 |
| 16.3.1 | Vetokestävyys | 217 |
| 16.3.2 | Puristuskestävyys (ilman nurjahdusta) | 217 |
| 16.3.3 | Nurjahduskestävyys | 217 |
| 16.3.4 | Mitoitus Eurokoodi 3:n mukaan | 222 |
| 16.4 | NORMAALIVOIMAN JA TAIVUTUSMOMENTIN KUORMITTAMAN PROFIILIN KESTÄVYYS | 225 |
| 16.4.1 | Vaikutustapa | 225 |
| 16.4.3 | Yhteisvaikutuskaavat | 228 |
| 16.4.4 | Mitoitus Eurokoodi 3:n mukaan | 228 |
| 16.5 | ERIKOISTAPAUKSET | 230 |
| 16.5.1 | Ristikot | 230 |
| 16.5.2 | Liittorakenteet | 233 |
| 16.6 | HITSILIITOKSET | 233 |
| 16.6.2 | Hitsausliitoksen kestävyys | 234 |
| 16.7 | RUUVILIITOKSET | 235 |
| 16.7.1 | Ruuviliitoksen voimien jakautuminen | 235 |
| 16.7.2 | Ruuviliitoksen kestävyys | 237 |

SUOMENKIELISEN KÄÄNNÖKSEN ESIPUHE

Suomenkielinen käännös perustuu oppikirjaan "Stålbyggnad", joka on Ruotsissa yleisesti käytetty ja arvostettu teräs-rakentamisen yleisteos. Pääosan käännöstyöstä on tehnyt tekniseen kirjoitukseen erikoistunut käännöstoimisto. Li-säksi kirjan viimeinen osa, luku 16, on uudistettu vastaamaan uusia Eurokoodi -ohjeita. Kirjassa esitetyt SS-standardit viittaavat Ruotsissa käytössä oleviin EN- ja ISO-standardeihin. Ne vastaavat suurelta osin Suomessa käytettyjä vastaa-via SFS-standardeja.

Käännöstyö ja uudistaminen on toteutettu Euroopan unionin tuella rahoitetussa Teräsrakentamisen alueelliset tuote-kehitys- ja koulutusketjut ja koulutuksen pilotoinnit hankkeessa.

Hämeenlinnassa 18 joulukuuta 2007
Hämeen ammattikorkeakoulu, InnoSteel



Öresundin silta on rakennettu teräsristikoista, jotka on liitetty betonista valmistettuun ajorataan. Sillan ylemmässä kerroksessa kulkee nelikaistainen moottoritie ja alemmassa kerroksessa kahdet rautatiekiskot. Se on hyvä esimerkki teollisesta tuotannosta, ja hankkeessa hyödynnettiin monia huipputeknologian sovelluksia.

I. TERÄSRAKENTAMINEN ENNEN JA TULEVAISUUDESSA

Teräkseksi kutsutaan seosta, joka sisältää rautaa, korkeintaan 2 prosenttia hiiltä sekä pienempiä määriä muita alkuaineita. Raudaksi nimitetään nykyisin alkuainetta Fe, ja sanaa rauta käytetään myös yhdyssanoissa, kuten *valurauta* ja *harkkorauta*, jotka ovat runsaasti hiiltä sisältäviä seoksia. Aikaisemmin sanalla *rauta* viitattiin kaikkiin rautaseoksiin, ja sana löytyy myös esihistoriallisen ajanjakson nimestä. Rautakausi alkoi noin 3 400 vuotta sitten Lähi-idässä. Pohjolaan se saapui noin 2 500 vuotta sitten. Rautakaudelle tyypillistä oli se, että rautaa käytettiin yleisesti työkaluissa ja aseissa. Myös selvästi vanhempia rautaesineitä on löydetty, mutta ne on valmistettu meteoriittiraudasta. Rautakauden alkaminen edellytti sitä, että ihminen kehitti tekniikan, jolla rautaa tuotettiin malmista.

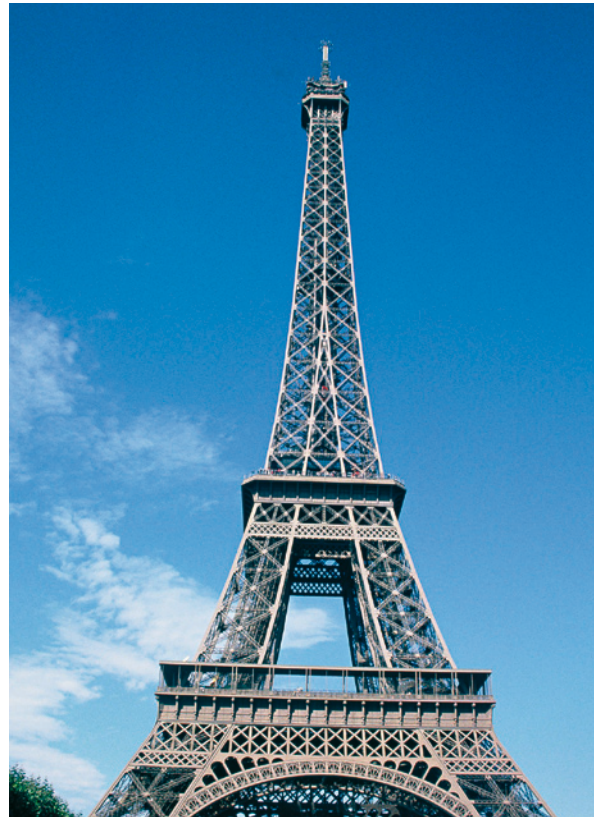
Teräsrakentamisen historia ei ulotu yhtä kauas ajassa taaksepäin. Terästä käytettiin aluksi puu- ja kivirakennusten liitoksissa: siitä valmistettiin muun muassa nauvoja, vaarvoja ja hakoja. 1500-luvulla terästankojen ja -levyjen taonta alkoi kehittyä. 1700-luvulla pellin käyttö kattomateriaalina yleistyi. Ensimmäinen suuri rautarakennelma Ironbridge rakennettiin Englannissa vuosina 1776–1779 (ks. kuva 1.1). Se on valuraudasta rakennettu silta, joka seisoo edelleen paikoillaan ja jonka jänneväli on 30 metriä. Silta oli niin ainutlaatuinen, että sen nimellä alettiin kutsua myös sen ympärillä elävää yhdyskuntaa.

Kuva 1.1 Severn-joen yli kulkeva Ironbridge-silta Englannissa valmistui vuonna 1779. Se on ensimmäinen suuri valurautarakennelma. Holvikaaaret ovat perua kivsiltatekniikasta, mutta ne ovat tarkoituksenmukaiset myös valurautaa käytettäessä, koska valurauta ei sovellu käyttöön vetojännityksen ollessa suuri.





Kuva 1.2 Tukholmassa sijaitsevan Riddarholmenin kirkon tornin huippu on Ruotsin ensimmäinen suuri valurautarakenne vuodelta 1846. Noin 10 tonnia painava huippu nostettiin paikoltaan helikopterilla, kun sitä korjattiin vuosina 1967–1970.



Kuva 1.3 Yksi maailman tunnetuimmista teräsrakennuksista, Eiffel-torni.

1.1 TERÄSRAKENTAMISEN HISTORIA

Vuosina 1838–1846 rakennettiin Ruotsin suurin rautarakenne, Tukholman Riddarholmenin kirkon tornin huippu (ks. kuva 1.2). Uppsalaan vuonna 1846 rakennettu Jernbron-silta sekä Göteborgiin lähelle Vargön saarta vuonna 1866 rakennettu silta ovat esimerkkejä ensimmäisistä ruotsalaisista teräsrakenteisista rautatiesilloista. Junien raskaat lastit edellyttivät uutta tekniikkaa, ja rautatieverkoston kasvu vauhditti puolestaan teräsrakentamisen kehittymistä. Teräsrakentamisen kehittyminen oli osa teollistumista, ja se oli alun alkaen teollinen rakentamismenetelmä. Myös teollisuusrakennukset olivat – ja ovat edelleen – merkittäviä teräsrakentamiselle.

Maailman tunnetuin teräsrakennelma lienee Eiffel-torni (ks. kuva 1.3). Se rakennettiin vuonna 1889 järjestettyyn Pariisin maailmannäyttelyyn, ja sen suunnitteli Gustave Eiffel. Torni on 300 metriä korkea, ja sen rakentaminen kesti 17 kuukautta. Se on ristikkorakennetekniikan mestariteos. Eri osat liitettiin yhteen niitein. Niittäus olikin 1900-luvun alkuun asti yleisin liitosmenetelmä.

Teräksen uudenaikainen massatuotanto alkoi, kun Bessemer-menetelmä keksittiin. Menetelmä patentoitiin vuonna 1855. Samalla valssaustekniikka kehittyi. Tuohon aikaan valssattiin peltiä ja kulmia, ja vuonna 1895 yhdysvaltalainen yhtiö Carnegie Steel patentoi I-palkin valssauksen.

Kuva 1.4 New Yorkin World Trade Centerin tornit kuuluivat valmistuessaan vuonna 1973 maailman korkeimpien rakennusten joukkoon. Ne tuhoutuivat 11. syyskuuta 2001 terroristi-iskussa, jonka poliittiset vaikutukset olivat mullistavat ja joka käynnisti myös keskustelun rakennusten turvallisuudesta. Teräsrakenteet ovat kuitenkin edelleen varma ja kustannustehokas tapa rakentaa pilvenpiirtäjiä.



I-palkkeja käytetään pilareina ja palkkeina, ja niiden käyttöönoton myötä kerrostalorakentaminen kasvoi nopeasti Yhdysvalloissa. Hitsaaminen keksittiin 1900-luvun alussa, ja se korvasi – yhdessä ruuviliitosten kanssa – niittauksen liitosmenetelmänä. Nykyaikaisen teräsrakentamisen perusta oli luotu.

Pilvenpiirtäjiä rakennettaessa teräs on luonnollinen vaihtoehto. Esimerkkinä voidaan mainita World Trade Centerin kaksoistornit New Yorkissa (ks. kuva 1.4). Ne tuhoutuivat terroristi-iskussa 11. syyskuuta 2001. Iskua seuranneessa keskustelussa kyseenalaistettiin se, onko pilvenpiirtäjiä järkevää rakentaa ja onko terästä järkevää käyttää runkomateriaalina. Vastaus on kuitenkin ilmeinen: sellaisia rakennuksia, jotka kestäisivät varmasti kaikki terroristi-iskut, ei ole mahdollista rakentaa, mutta niin teräksestä kuin betonistakin voidaan rakentaa kohtuullisen turvallisia rakennuksia. Markkinavaatimukset ovat useimmiten sellaiset, että teräs vie voiton. Tällä hetkellä rakenteilla on useita pilvenpiirtäjiä, esimerkiksi 412-metrinen rakennus Hongkongiin ja 509-metrinen rakennus Taipeihin (ks. kuva 1.5). Myöskään amerikkalaiset eivät anna pelon estää heitä rakentamasta uutta pilvenpiirtäjiä, ja WTC-tornien tilalle suunnitellaankin 541 metriä korkeaa rakennusta.

Ensimmäinen ruotsalainen teräsrakentamista koskeva säännöstö oli vuoden 1919 Järnbestämmelser (rautamääräykset). Sitä aikaisemmin Ruotsin kuninkaallinen tie- ja vesirakennushallitus (Kungliga väg- och vattenbyggnadsstyrelsen) oli antanut vuosina 1886 ja 1901 kiertokirjeitä, joissa se oli esittänyt materiaalivaatimuksia sekä määräyksiä sallitusta jännityksistä. Tämän jälkeen käytössä on ollut useita teräsrakentamista koskevia säännöstöjä. Tämän hetkinen säännöstö (Boverkets handbok för Stålkonstruktioner, BSK) aiotaan korvata Eurokoodi 3 -säännöstöllä, josta tulee Euroopan yhteinen säännöstö. Tämä oppikirja perustuu Eurocode 3 -säännöstöön.

Viitteestä [1] löytyy lisää tietoa teräsrakentamisen historiasta.



Kuva 1.5 Tällä hetkellä Taipei 101 on maailman korkein rakennus. Se on 509 metriä korkea (45 metriä korkea huippu mukaan luettuna). Tornia rakennettaessa käytettiin ruotsalaisen Alimak-yhtiön kuljetushissejä. Myös tämä pilvenpiirtäjä on mielenkiintoinen teräsrakennus.

1.2 TERÄSRAKENTAMINEN RUOTSISSA

Ensimmäiset esimerkit nykyaikaisista teräsrakennuksista löytyvät Tukholmasta. Vuonna 1925 rakennettiin tavaratalo PUB, vuonna 1926 konserttitalo ja vuonna 1928 tavaratalo Åhlén & Holms Södermalmin kaupunginosaan. Myös Västerbron-silta on huomion arvoinen. Se muodostuu kahdes-



Kuva 1.6 Tukholmassa Ridarfjärdenin yli kulkeva Västerbron-silta muodostuu kahdesta tyylikkästä kaaresta, jotka on rakennettu niitatuista teräslaatikoista. Hyvä esimerkki teräsrakenteiden pysyvyydestä on se, että silta oli maalattava uudelleen vasta 50 vuoden kuluttua sen valmistamisesta.



Kuva 1.7 Esimerkki teollisuusrakennuksesta, jossa terästä käytetään runkomateriaalina sen joustavien käyttömahdollisuuksien vuoksi.



Kuva 1.8 Vuonna 1960 valmistunut Wenner-Gren Center edustaa teräsrakentamisen uutta kautta toisen maailmansodan aikaisen teräspulan jälkeen. Rakennus on 74 metriä korkea, ja se on rakennettu amerikkalaisella tekniikalla.

ta Riddarfjärdenin yli kaartuvasta jänteestä (ks. kuva 1.6). Västerbron molemmat kaaret on niitattu, mutta sen sijaan nivelletty Pålundsbron-silta on yksi maailman suurimmista hitsatuista silloista. Mielenkiintoista on myös se, että Västerbron-silta oli maalattava uudelleen vasta 50 vuoden kuluttua sen valmistumisesta.

Toisen maailmansodan aikana Ruotsissa oli pulaa teräksestä. Teollisuusrakennuksia lukuun ottamatta teräsrakentaminen keskeytyi lähes kokonaan. Tuohon aikaan teollisuus-

rakentaminen oli hyvin laajamittaista, ja teräs oli käytetyin runkomateriaali erityisesti raskaassa teollisuudessa (ks. kuva 1.7). Vuotta 1960 voidaan pitää käännekohtana, jolloin teräksestä alettiin rakentaa myös muunlaisia rakennuksia. Silloin Tukholmaan rakennettiin Wenner-Gren Center (ks. kuva 1.8). Se on 74 metriä korkea ja 25-kerroksinen, ja se on edelleen korkea rakennus Ruotsissa. Sen rakentamisessa käytettiin samanlaista tekniikkaa kuin Yhdysvalloissa, mutta myöhemmin ruotsalaiset kehittivät oman menetelmänsä korkeiden kerrostalojen rakentamista varten.



Kuva 1.9 Teräksinen hallirakennus.

Kuva 1.10 Kaupunkien lämpövoimalat ovat tavanomaisia teräsrakennuksia. Tämä voimala Trollhättanin kaupungissa Ruotsissa on hyvä esimerkki hyvästä teräsarkkitehtuurista.



Vuonna 1967 SBI (Stålbyggnadsinstitutet) aloitti toimintansa Ruotsissa. Sen tehtävänä oli kehittää teräsrakennustekniikkaa ja tiedottaa siitä. SBI:n vaikutuksesta tämä tekniikka tuli tunnetuksi ja sitä käytetään Ruotsissa huomattavasti enemmän kuin useimmissa muissa Euroopan maissa.

Myös profiloituneen levyn käyttö kehittyi Ruotsissa 1960-luvulla. Se yleistyi nopeasti hallirakennusten katto- ja sei-

nämateriaalina. Profiloitu levy oli peräisin Yhdysvalloista, mutta ruotsalaisten panostus kehitysohjelmaan teki heistä alan johtajan tuohon aikaan. Hallirakentaminen on tyypillinen teräsrakentamisen muoto, ja hallirakennuksia käytetään monilla aloilla. Esimerkkeinä voidaan mainita teollisuus-, varasto-, maatalous- ja lentokonehallit. Kuvassa 1.9 näkyy hallirakennus. Kuva 1.10 esittää toista tavallista teräsrakennusta, lämpövoimalaa.

Kuva 1.11 (alhaalla vasemmalla) Ruotsalaisessa teräsrunkoisten kerrostalojen rakennusmenetelmässä käytetään pilareja ja matalapalkkeja sekä ontelolaatoista valmistettuja välipohjia. Koska palkit eivät ole välipohjaa paksumpia, kerroskorkeus pysyy pienenä.



Kuva 1.12 Terästä hyödyntävässä kevytrakentamisessa käytetään ohutlevyprofiileja, kipsilevyjä ja mineraalivillaa. Menetelmää käytetään 3–4-kerroksisten asuinrakennusten rakentamiseen, ja se edustaa teolliseen tuotantoon hyvin soveltuvaa kuivarakennustekniikkaa.





Kuva 1.13 Ångermanälven-joen yli kulkevan Högabron -sillan jänneväli on Ruotsin pisin: 1 210 metriä. Riippusilta on rakennettu teräksestä, ja sen ajorata on muodostuu yhdestä teräslaatikosta.

1980-luvulla Ruotsissa kehitettiin monikerroksisten konttori- ja asuinrakennusten rakennusmenetelmiä. Monenlaisia komponenttilyhdistelmiä kokeiltiin, mutta tuohon aikaan hallitsevaksi rakennustavaksi toimistorakennusten kohdalla nousi menetelmä, jossa käytettiin matalapalkkeja ja ontelolaattoja (ks. kuva 1.11). Tähän menetelmään liittyy se etu, että välipohjat ovat ohuita, mikä säästää kerroskorkeutta ja on kustannustehokasta. Menetelmää on alettu käyttää myös asuinrakennuksissa.

Teräksestä rakennettujen asuinrakennusten määrä on kasvussa, mutta teräksen osuus rakennusmateriaaleissa vaihtelee: joissakin rakennuksissa on betonirunko, ja niiden julkisivussa käytetään ohuita mutta tiheään asetettuja teräspilareita, kun taas osa rakennuksista on rakennettu edellä kuvattua palkki-pilarimenetelmää käyttäen. Kevytrakennustekniikka on kehittynyt 1990-luvulla, ja se perustuu ohutlevyprofilien, kipsilevyjen ja mineraalivillan käyttöön (ks. kuva 1.12). Myös kevytrakentamisen alalla käytössä on monia eri menetelmiä ohutlevyprofileilla varustetuista ei-kantavista kevytulkoseinistä kantaviin seiniin, joissa ohutlevyprofileja käytetään välipohjina.

Myös teräsiltojen rakentamisen alalla on tapahtunut paljon kehitystä. Pelkästä teräksestä rakennetut sillat ovat harvinaisia, mutta teräksestä ja betonista rakennetut liittopalkkisillat ovat tavallisia. Kun jänneväli kasvaa suureksi, on järkevää rakentaa riippusilta. Silloin teräs on materiaali vailla vertaa. Ruotsissa sillan pisin jänneväli on 1 210 metriä. Kyse on Högabron -sillasta, joka on rakennettu Ångermanälven-joen yli (ks. kuva 1.13). Maailman pisin riippusilta, Akashi-Kaikyo Bridge, löytyy Japanista. Sen jänneväli on 1 991 metriä. Myös Italiaan Messinansalmeen on suunnitella silta, jonka jänneväli olisi 3 000 metriä. Sillan rakentaminen olisi teknisesti ja taloudellisesti valtava haaste.

Öresundin sillasta puhuttiin yli sata vuotta, ja se avattiin liikenteelle vihdoinkin kesällä 2000. Se on ristikkorakenteinen silta, jossa on kaksi kerrosta: nelikaistainen moottoritie ylemmässä kerroksessa ja kahdet rautatiekiskot alemmassa kerroksessa (ks. kuva). Silta on mielenkiintoinen monella eri tavalla. Sen koko mahdollisti teollisen sarjatuotannon käyttämisen, ja silta valmistuikin suunniteltua nopeammin ja halvemmalla. Se on myös osoitus siitä, että rakentamisessa voidaan hyödyntää huipputeknolo-



Kuva 1.14



Kuva 1.15 Teräsrunkoista lisärakentamista teollisuuskohteessa.

giaa. Esimerkiksi asetettaessa esivalmistettuja pilareita paikoilleen käytettiin satelliittinavigointia, jolloin päästiin muutaman senttimetrin tarkkuuteen.

1.3 MIKSI RAKENTAA TERÄKSESTÄ?

Teräs on materiaali, joka soveltuu hyvin esivalmistukseen. Siitä voidaan valmistaa konepajoilla valmiita rakenneosia, jotka on nopeaa ja tehokasta asentaa paikoilleen rakennuspaikalla. Kun rakenneosat ovat standardoituja ja mitataustarkkuus on suuri, tuloksena on järjeistetty teollinen tuotanto. Ajan säästäminen merkitsee sitä, että rakentamiskustannukset pienenevät ja rakennelma voidaan ottaa käyttöön suunniteltua aikaisemmin.

Teräsrunko on mittasuhteiltaan pieni. Siitä voi rakentaa välipohjia ja seiniä. Näin saadaan rakennettua lisää pinta-alaa. Tämän päin tonttien ja rakennusten hinnoilla on tärkeää rakentaa mahdollisimman suuria käyttökelpoisia pintoja. Teräsrakenteiset välipohjat ja seinät suojaavat rakennusta tulipalolta ilman ylimääräisiä kustannuksia.

Teräs sopii erinomaisesti käytettäväksi yhdessä muiden materiaalien kanssa. Esimerkiksi teräs ja lasi sopivat hyvin yhteen, koska niitä käyttämällä voidaan rakentaa avoimia rakenteita, joiden sisälle pääsee runsaasti valoa (ks. kuva 1.14).

Rakennuksella on pitkä elinkaari, ja se on suuri investointi. Tulevaisuudessa on yhä tärkeämpää, että tiloja voidaan käyttää eri tarkoituksiin. Tämä edellyttää joustavaa rakentamista. Teräsrungon käyttäminen on joustava ratkaisu, koska avoimet palkki-pilarimenetelmät mahdollistavat suuret jänneväli. Teräsrunko tarjoaa myös hyvät mahdollisuudet tehdä peruskorjauksia ja rakentaa lisärakennuksia. Kuvassa 1.15 näkyy teollisuusrakennuksen päälle rakennettu lisärakennelma. Teräkseen liittyy myös se etu, että siihen on helppo hitsata vahvistuksia, jos sen kantavuutta on tarpeen lisätä.

Rakennuksen sisälle tulevat installaatiot tulevat aina kalliimmiksi ja vievät enemmän tilaa. Teräksestä valmistetut

avoimet ja kevyet palkki-pilarirakenteet tarjoavat myös mahdollisuuden sovittaa teräsrunko ja installaatiot helposti yhteen.

Moniin muihin materiaaleihin verrattuna teräsrunko on kevyt, ja myös sen perustus on useimmiten yksinkertaisempi ja halvempi. Lisärakentamiseen liittyvä erityinen etu on se, että kun rakenteet ovat kevyet, ei alla olevia rakenteita tarvitse välttämättä vahvistaa.

Terästä on helppo käyttää uudelleen tai kierrättää. Kun teräsrakennelma puretaan, teräsrunko voidaan helposti purkaa osiin, ja monesti komponentteja voidaan käyttää uudelleen sellaisinaan tai muutosten jälkeen. Muussa tapauksessa ne voidaan viedä terästehtaalte, missä ne sulatetaan ja käytetään uuden teräksen valmistamiseen. Kierrätettävän teräksen kerääminen on hyvin järjestetty, ja yli puolet kaikesta tuotetusta teräksestä on valmistettu romumetallista. Tämä kuormittaa ympäristöä vähemmän kuin teräksen tuottaminen malmista.

KIRJALLISUUTTA

- [1] Wallin L. Att bygga i stål – modern teknik med gamla anor, Daedalus 1973, Tekniska Museets Årsbok, Tukholma (1973)

INTERNET

www.greatbuildings.com
www.skyscrapercity.com
www.stadiumguiden.com
www.structurae.net
www.skyscrapers.com
www.skyscraperpicture.com

TEKIJÄT

Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen on kirjoittanut Johan Hedin. Tämän painoksen kappaleen on uudistanut professori Bernt Johansson.



Terästehdas.

2. TERÄS

Tärkeimmät teräksen valmistuksessa käytettävät raaka-aineet ovat rautamalmimineraalit magnetiitti ja hematiitti. Magnetiitti eli mustamalmi (Fe_3O_4) on magneettinen mineraali. Hematiitti eli verikivi (Fe_2O_3) on puolestaan epämagneettinen mineraali. Tärkeisiin raaka-aineisiin kuuluu myös metalliromu.

Malmia ei voida käyttää raudan valmistamiseen sellaisenaan, vaan se on ensin rikastettava. Rikastuksessa arvomineraali – eli magnetiitti tai hematiitti – konsentroidaan poistamalla malmista muita mineraaleja. Mineraalit erotetaan toisistaan hyödyntämällä niiden magneettisten ominaisuuksien, tiheyden ja pintaominaisuuksien eroja. Rikastuksen yhteydessä malmia käsitellään monin eri tavoin: sitä esimerkiksi murskataan ja jauhetaan sen mukaan, millaista malmituotetta halutaan valmistaa.

Palamalmi, hienoaines (”muju”) ja sintratut kuulat (pelletit) ovat esimerkkejä raudan valmistuksessa käytettävistä erilaisista malmituotteista (ks. kuva 2.1).

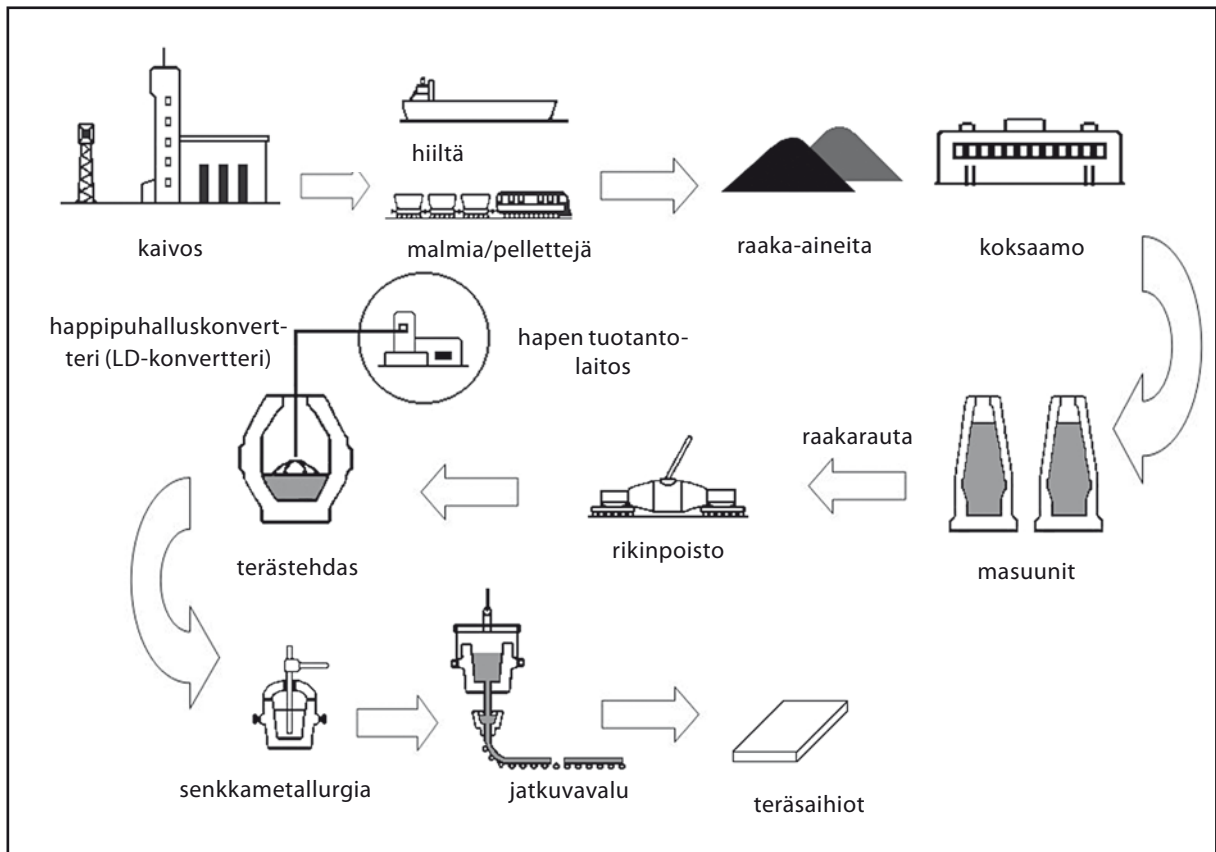
Seoksia, joiden perusmetallina on rautaa (Fe), kutsutaan valuraudaksi tai teräkseksi riippuen siitä, kuinka paljon ne sisältävät hiiltä. Valuraudan hiilipitoisuus on suuri, tavallisesti 2–4 prosenttia. Sen sijaan teräs sisältää tavallisesti hiiltä alle 2 prosenttia. Toisin kuin valurautaa terästä muokataan pääsääntöisesti kiinteässä muodossa.

2.1 VALMISTUSPROSESSIT

Terästehtaissa valmistetaan ns. raakaterästä. Raakateräksen valmistuslaitokset voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin:



Kuva 2.1 Malmia. Vasemmalta lukien palamalmia, hienoainesta (”mujua”) ja sintrattuja kuulia (pellettejä).



Kuva 2.2 Masuuniliinjan toimintakaavio.

- terästehtaat, joissa rautaa ensin valmistetaan malmista ja koksista masuuneissa, sekä jatkojalostetaan teräkseksi hapetuskonvertereissa (mellotus)
- sähköterästehtaat, joissa terästä valmistetaan metalliomusta, sähkökaariuuneilla
- sähköpelkistysuunit, joissa käytetään sähkötekniistä valmistustapaa, sekä mellotusta hapella ja kaasulla

Valtaosa maailmassa tuotetusta teräksestä valmistetaan malmista ja koksista tehtaissa, joissa käytetään masuuneja, sekä happiterästehtaissa (ks. kuva 2.2). Seuraavassa kaaviossa kuvataan yleisluonteisesti teräksen valmistusprosessi. Lisätietoja löytyy viitteistä [1] ja [2].

Masuuni on korkea kuilu, joka on vuorattu sisäpuolelta tiilillä. Sitä täytetään päältäpäin koksini- ja malminpaloilla, joiden muoto vaihtelee. Uunin alaosasta lisätään kuumaa ilmaa (jonka lämpötila on noin 1 000 °C) sekä mahdollisesti lisähappia. Koksia syntyy, kun kivihiiltä kuivatistataan. Malmi voi olla esimerkiksi sintrattujen kuulien (pellettien) ja palamalmien muodossa.

Masuunissa malmi pelkistetään raudaksi poistamalla oksidista rautamineraalista happi. Hiili palaa ja muodostaa ilman hapen kanssa hiilimonoksidia (CO). Palamisessa syntyy myös lämpöä. Hiilioksidi pelkistää malmin raudaksi reagoimalla malmista olevan hapen kanssa ja muodostaa hiilidioksidia (CO₂). Raudasta vapautuu hiiltä. Näin sulamispiste laskee ja rauta sulaa juokseväksi. Masuunista saatava ns. raakarauta sisältää raudan lisäksi 3–4 prosenttia hiiltä sekä pieniä määriä piiä, mangaania, fosforia ja rikkiä. Pii ja mangaani ovat

seosaineita, kun taas fosfori ja rikki ovat ei-toivottuja epäpuhtauksia. Tämä prosessi jatkuu masuunissa taukoamatta, ja siksi masuunista lasketaan rautaa säännöllisin väliajoin. Tuolloin raakaraudan lämpötila on noin 1 250 °C.

Sula raakarauta kuljetetaan torpedovaunulla terästehtäseen (ks. kuva 2.3). Vaunussa raakaraudasta poistetaan usein rikki. Puhdistaminen tapahtuu lisäämällä rautaan rikinpoistoainetta, esimerkiksi kalsiumkarbidia (CaC₂), samalla kun kaasut kiertävät vaunussa.

Terästehtaalla sulasta raakaraudasta tehdään terästä teräsuunissa (LD-uunissa), ks. kuva 2.4. Teräksen valmistusprosessin aikana hiili, pii, mangaani, fosfori ja jotkin muut seosaineet hapettuvat. Sulatteen hiilipitoisuus laskee 4 prosentista 0,10 prosenttiin. Hapettimena käytetään lähes poikkeuksetta happikaasua, jota puhalletaan sulatukseen. Muut kuin kaasumaiset reaktiotuotteet kerääntyvät kuonaksi. Sen ominaisuuksiin vaikutetaan lisäämällä kuonanmuodostajaa, esimerkiksi kalkkia. Tällä tavoin teräksestä voidaan puhdistaa suurelta osin epäpuhtauksia, kuten rikkiä ja fosforia, kuonareaktioiden avulla.

Jotta teräksestä saataisiin ominaisuuksiltaan halutunlaista, siihen lisätään tiettyjä seosaineita ja seosaineiden määriä muutellaan. Seosaineista tärkein on hiili, joka vaikuttaa suuresti teräksen ominaisuuksiin. Kun hiilipitoisuus kasvaa, teräksen lujuus kasvaa, mutta hiili vähentää teräksen sitkeyttä ja hitsattavuutta. Muita tärkeitä seosaineita rakenneteräksessä ovat pii, mangaani ja mikroseosaineet (esimerkiksi alumiini, vanadiini, titaani ja niobium).



Kuva 2.3 Raakaraudasta poistetaan rikki torpedovaunussa.

Raakaterästuotannon nykyaikaiset prosessityypit voidaan jakaa happiteräsprosesseihin ja sähköteräsprosesseihin. Edellisessä kappaleessa kuvattiin happiteräksen valmistusmenetelmää. Aikaisemmin käytettiin myös Martin- ja Thomas-menetelmiä. Sähköteräsprosessissa suuri osa teräksestä voidaan valmistaa metalliromusta, esimerkiksi vanhoista palkeista, autosta yms. Romu sulatetaan valokaariuunissa. Kun terästä valmistetaan malmista, etuna on se, että tällä menetelmällä voidaan valmistaa terästä, jossa on hyvin vähän ja tarkkaan kontrolloitu määrä epäpuhtauksia.

Ns. senkkametallurgialla eli sulan teräksen jalostuksella senkassa tarkoitetaan menetelmiä, joita käytetään sen jälkeen, kun teräs on sulatettu uunissa, mutta kuitenkin ennen valua. Tässä vaiheessa tärkeää on deoksidaatio (tiivistäminen) eli kaasuun liuenneen hapen sitominen, jotta teräs ei jähmety myöhemmin kaasun muodostessa. Lisäksi senkassa puhdistetaan terästä madaltamalla mm. rikki- ja fosforipitoisuuksia entisestään.

Myöhemmin seosta säädetään halutunlaiseksi ja se lämmitetään oikeaan valulämpötilaan.

Valmistettaessa terästä, jolle on asetettu kovat vaatimukset paksuussuunnan eli suorakulmisen valssaussuunnan suhteen (ks. kappale 3.2), erityisesti rikkipitoisuus laskeaan hyvin matalaksi. Joissakin tapauksissa senkkäkäsittely tehdään tyhjiössä. Tyhjiökäsittelyn tarkoituksena on poistaa tehokkaasti teräkseen liuenneita kaasuja, kuten happea ja vetyä. Tämän jälkeen teräs kuljetetaan senkassa jatkuvavalulaitokseen.

Jatkuvavalu on keskeytymätön valumenetelmä, jossa sula teräs muutetaan valmiiksi teräsaihioiksi (ks. kuva 2.5). Tämä tekniikka on syrjäyttänyt perinteisen kokillivalun. Valutuotteita kutsutaan niiden poikkileikkauksen muodosta riippuen nimillä *slab*, *bloom* tai *billet* (levy-, tanko- ja lankatuotteiden valmistukseen tarkoitettut aihiot; ks. kuva 2.6). Kokillivalumenetelmässä sula kaadetaan valumuotteihin, ns. kokilleihin. Kokillissa jähmettyneitä terästä kutsutaan valanteeksi. Valanne kuumennetaan uudelleen, ja siitä valssataan teräsaihio.

Teräsaihiot siirretään valssaamoon, missä niistä valssataan valmiita tuotteita (ks. kappale 3).



Kuva 2.4 Teräsuuniin lisätään raakarautaa.



Kuva 2.5 Teräsaihioiden valaminen.

2.2 RAKENNE

Teräs on seos, jossa on rautaa ja hiiltä sekä tavallisesti myös monia muita alkuaineita. Kappaleessa 2.2 esitellään lyhyesti teräsrakentamisessa käytettävät teräslajit. Lisätietoja löytyy viitteestä [2].

Teräksessä, kuten muissakin metalleissa, atomit ovat järjestäytyneet tiettyyn järjestykseen. Järjestys vaihtelee metallityypin ja sen olomuodon mukaan. Pienin osa, jossa tämä toistuva järjestys voidaan havaita, on nimeltään metallin yksikkökoppi (alkeiskoppi).

Esimerkkejä kahdesta tyypillisestä yksikkökopista näkyy kuvassa 2.7. Ne ovat molemmat kuutiomaisia. Kuvassa 2.7 a) atomit sijaitsevat kuution kulmissa ja sen keskustassa. Tällaista koppia tilakeskiseksi kuutiolliseksi yksikkökopiksi. Yksi faasi (eli teräksen olomuoto), jossa atomit ovat tässä järjestyksessä, on ferriitti, jossa kopin sivu on $2,87 \times 10^{-10}$ m. Kuvassa 2.7 b) atomit ovat tiheimässä ja ne sijaitsevat kuution kulmissa sekä kuution sivupintojen keskipisteissä. Tällaista koppia kutsutaan pin-

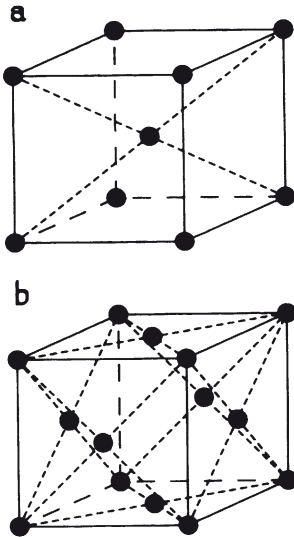
takeskiseksi kuutiolliseksi yksikkökopiksi. Eri faaseista austeniitilla on tällainen atomijärjestys.

Kide muodostuu monesta yksikkökopista, jotka ovat järjestäytyneet peräkkäin hilaksi. Tekniset metallit ovat monikiteisiä, eli ne muodostuvat useista kiderakeista. Niiden välistä rajaa kutsutaan raerajaksi. Vaikka yksikkökoppi on kaikissa rakeissa sama, hilan suunnat ovat erilaiset.

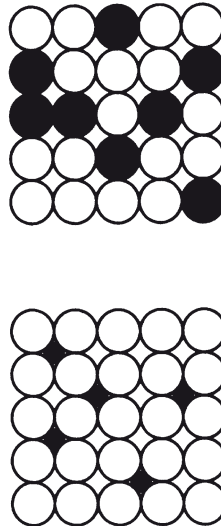
Seosaineet liukenevat hilaan useimmiten jähmeässä liuoksessa. Kuvassa 2.8 näkyy tästä kaksi päätyyppiä. Ylempi kuva esittää ns. korvaussijaliuosta. Siinä seosaineen atomit siirtyvät paikkoihin, joissa puhtaassa emometallissa olisi emoatomeja. Tällaista jähmeää liuosta muodostuu, kun seosaineen atomin läpimitta on lähellä emoaineen atomin läpimittaa. Mangaani ja kromi muodostavat tällaisen rakenteen raudassa. Alempi kuva esittää välisijaliuosta. Siinä vieraat atomit sijoittuvat emometallin atomien väleihin. Näin käy silloin, kun seosaineen atomit ovat emoaineen atomeja pienempiä. Hiili, typpi ja vety muodostavat tällaisen rakenteen raudassa.



Kuva 2.6 Jatkuvalumenetelmällä valettuja, levytuotteiden valmistukseen tarkoitettuja aihioita.



Kuva 2.7 Yksikkökoppeja (alkeiskoppeja). Kuvassa a) näkyy tilakeskinen kuutiollinen yksikkökoppi ja kuvassa b) pintakeskinen kuutiollinen yksikkökoppi.



Kuva 2.8 Seosaineita jähmeänä liuoksena. Ylempi kuva esittää korvaussijaliuosta ja alempi välisijaliuosta.

Teräksessä on aina pieniä määriä epäpuhtauksia. Tavallimpia ovat fosfori, rikki ja typpi. Niiden määrät on pidettävä pieninä, jotta teräs säilyy riittävän sitkeänä ja hitsattavana rakennustarkoituksiin.

Kun teräs jähmettyy valun jälkeen, hapen liukenevuus laskee voimakkaasti. Jos happea ei ole sidottu kemiallisesti piillä tai alumiinilla, se poistuu teräksestä hiilimonoksidikaasun muodossa ja jättää teräkseen kuplia. Tällaista terästä kutsutaan tiivistämättömäksi teräkseksi, eikä se sovellu käytettäväksi kantavissa rakenteissa. Se, ettei tiivistämätön teräs sovi kantaviin rakenteisiin, ei johdu ainoastaan kuplista, koska niistä voidaan päästä eroon valssaamalla, vaan siitä, että tiivistämättömässä teräksessä epäpuhtauksien eli ns. suotautumien määrä kasvaa. Suotautumia syntyy enemmän kokillivalu- kuin jatkuvavalumenetelmää käytettäessä. Jatkuvavalulla saavutetaan selvästi taiseimmat teräksen ominaisuudet. Jatkuvavalussa käytetään ainoastaan tiivistettyä terästä.

Kuten aikaisemmin on mainittu, hapen sitomista kutsutaan deoksidaatioksi eli teräksen tiivistämiseksi. (Puolitiivistettyä terästä syntyy, kun teräksestä vapautuu jähmetymisen aikana kaasua hitaasti ja säännelysti.) Tiivistetty tai puolitiivistetty teräs on koostumukseltaan tiivistämättömää tasaisempi. Puolitiivistetyssä teräksessä on noin 0,05 prosenttia piitä, kun taas tiivistetyssä teräksessä on noin 0,25–0,35 prosenttia piitä. Piipitoisuutta voidaan pienentää lisäämällä alumiinia.

Piin ja alumiinin avulla aikaansaattavan deoksidaation reaktiotuotteet ovat oksideja, joista suurin osa nousee sulassa teräksessä pintaan ja muodostaa kuonaa. Pieni osa oksideja voi kuitenkin jäädä jäljelle teräkseen ja muodostaa ns. epämetallisia sulkeumia valmiissa tuotteessa. Osa rikistä muodostaa sulkeumia, ns. sulfideja. Piin lisääminen vaikuttaa teräksen kuumasinkitysominaisuuksiin (ks. kappale 10.3).

2.2.1 Teräksen faasit ja rakenteet

Kun teräs jähmettyy noin 1 500 °C:ssa, sen jähmeälle faasille austeniitille tapahtuu seuraavaa. Austeniitin yksikkökoppi on pintakeskinen kuutiollinen ja voi liuottaa enintään 1,8 prosenttia hiiltä. Jos austeniitin annetaan jäähtyä hitaasti 900–720 °C:n lämpötilaan, faasi muuttuu tilakeskiseksi kuutiolliseksi ferriitiksi. Ferriitti on hyvin pehmeää, ja se voi liuottaa korkeintaan 0,02 prosenttia hiiltä. Jäljelle jäävästä hiilestä muodostuu kova ja hauras faasi: se on rautakarbidi (sementiittiä), jossa on 6,7 prosenttia hiiltä.

Jos teräksen hiilipitoisuus jää alle 0,8 prosentin, kuten käy aina rakenneteräksen kohdalla, teräs on perliitin (jossa on 0,8 prosenttia hiiltä) ja ferriitin sekoitus. Perliittirakenteessa on 88 prosenttia ferriittiä ja 12 prosenttia sementiittiä. Se on levy- tai lamellimaista. Ferriitin ja perliitin välinen suhde riippuu teräksen hiilipitoisuudesta.

Kun hiilipitoisuus kasvaa, sementiitin määrä kasvaa. Näin myös teräksen kovuus ja lujuus kasvavat, kun taas sen sitkeys vähenee. Kantavissa rakenteissa käytettävän teräksen on oltava hyvin hitsattavaa. Nykyaikaisissa teräksissä, joiden hitsattavuus on hyvä, hiilipitoisuus on yleensä korkeintaan 0,18 prosenttia.

Jos austeniitti jäähdytetään hyvin nopeasti, perliittiä ei ehdi muodostua, vaan hiili jää pakkotilaan ferriittiin. Tätä kutsutaan karkaisuksi. Karkaistu rakenne, jota kutsutaan martensiitiksi, on erittäin kovaa ja jokseenkin haurasta. Kovuus ja hauraus kasvavat sitä mukaa kuin hiilipitoisuus kasvaa. Kovuus vähenee, kun metallia hehkutetaan uudelleen. Tätä menetelmää kutsutaan päästöksi. Martensiitti, jota ei ole käsitelty päästön avulla, ei sovellu haurautensa vuoksi kantaviin rakenteisiin.



Kuva 2.9 Karkealevyn nopeutettu jäähdytys.

2.2.2 Hiiliteräs ja hiilimangaaniteräs

Kun hiiltä käytetään ainoana seosaineena (enintään 0,25 prosenttia), saadaan pehmeää hiiliterästä, jonka myötöraja on noin 250 MPa. Hiili lisää voimakkaasti teräksen lujuutta, mutta hiilipitoisuus ei saa ylittää 0,18:aa prosenttia, koska se vaikuttaa teräksen hitsattavuuteen (ks. kappale 4.1). Lisäämällä teräkseen noin 1,5 prosenttia mangaania sen lujuutta voidaan lisätä ilman, että sen hitsattavuus muuttuu mainittavasti. Hiilimangaaniteräksen myötöraja voi olla jopa 350 MPa.

2.2.3 Hienorae- tai mikroseosteräs

Teräksen lujuutta voidaan lisätä pienentämällä kideraekkoa eli muuntamalla rakennetta hienorakeisemmaksi. Uuden rakenteen hitsausominaisuudet vastaavat pitkälti perusseoksen hitsausominaisuuksia. Joissakin tapauksissa ne voivat olla myös paremmat. Hienorakeisempi rakenne saadaan aikaan lisäämällä hienorakeisuutta lisääviä seosaineita. Ne muodostavat erkaumia, jotka estävät rakeen kasvun, mutta ne lisäävät myös lujuutta, koska rakeen sisälle muodostuu hyvin pieniä partikkeleja. Esimerkkejä hienorakeisuutta lisäävistä seosaineista, joita lisätään 0,01–0,1 prosenttia, ovat alumiini, niobium, vanadiini ja titaani yhdessä typen kanssa. Usein käytetään myös näiden mikroseosainien yhdistelmiä. Kun teräksen rakennetta muutetaan hienorakeisemmaksi, siitä tulee lujempaa ja sitkeämpää. Myötöraja on tavallisesti noin 350–460 MPa.

On syytä huomioida, että hienorakeistusmenetelmä on aivan fyysikaalinen menetelmä, jolla voidaan lisätä sekä metallin lujuutta että sen sitkeyttä.

2.2.4 Nuorrutettu ja termomekaanisesti valssattu teräs

Teräksen lujuutta voidaan lisätä paitsi muuttamalla seosta myös lämpökäsittelyn avulla. Yksi tällainen menetelmä on nuorrutus. Kuumavalssauksen (ks. kappale 3.2) jälkeen teräs austenisoidaan eli sitä kuumennetaan noin 900 °C:een, jolloin ferriitti- ja perliittirakenne muuttuu austeniitiksi.

Sitten teräs jäähdytetään vedellä niin nopeasti, että syntyy martensiittia. Tämän jälkeen teräs kuumennetaan taas 600–700 °C:een (ns. päästö), jolloin martensiitti muuttuu ja muodostuu pieniä karbideja. Tällä tavoin on mahdollista valmistaa teräslaatuja, joiden myötöraja on jopa 960 MPa, ja säilyttää samalla hyvät sitkeys- ja hitsattavuusominaisuudet. Valmistettaessa terästä, jonka myötöraja on jopa 1 100 MPa, päästölämpötila on matalampi.

Terästä, jonka hitsattavuus on erinomainen ja myötöraja 350–500 MPa, voidaan valmistaa termomekaanisella valssauksella (nopeutetulla jäähdytyksellä tai ilman sitä). Valssauksen aikana metallin muodonmuutosta ohjataan etukäteen määritettyjen lämpötilavaihtelujen avulla. Nopeutettu jäähdytys tarkoittaa sitä, että levy jäähdytetään vedellä heti valssauksen jälkeen, muttei kuitenkaan niin nopeasti, että syntyy martensiittia (ks. kappale 3.2 ja kuva 2.9).

2.2.5 Kylmämuokattu teräs

Kylmämuokattu teräs on jatkokehitettyä rakenneterästä. Kylmämuokatulla teräksellä on hyvien lujuus- ja hitsausominaisuuksien lisäksi erinomaiset särmäysominaisuudet särmäyksen suunnasta riippumatta. Hyvät särmäysominaisuudet saadaan aikaan minimoimalla sulkeumien määrä. Sulfideja muutetaan niin, ettei niitä voi valssata ohuiksi kerroksiksi terästä työstettäessä (ks. kappale 3.2). Tavallisesti tämä saadaan aikaan lisäämällä seokseen kalsiumia. Näin sulfideista tulee niin kovia, etteivät ne suoriutu valssauksen aikana.

Nykyisin myynnissä on kylmämuovattua terästä, jonka myötöraja voi olla jopa 700 MPa.

2.2.6 Ruostumaton teräs

Ruostumaton teräs on terästä, joka sisältää vähintään 12 prosenttia kromia. Kromi muodostaa hapen kanssa hyvin ohuen, passiivisen kromioksidikerroksen, joka suojaaa terästä korroosiolta. Jos passiivinen kerros vahingoittuu esimerkiksi mekaanisesta vaikutuksesta, vahingoittu-

neeseen kohtaan muodostuu nopeasti uusi kerros, mikäli ympäristössä on happea. Myös hyvin pienet happipitoisuudet riittävät siihen, että vahingoittuneeseen kohtaan muodostuu uusi passiivinen kerros.

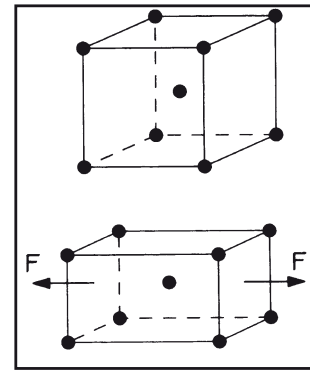
Passiivisen kerroksen vahvuus eli korroosionkestävyys kasvaa nopeasti, kun kromipitoisuutta nostetaan noin 20 prosenttiin. Lisäksi teräksen korroosionkesto-ominaisuuksia voidaan parantaa lisäämällä seosaineita, kuten nikkeliä, molybdeeniä, kuparia ja typpeä. Yhdistelemällä eri seosaineita voidaan paitsi vaikuttaa korroosionkestävyyteen liittyviin ominaisuuksiin myös valmistaa kiderakenteeltaan erilaisia teräslajeja. Kiderakenne vaikuttaa puolestaan sellaisiin ominaisuuksiin kuin lujuus, sitkeys, mekaaninen työstettävyys, muovattavuus ja hitsattavuus. Teräksen kiderakenteen perusteella voidaan tehdä ero ferriittisten, austeniittisten, austeniittis-ferriittisten ja martensiittisten ruostumattomien teräksien välille.

Ferriittinen ruostumaton teräs sisältää tavallisesti 12–17 prosenttia kromia. Se on ominaisuuksiltaan samankaltainen kuin hiiliteräs, mutta se kestää paremmin korroosiota. Sen pääasiallisia käyttöalueita ovat kotitaloustavarat ja rakennusten sisärakenteet.

Austeniittinen teräs on tavallisin ruostumaton teräslaji. Sen rakenteen ansiosta sitä voidaan käyttää hyvin erilaisissa lämpötiloissa ja sen sitkeys säilyy matalissa lämpötiloissa. Lisäksi se on hyvin hitsattavaa ja venyvä, joten se on myös hyvin työstettävää. Lujuus on tavallisesti luokkaa 200–300 MPa. Austeniittisellä ruostumattomalla teräksellä muokkauslujittuminen on kuitenkin voimakasta, jo-



Kuva 2.10 Södra länken -pakokaasutorni. Hyvä esimerkki rakennelmasta, jossa on käytetty ruostumatonta terästä kantavana rakenteena.



Kuva 2.11 Yksikkökopin elastinen muodonmuutos.

ten sitä voidaan kylmämuokata erittäin korkean lujuuden saavuttamiseksi. Tavallisia käyttöalueita ovat varastointisäiliöt, kotitaloustavarat, putket, paineastiat ja kantavat rakenteet. Rakentamisen alalla sitä käytetään pääasiassa arkkitehtonisiin tarkoituksiin.

Austeniittis-ferriittinen ruostumaton teräs on sekarakenteista, minkä vuoksi sitä kutsutaan myös ruostumattomaksi duplex-teräkseksi. Sekarakenteen vuoksi teräs on suhteellisen lujaa (400–500 MPa) ja venyvä, sen ominaisuudet matalissa lämpötiloissa ovat hyvät, ja koostumuksesta riippuen sen korroosionkestävyys ja hitsattavuus ovat hyvät. Duplex-terästä käytetään paljon petrokemian teollisuudessa, paperi- ja selluteollisuudessa sekä laivusteollisuudessa. Koska se on lujaa ja sen korroosionkestävyys-ominaisuudet ovat hyvät, sitä on alettu käyttää myös enemmän kantavissa rakenteissa.

Martensiittinen teräs sisältää yleensä 11–13 prosenttia kromia ja on hyvin lujaa ja kovaa. Koska se on lujaa ja kestää hyvin korroosiota, sitä on käytetty varastointisäiliöissä, mutta tavallisesti sitä käytetään turbiineissa ja veitsissä.

2.3 ELASTINEN JA PLASTINEN MUODONMUUTOS

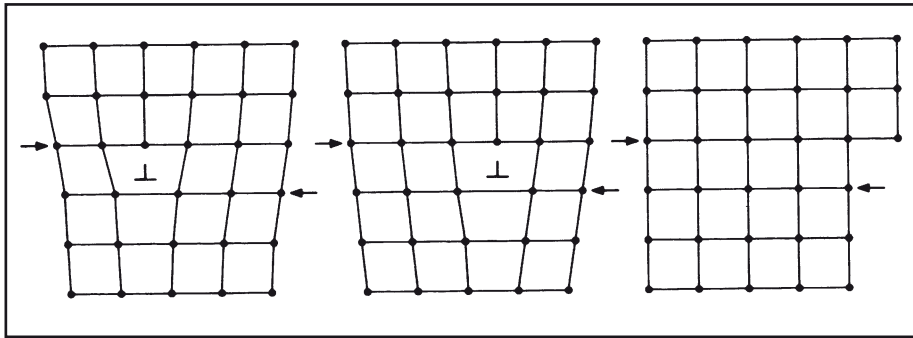
Teräksen käytön yhteydessä tehdään ero elastisen ja plastisen muodonmuutoksen välille. Elastinen muodonmuutos tarkoittaa sitä, että kappale palautuu ennalleen kuormituksen jälkeen, kun taas plastinen muodonmuutos jää pysyväksi.

Elastisen muodonmuutoksen aikana atomien välimatka kasvaa kuormituksen vaikutuksesta (ks. kuva 2.11). Kuutiollinen koppi muuttuu tetragonaaliseksi, kun siihen kohdistuu vetojännitystä. Kun kuormitus päättyy, se palautuu alkuperäiseen muotoonsa ja kokoonsa.

Mahdollinen tetragonaalisuus voidaan mitata tarkkaan röntgenillä myös silloin, kun kyse on monikiteisistä metalleista.

Tällä tavoin voidaan määrittää sisäiset jännitykset eli ns. jäännösjännitys (ks. luku 16, Mitoitus).

Plastisen muodonmuutoksen yhteydessä hilassa tapahtuu liukuma atomitasojen välillä. Tällainen muodonmuutos

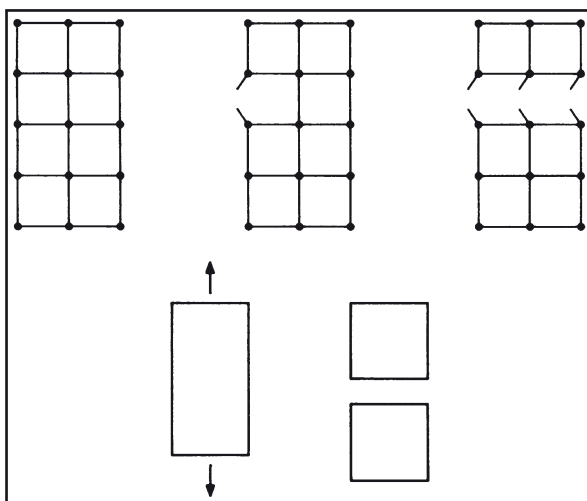


Kuva 2.12 Särmädislokaation liike.

riippuu hilan rakennevirheistä, ns. dislokaatioista. Särmädislokaatio on viivavika, jonka voidaan kuvailla olevan sisään työntyneen ylimääräinen atomitaso (ks. kuva 2.12). Kuvassa atomitaso päättyy hilan sisällä, ja sitä kuvataan merkillä \perp . Kuormituksen vaikutuksesta ja liukumien myötä ylimääräinen atomitaso siirtyy asteittain liukutasolla kohti ulkopintaa, joka voi olla esimerkiksi raeraja. Muodonmuutokseen tarvitaan paljon vähemmän voimaa kuin siihen, että tason kaikkia atomeja siirrettäisiin samanaikaisesti askeleen verran.

Riittävän suuren liukumien jälkeen pinnat erkanevat toisistaan ja syntyy leikkausmurtuma. Tavallisesti vetokoesauvaan syntyvä murtuma on leikkausmurtuma. Siinä on useita pintoja, joiden kulmat ovat vinot kuormitussuuntaan nähden. Liukutasoin suunta muuttuu raerajoilla, ja jokainen muutos merkitsee vastusta. Mitä pienempiä rakeet ovat, sitä suurempi on suunnanvaihdosten määrä. Tämä nostaa hienoraeteräksen myötörajaa ja lisää sen sitkeyttä. Jopa pienet erkaumat rakeen sisällä estävät dislokaatioliikkeitä ja nostavat myötörajaa.

Jos plastinen muodonmuutos estyy jostakin syystä, esimerkiksi kolmiakselisen jännitystilän vuoksi, ja kuormitus kasvaa, ylitetään lopulta atomien välinen koossa pitävät voimat eli koheesio. Näin syntyy ns. lohkomurtuma (ks. kuva 2.13), joka on ominaista haurasmurtumille. Metallisissa materiaaleissa koheesio vaihtelee eri tasoilla. Lohkomurtuma voi siis tapahtua aivan eri tasolla kuin niillä,



Kuva 2.13 Lohkomurtuminen

joilla plastinen muodonmuutos tapahtuu. Siksi myös tässä tapauksessa materiaalin hienorakeisuus ehkäisee haurasmurtumaa.

Lisätietoja löytyy viitteestä [2].

2.4 TERÄKSEN FYSIKAALISET OMINAISUUDET

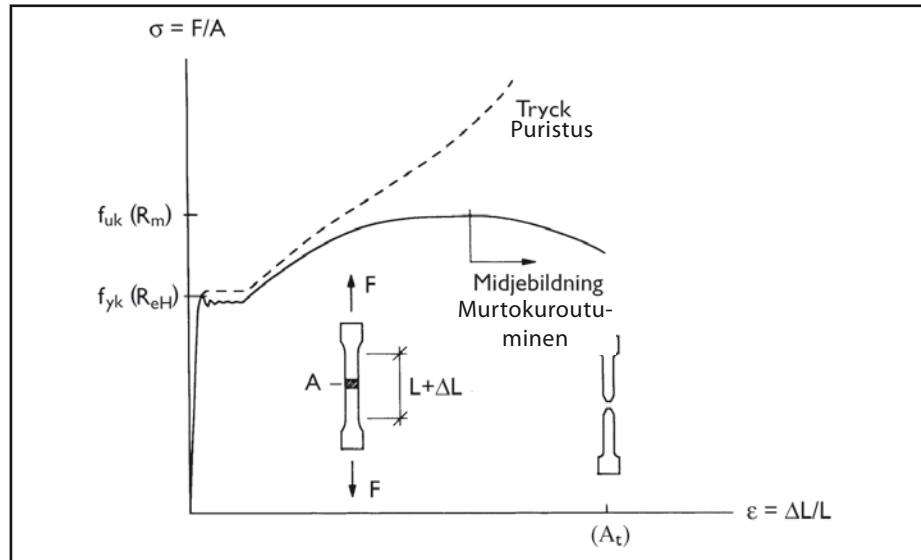
Rakenneteräksen tärkeimmät ominaisuudet ovat lujuus, sitkeys ja hitsattavuus. Muita tärkeitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi särmättävyys ja polttoleikkattavuus.

2.4.1 Muokkauskäyrä

Lujuus ilmoitetaan yleensä kahtena arvona, jotka ovat myötöraja (f_y) ja murtoraja (f_u). Lyhenteitä f_y ja f_u käytetään Eurokoodi 3:ssa [3]. Vastaavat metallistandardin mukaiset lyhenteet ovat R_{eH} ja R_m . Arvot määritellään vetokokeessa, jossa käytetään standardoituja koesauvoja. Vetokokeen tulosta voidaan havainnollistaa muokkauskäyrällä (ks. kuva 2.14). Pystysuoralla akselilla ilmaistaan alkuperäisen alueen laskettu jännitys, ja vaakasuoralla akselilla venymä alkuperäiseen mittaväliin nähden. Aluksi käyrä on suoraviivainen ja kallistuu samalla tavalla kuin teräksen kimmokerroin (E), noin 210 GPa. Materiaali käyttäytyy elastisesti, eli se noudattaa Hooken lakia, ja kuormituksen päätyttyä venymä palautuu kokonaan ennalleen.

Jännityksen kasvaessa juuri ja juuri alle myötörajan käyrä poikkeaa hieman suorasta linjasta. Plastinen muodonmuutos alkaa – sanotaan, että materiaali virtaa. Ferriittiperiittisen teräksen kohdalla jännitys ylittää ylempiä myötörajaksi (R_{eH} , f_y) kutsutun rajan, minkä jälkeen se putoaa alemman myötörajan (R_{eL}) tasolle. Ero ylempien ja alemman myötörajan välillä voi olla 10–20 MPa:n luokkaa. Tämän jälkeen jännitys vaihtelee alemman myötörajan vaiheilla, kun materiaalia venytetään 1–4 prosenttia. Sitten jännitys taas kasvaa. Materiaalin sanotaan kylmälujittuvan tai muokkauslujittuvan. Samalla kasvava venytys aiheuttaa sen, että koesauvan pinta-ala pienenee, eli tapahtuu ns. suppeutuminen. Todellinen jännitys on siksi suurempi kuin kuviossa. Vähitellen saavutetaan käyrän maksimikohta. Jännitys saavuttaa murtorajan (R_m , f_w) ja venymä rajavenymän ϵ_g . Tämän jälkeen tapahtuu paikallinen voimakas suppeutuminen, kaventuma, ja jatkuva muodonmuutos tapahtuu lyhyellä välillä. Lopuksi koesauva murtuu venytyskohdassa ϵ_u .

Kuva 2.14 Ferriitti-perliittisen teräksen muokauskäyrä. Austeniittiselle teräkselle ei ole merkity ylemmää eikä alemmää myötörajaa.

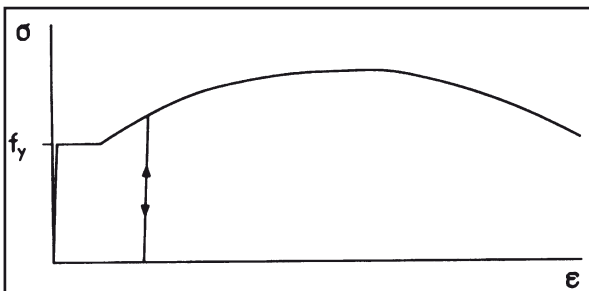


Käyrän loppupää on harhaanjohtava materiaalin käyttymisen suhteen, koska supistuvalla alueella tapahtuva muodonmuutos jakautuu pidemmälle mittavälille. Lisäksi kyseisellä alueella laskettu todellinen jännitys kasvaa koko ajan murtumahetkeen saakka.

Koemenetelmä on standardoitu. Teräksen ominaisuudet ilmoitetaan vetokokeessa saatuina arvoina. Normaalisti ominaisuuksien oletetaan olevan samat myös puristuksessa. Puristuksessa myötöraja on kuitenkin usein jonkin verran korkeampi kuin vetokokeessa. Murtorajaa puristuksessa ei ole (ks. katkoviiva kuvassa 2.14).

Jos vetokokeen kuormitus poistetaan sen jälkeen, kun plastinen muodonmuutos on alkanut, muutos palautuu ennalleen kuvan 2.15 mukaisesti. Kuormituksen poistaminen tapahtuu elastisesti, ja siksi se on samansuuntainen kuin kuormitusta koskeva suora linja. Vaakasuoralta akselilta käy ilmi jäljelle jäävä venymä. Tässä tilanteessa kuormitus seuraa samaa linjaa kuin kuormituksen poisto. Materiaali käyttäytyy siis elastisesti siihen tasoon asti, jolla kuormitus poistettiin. Muokauslujittuminen tarkoittaa, että jännitystaso, jolla virtaaminen tapahtuu, nousee. Tätä hyödynnetään tietoisesti tietyissä rakenneosissa.

Nuorutettu teräs on lujempaa. Sen kohdalla myötöraja ei ole yhtä ilmeinen. Siksi myötörajaksi ilmoitetaan useim-



Kuva 2.15 Kuormituksen päätyminen ja kuormitus myötörajan saavuttamisen jälkeen.

miten se jännitys, joka vastaa kuormituksen jälkeen jäljelle jäänyttä 0,2 prosentin venymää ($R_{p0,2}$).

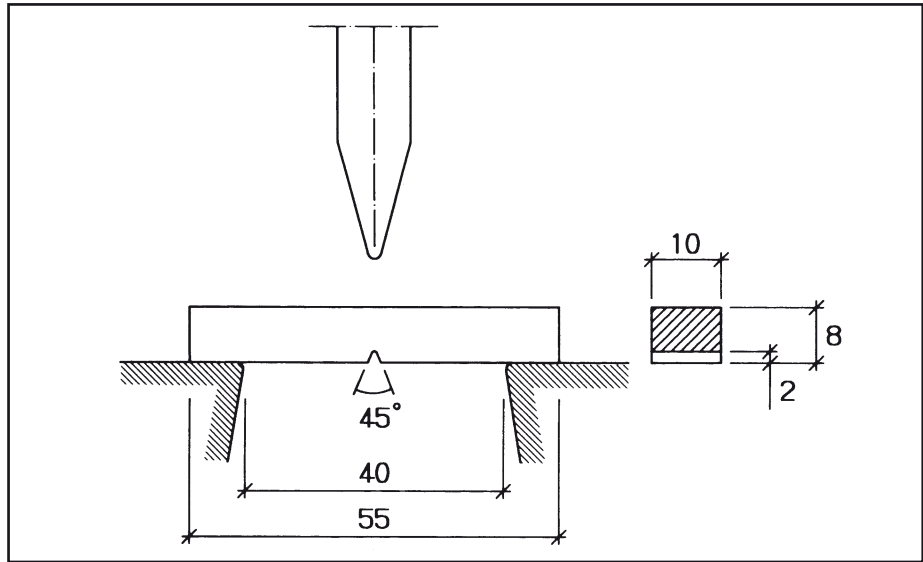
Eri standardeissa murtovenymä mitataan eri pituuksina. SS-EN-standardissa käytetään A_5 -arvoa, joka tarkoittaa venymää mittavälillä $5,65 \times (\text{sauvan poikkipinta-ala})^{1/2}$ (viisi kertaa pyöreän sauvan halkaisija). Kun kyse on alle 3 mm paksusta teräslevystä, käytetään 80 mm:n mittaväliä. Koska venymä tapahtuu paikallisesti lyhyellä välillä siinä vaiheessa, jossa kuormitus poistetaan ennen murtumaa, mittaväli vaikuttaa niin, että lyhyemmällä mittavälillä murtovenymä on korkeampi. Venymä, jota voidaan hyödyntää rakenteessa, on materiaalin rajavenymä (ϵ_g). Sen voidaan varovasti arvioida olevan ainakin $0,5 A_5$. Tarkista tarvittaessa käytössä olevasta terässtandardista, kuinka murtovenymä mitataan.

2.4.2 Sitkeys

Rakenteesta ja lämpötilasta riippuen teräksen murtumiskäyttäytyminen voi olla sitkeää tai haurasta. Haurasmurtumalle ominaista on se, että teräs murtuu ilman edeltävää plastista muodonmuutosta. Haurasmurtuman riski kasvaa lämpötilan laskiessa. Teräsosan tai -rakenteen haurasmurtuma edellyttää matalan lämpötilan lisäksi sitä, että teräksessä on jonkinlainen murtumalovi, johon kohdistuu vetojännitys tai isku. Lovi estää jännitystä leviämästä tasaisesti materiaaliin. Se voi olla vaikkapa erittäin pieni halkeama hitsissä.

Teräslajit jaetaan tavallisesti laatuluokkiin tai pikemmin sitkeysluokkiin haurasmurtumariskin perusteella. Haurasmurtumariski voidaan siis poistaa valitsemalla oikea sitkeysluokka. Haurasmurtuman vaara kasvaa, kun levyn paksuus kasvaa.

Yksi peruste, jota käytetään jaettaessa teräslajeja sitkeysluokkiin, on iskusitkeys-koe. Iskusitkeys-koe on menetelmä, jolla pyritään luokittelemaan materiaalit niiden haurasmurtumavaaran mukaan. Koe suoritetaan käyttämällä koesauvoja, joiden poikkileikkaus on neliönmallinen (10 x 10 mm).

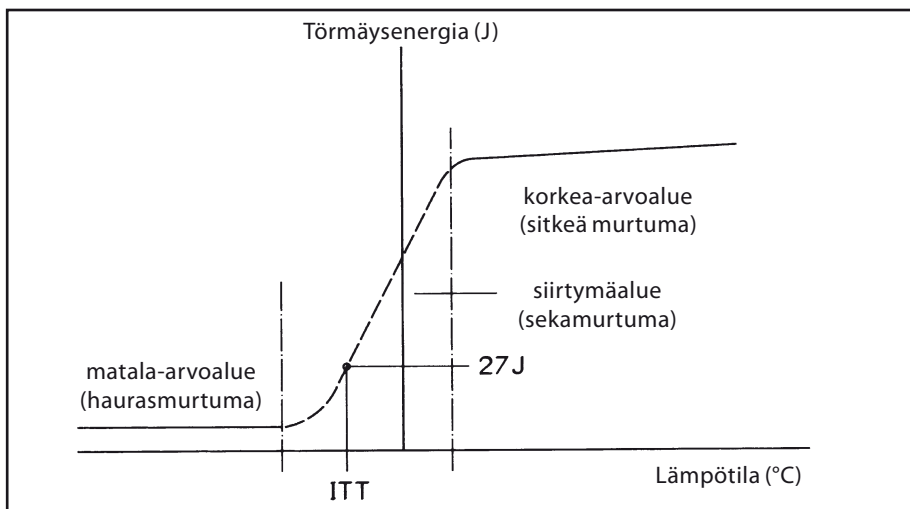


Kuva 2.16 Iskukokeessa käytettävä tanko, jossa V-lovi.

Niihin tehdään V-kirjaimen mallinen lovi (ks. kuva 2.16). Tankohin isketään heijarilla eri lämpötiloissa. Kuvassa 2.17 on ferriittisen teräksen tyypillinen iskukoekäyrä. Pystysuora akseli kuvaa energiaa ja vaakasuora akseli lämpötilaa. Lämpötilan ollessa korkea (korkea-arvoalue) murtuminen tapahtuu sitkeästi ja energian absorptio on korkea sauvan katkaisemiseksi. Murtumapinta näyttää kuituiselta tai säikeiseltä, ja metalliin syntyy viiste, mikä osoittaa plastisen muodonmuutoksen tapahtuneen. Sen sijaan matalassa lämpötiloissa (matala-arvoalue) syntyy haurasmurtuma ja energia-absorptio on matala. Murtumapinta näyttää kiteiseltä, eikä siinä näy merkkejä plastisesta muodonmuutoksesta. Siirtymä korkea- ja matala-arvoalueiden välillä tapahtuu noin 20–60 °C:n lämpötila-alueella, jota kutsutaan siirtymäalueeksi. Tällä alueella syntyy sekamurtumia. On hyvin mielenkiintoista tietää, missä tämä alue sijaitsee kunkin materiaalin kohdalla. Muutoslämpötilalla (ITT, Impact transition temperature) tarkoitetaan siirtymistä hauraaseen murtumiskäyttäytymiseen lämpötilasta, jossa energian absorptio on 27 J. Kun kyse on teräksestä, jonka lujuus on korkeampi, energia-absorptiovaatimus asetetaan usein 40 J:een.

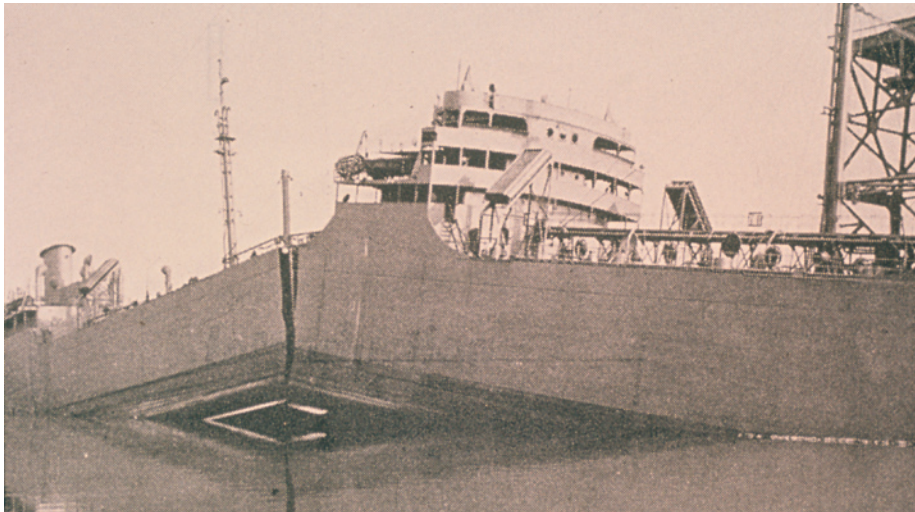
Haurasmurtuman kannalta ratkaisevaa on materiaalin, kuorman, rakenteen ja lämpötilan yhdistelmä. Eurokoodi 3-1-10 [4] sisältää sitkeysluokan valintaa koskevia ohjeita, joissa otetaan nämä tekijät huomioon.

1930- ja 1940-luvuilla tapahtui useita hitsattuihin rakennelmiin liittyviä katastrofaalisia onnettomuuksia. Tunnetuimpia tapauksia ovat ns. Liberty-alukset, joka rakennettiin liikennöimään Yhdysvaltojen ja Euroopan välille toisen maailmansodan aikana. Moniin aluksiin syntyi haurasmurtumia. Kuvasta 2.18 näkyy äärimmäinen esimerkki haurasmurtumasta, joka syntyi tyynellä ilmalla satamassa olevaan alukseen. Ainut seikka, joka vaikutti alukseen tuolloin epäsuotuisasti, oli se, että yöllä lämpötila laski. Vauriot johtivat siihen, että International Institute for Welding -tutkimuslaitoksen työryhmä vaihdettiin. Puheenjohtajaksi valittiin ranskalainen Bonhomme, ja ryhmän työn tulokset, ns. Bonhomme-suositukset, toimivat sitkeysluokitusstemme ensimmäisenä perustana.



Kuva 2.17 Iskukoekäyrä.

Raudanvalmistuksen uskotaan alkaneen Kaukasuksella noin 2 000 vuotta eKr. ja levinneen sieltä Vähä-Aasiaan, Intiaan, Kiinaan ja vähitellen Eurooppaan. Ruotsissa raudanvalmistuksen uskotaan alkaneen noin 400 vuotta eKr. Vuonna 1856 Sir Henry Bessemer (1813–1898) patentoi konvertterimenetelmänsä. Menetelmässä sula raakarauta on säiliössä (konvertterissa), joka on päällystetty sisältä happamalla (piipitoisella) aineella. Konvertterin pohjassa olevista rei'istä puhalletaan ilmaa ja näin raudan sisältämä mangaani, pii ja hiili oksidoituvat. Bessemer-menetelmä oli ensimmäinen laajamittainen menetelmä, jolla harkkoraudasta valmistettiin sulaa terästä.



Kuva 2.18 Haurasmurtuma Liberty-aluksessa.

2.4.3 Muut ominaisuudet

Teräksen muiden fysikaalisten ominaisuuksien suuntaa-antavia arvoja:

- tiheys $7\,850\text{ kg/m}^3$
- pituuden lämpötilakerroin $1,2 \cdot 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- lämmönjohtavuus $60\text{ W/m }^\circ\text{C}$
- ominaislämpökapasiteetti $450\text{ J/kg }^\circ\text{C}$
- kimmokerroin 210 GPa
- liukkerroin 81 GPa .

2.5 TERÄSSTANDARDEJA

Yhtenäisyyden saavuttamiseksi tiettyjä teräslajeja on standardisoitu analyysia, materiaalien ominaisuuksia ja ominaisuuksien määrittämiseen käytettäviä koemenetelmiä koskevien vaatimusten suhteen.

EU:ssa ja EFTAssa on jo vuosia ollut käytössä yhteiset standardit. Ruotsissa ne on julkaistu Ruotsin standardointielimen (SIS:n) SS-EN-standardin muodossa. On syytä huomata, että eri teräsiin viitataan sanalla *teräslaji* (stålsort). Aikaisemmin eri teräsiä kutsuttiin *teräslaaduiksi* (stålkvalitet) – tätä termiä ei pidä enää käyttää. Teräslajista ilmenee lujuusluokitus ja sitkeystaso.

Mustista rakenneteräksistä käytetään lyhennettä SXXX YY, jossa S merkitsee rakenneterästä, XXX taattua myötörajaa megapascalina (MPa) ilmaistuna ja YY sitkeysluokkaa, esimerkiksi S355 NL.

Materiaalistandardeja uudistetaan parhaillaan. Standardeista SS-EN 10025+A1, SS-EN 10113, SS-EN 10155 ja SS-EN 10137 tulee yhden standardin eri osia, ja standardista SS-

EN 10025 tulee osat 1–6. Joitakin materiaaleja poistetaan ja joidenkin nimikkeet vaihdetaan. Uudesta standardista löytyy lisätietoa viitteestä [3] (Eurokoodi 3-1-1).

On myös tärkeää pysyä ajan tasalla sen suhteen, mitä teräksen tukkumyyjät varastoivat ja voivat myydä lyhyellä varoitusajalla. Myös teräsvalmistajat antavat mielellään tietoa nykyaikaisista teräslajeista, niiden käyttömahdollisuuksista ja toimitusajoista.

KIRJALLISUUTTA

- [1] Edström J. O., et al. Stålfremställning ur Fosforrik Järnmalm, STU Information 256–1981, Styrelsen för Teknisk Utveckling, Tukholma (1981)
- [2] Karlebo Materiallära, Liber (1997)
- [3] Eurokoodi 3-1-1: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, EN 1993-1-1: 2004.
- [4] Eurokoodi 3-1-10: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-10: Materiaalin sitkeys ja kokonaispaksuuden ominaisuudet, EN 1993-1-10: 2004.

INTERNET

www.jernkontoret.se
www.eurokoder.se

TEKIJÄT

Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen on kirjoittanut Mikael Nyquist. Tämän painoksen kappaleen ovat uudistaneet tekniikan tohtori Anders Samuelsson (SSAB Oxelösund) ja tekniikan tohtori Anders Olsson (SBI).



the one for the job

Citec Engineering offers multi-discipline engineering solutions and consultant services for industry, focusing on energy production, vehicles industry, industrial & commercial buildings and environment.

Behind the scenes Citec's experts will take full responsibility for tasks that are not your main activities. This leaves you free to take the leading role in your own field of expertise.

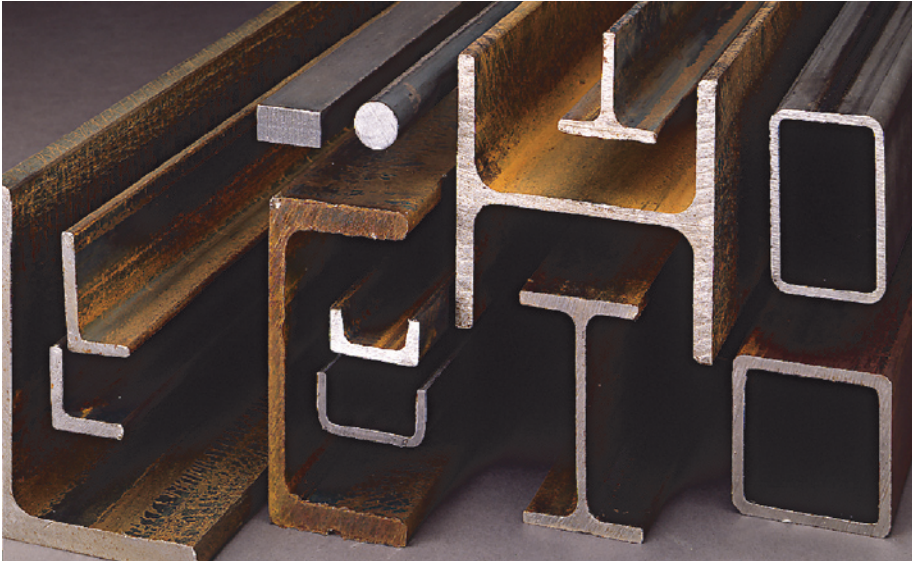
You be the star - we'll do the stunts.

www.citec.fi

crtec



Valitse meidät, kun tarvitset uudella tavalla ajattelevaa metalliosaajaa menestyksesi tueksi. Asiakkaanamme saat meiltä kattavan valikoiman tuotteita ja palveluita mm. teollisuus- ja liikerakentamiseen. Esimerkkejä osaamisestamme löydät osoitteesta www.ruukki.com



Teräsprofileja.

3. RAKENNEOSAT, PROFIILIT

Liukuvalun jälkeen teräs muotoillaan pitkiksi tai laakeiksi terästuotteiksi. HEA-tanko on esimerkki pitkästä tuotteesta, kun taas teräslevy on esimerkki laakeasta tuotteesta. Pitkät tuotteet on kuumavalssattu eli niitä on muokattu hehkuvan kuumina. Teräslevyt voivat puolestaan olla joko kuuma- tai kylmävalssattuja. Kylmävalssaus tarkoittaa teräksen muovaamista huoneenlämpötilassa. Pitkiä ja laakeita tuotteita voidaan käyttää sellaisinaan tai niitä voidaan jalostaa edelleen rakenneosiksi. Rakenneosa on osa rakennuksen kantavaa rakennetta. Esimerkkejä rakenneosista ovat pilarit ja palkit.

Tässä kappaleessa tutustutaan tavallisimpiin rakenneosiin. Tietoa saatavilla olevista teräslajeista, niiden mittasuhteista, varastoinnista, hinnoista ja toimitusajoista löytyy tukku-kauppiain ja tavarantoimittajien tuoteluetteloista.

Lisätietoa muovausprosesseista, kuten valssauksesta, löytyy viitteistä [1] ja [2].

3.1 KUUMAVALSSATUT TANGOT

Tankoihin kuuluvat pyörö-, latta- ja kulmatanko (ks. kuva 3.1). Pyörö- ja lattatankoja käytetään usein vetosauvana rakenneosissa. Kulmatankoja käytetään esimerkiksi ristikkopalkeissa (ks. kappale 3.3).

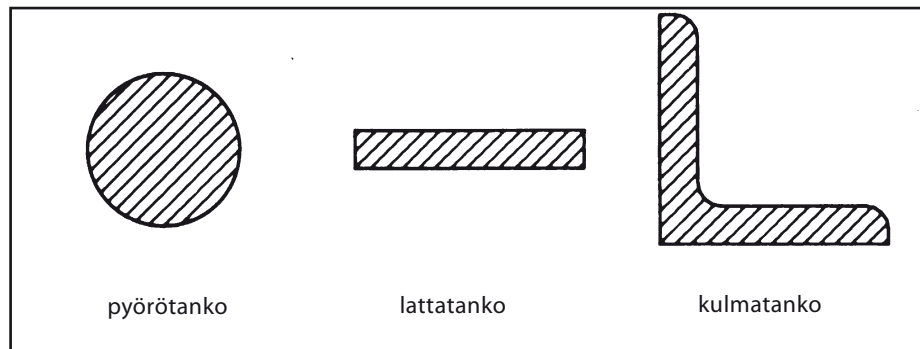
Tangoiksi luetaan myös HEA-, HEB-, HEM-, IPE-, UNP- ja UPE-tangot. Ne näkyvät kuvassa 3.2. Niitä käytetään ensisijaisesti pilareina ja palkkeina rakennuksissa.

Tankoja valssattaessa kuuma teräs ylittää valssissa olevan erityisen uran tai uraparin (ks. kuva 3.3) ja muotoutuu niissä oikeankokoiseksi. Valssauksen jälkeen tanko saa jäähtyä alustalla. Eri osat jäähtyvät niiden paksuudesta riippuen eri vauhtia, ja tämä aiheuttaa jäännösjännityksiä, ks. luku 16 (Mitoitus).

Tankoja toimitetaan ennalta määritetyn mittaisina, mutta niitä saa myös tilauksesta tietynmittaisina ja -kokoisina. Jälkimmäinen vaihtoehto on kalliimpi, mutta toisaalta oikeanmittaisista tangoista syntyy vähemmän romujätettä ja ne vaativat vähemmän materiaalinkäsittelyä konepajoilla. Tankoja voidaan myös toimittaa ruostesuojattuina (ks. kappale 11.2.4).

3.2 KUUMA- JA KYLMÄVALSSATUT LEVYT

Levytuotteet jaetaan karkealevyihin, medium-levyihin ja ohutlevyihin. Karkealevyllä tarkoitetaan levyä, jonka paksuus on vähintään 5 mm. Medium-levy on 3–5 mm paksua.



Kuva 3.1 Kuuma-
valssattuja tankoja.

pyörötanko

lattatanko

kulmatanko

Alle 3 mm paksua levyä kutsutaan ohutlevyksi. Karkea- ja medium-levyt ovat kuumavalssattuja. Ohutlevy voi olla kuuma- tai kylmävalssattua. Kuitenkin myös karkealevy voidaan valssata nykytekniikalla nykyaikaisissa terästehtaissa alle 5 mm:n paksuiseksi.

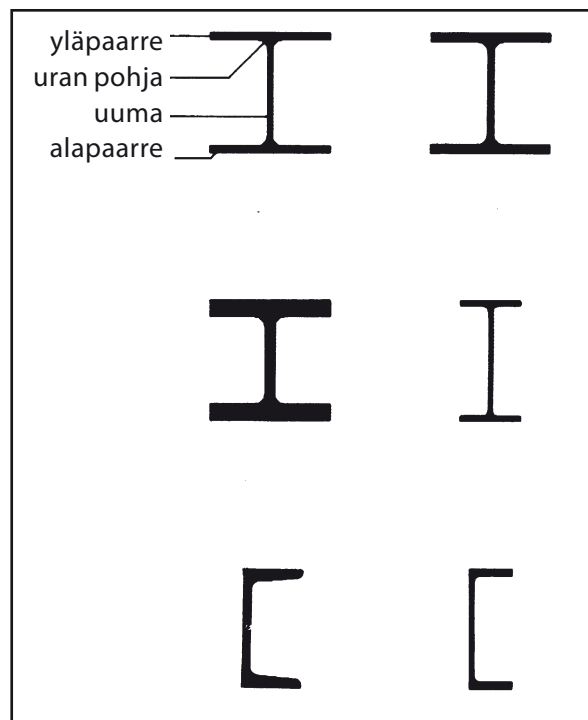
Kuumavalssattua karkealevyä voidaan nimittää kvartolevyksi tai nauhalevyksi. Nämä nimitykset johtuvat valssauslaitteiden ja -tapojen nimityksistä, eivätkä ne liity millään tavalla levyn ominaisuuksiin. Teräsrakentamisen alalla karkea- ja medium-levyä käytetään etupäässä hitsatuissa palkeissa (ks. kappale 3.3) ja ohutlevyä ensisijaisesti perusmateriaalina ohutlevyprofiilien valmistuksessa (ks. kappale 3.5).

Ohutlevyä käytetään myös uumalevynä I-palkeissa, joissa on profiloitu uuma.

Kvartolevyä valmistettaessa teräs lämmitetään läpityöntöuunissa noin 1 250 °C:n lämpötilaan (ks. kuva 3.4) Sitten se kuumavalssataan ns. kvartovalssaimessa (ks. kuva 3.5). Valssauksen jälkeen levy voidaan jäähdyttää eri menetelmin (ks. kappale 2.2.4). Levyn annetaan jäähtyä suurilla jäähdytysalustoilla. Tämän jälkeen levy leikataan haluttuun muotoon eli siitä tehdään ns. muotolevyä. Sitten karkealevy onkin valmis jatkokäyttöä varten.

Nauhalevyksi kutsuttua kuumavalssattua karkea- ja medium-levyä valmistetaan nauhavalssaimessa. Materiaalina käytetään kuumennettua terästä, aivan kuten kvartolevynkin kohdalla (ks. kuva 3.4). Valssauksen jälkeen lämmin nauha kelataan suuriksi rulliksi (ks. kuva 3.6). Rullat (englanniksi *coils*) toimitetaan eteenpäin joko sellaisinaan, leikataan muotolevyiksi tai toimitetaan kylmävalssaukseen.

Valtaosa kuumavalssatusta nauhalevystä toimitetaan kylmävalssaamoon työstettäväksi edelleen. Nauhan pinnalla on rautaoksidisia epäpuhtauksia, ns. hilsettä. Hilse poistetaan peittaamalla ennen kylmävalssausta. Kylmävalssaamossa nauha valssataan lopulliseen paksuuteen (ks. kuva 3.7). Jotta levy olisi sisäisiltä ja ulkoisilta ominaisuuksiltaan tasainen, sitä voidaan lämpökäsitellä eli hehkuttaa kylmävalssauksen aikana.



Kuva 3.2 Kuumavalssattuja tankoja. Kuvasta ilmenevät myös tämäntyyppisiä tankoja koskevat tavalliset nimitykset.

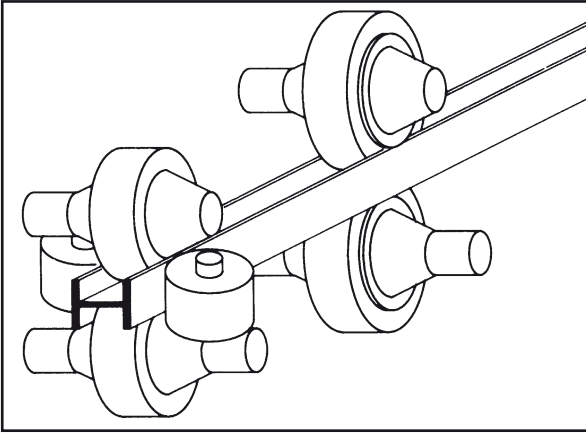
Kun levyä työstetään kylmänä kylmävalssauksessa, siitä tulee ohuempaa, saavutetaan pienemmät paksuustoleranssit ja saadaan aikaan sileämpiä pintoja kuin mitä kuumavalssauksessa olisi mahdollista.

3.3 HITSATUT PALKIT

Hitsatut palkit merkitsevät mahdollisuutta räätälöidä profiili tietyn tarkoituksen mukaiseksi. Näin voidaan periaatteessa valmistaa minkä muotoinen profiili tahansa mistä levystä tahansa. Kova hitsaaminen käy kuitenkin kalliiksi, joten yksinkertaiset tuotteet ovat kannattavimpia, vaikka niissä onkin osittain ylimääräistä materiaalia. Hitsauksessa käytetään usein hitsausautomaatteja (ks. kappale 4.1.1 ja kuva 3.8). Hitsatut palkit eivät ole varastotavaraa, vaan ne valmistetaan tilauksesta lyhyiden toimitusaikojen



Kuva 3.3 a Tangon valssaus.



Kuva 3.3 b Horisontaalinen ja vertikaalinen valssipari antavat tangolle sen muodon.



Kuva 3.5 Karkealevyn valssaus kvartovalssaimessa.

sisällä. Hitsattuja palkkeja on suhteellisen yksinkertaista korottaa. Korotettuun palkkiin tulee kuormituksen vastainen esikorotus (ks. luku 16, Mitoitus).

Hitsattuja matalapalkkeja käytetään välipohjissa. Ne perustuvat siihen ajatukseen, että palkki rakennetaan välipohjan sisään ja näin välipohjasta saadaan ohut (ks. kappale 6.7.1). Koska palkit ovat laatikon mallisia, ne eivät vääny. Kuvassa 3.9 on joitakin tavallisia matalapalkkityyppejä.

Muita tavallisesti esiintyviä hitsattuja palkkeja ovat I-palkit, joissa on tasainen tai profiloitu uuma, sekä laatikko-, matala- ja ristikkopalkit. Näitä palkkityyppejä käytetään suurissa jänneväleissä (ks. kuva 3.10). Kuormituksen ollessa

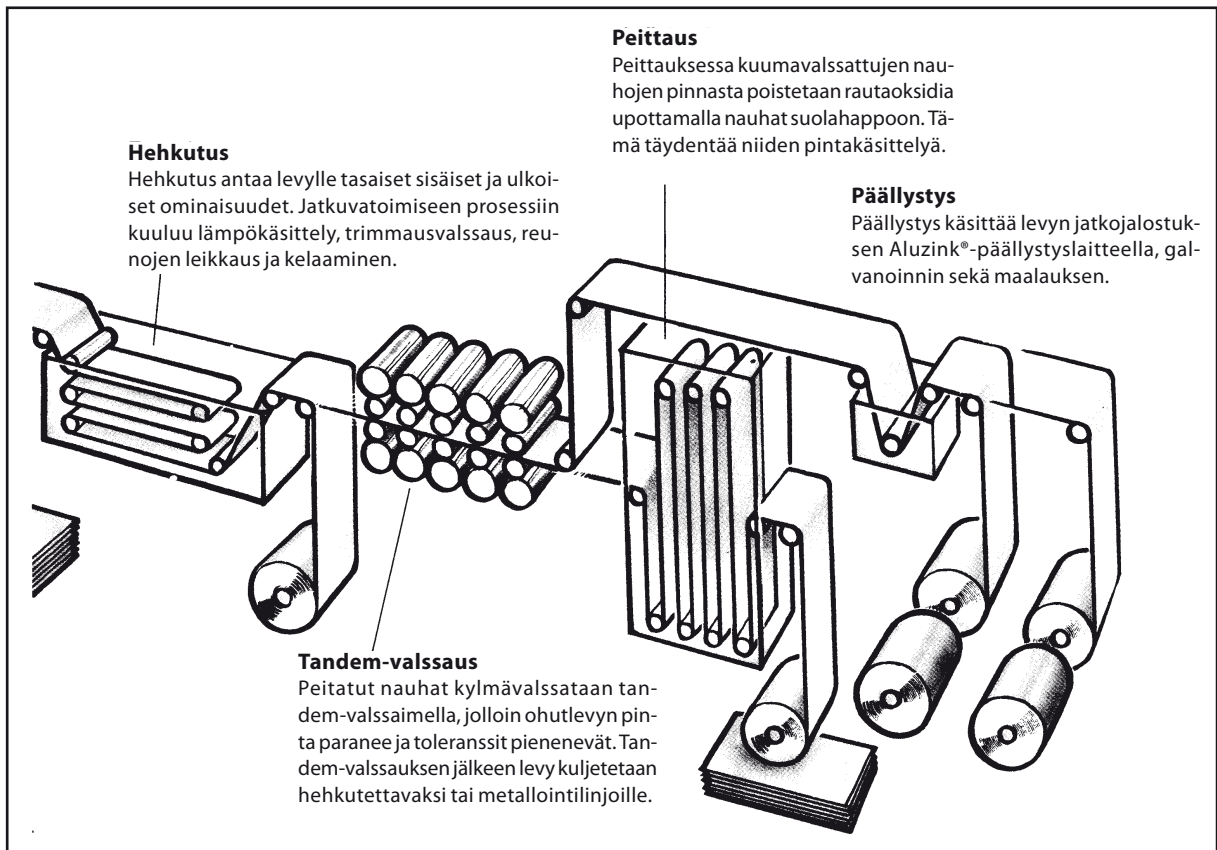
suuri, esimerkiksi silloissa, 20 x 3 000 mm:n kokoinen uuma ei ole mitenkään epätavallinen. Kattorakenteissa käytetään tavallisesti ristikko- tai I-palkkeja, joissa on profiloitu uuma (ks. kuvat 3.11 ja 3.12). Ristikkopalkit hitsataan tavallisesti kuumavalssatusta tangosta, L-, UNP- ja UPE-tangosta taikka kuuma- ja kylmämuokatusta rakenneputkesta (ks. kappale 3.4).

3.4 RAKENNEPUTKET

Rakenneputkia käytetään usein pilareina. Ne voivat olla profiililtaan pyöreitä, neliömäisiä tai suorakaiteen muotoisia (ks. kuvat 3.13. ja 3.14). Rakenneputkia voidaan muokata kuumina tai kylminä, joten niitä voidaan kutsua kuuma- tai



Kuva 3.4 Terästä ennen valssausta.



Kuva 3.7 Esimerkki ohutlevyn valssauksesta kylmävalssaimessa.

kylmämuokatuiksi rakenneputkiksi. Valmistuserojen vuoksi kuuma- ja kylmämuokatut rakenneputkien ominaisuudet, kuten jäännösjännitys, ovat erilaiset. Tämä täytyy ottaa huomioon teräsrakenteiden mitoituksessa.

3.5 OHUTLEVY JA KYLMÄMUOKATUT PROFIIIT

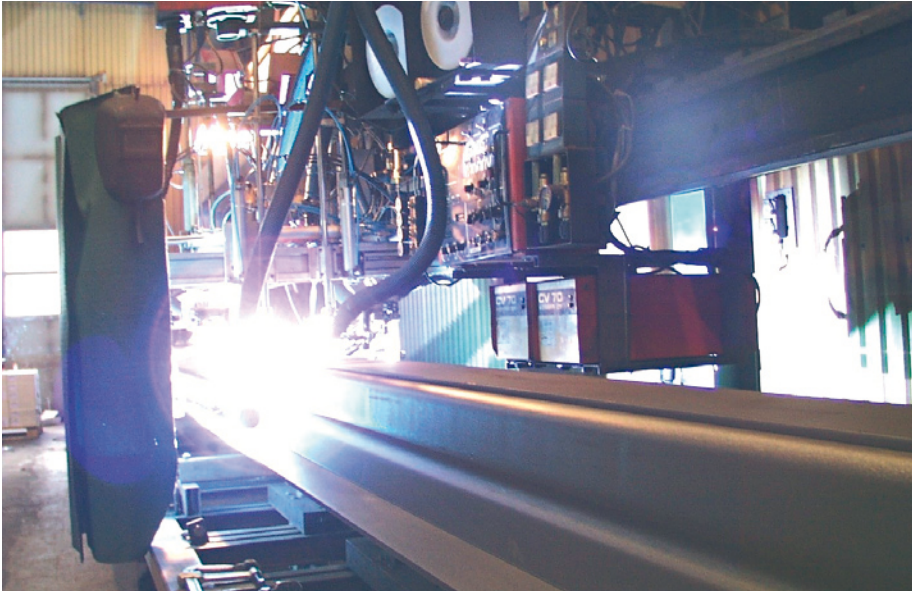
Kylmämuokatusta ohutlevystä muokataan profiileja rakennustarkoituksiin. Ennen muokkausta levy päällystetään. Levy voi olla sinkittyä, alusinkittyä tai muovitettua. Alusinkki on alumiinia, sinkkiä ja piitä sisältävä päälly-

ste. Muovi- tai väripäällysteinen levy on aina ensin sinkitty tai alusinkitty.

Tavallisin käyttöalue on poimulevy (ks. kappale 13.3.4). Levyä muovataan rullamuovauskoneella (ks. kuva 3.15). Poimulevyä käytetään ennen kaikkea kantavana rakenteena sekä pintakerroksena katoissa ja seinissä. Sitä käytetään myös paikoilleen jäävänä muottina välipohjien valamisen yhteydessä. Toisen tavallisen käyttöalueen muodostavat kylmämuokatut ohutlevyprofiilit, joita valmistetaan särmäspuristimella (ks. kappale 9.1.3) tai rullamuovauksella. Kantavien rakenteiden, ns. kevytpalkkien, tavallisia



Kuva 3.6 Hehkuvaa nauha-terästä kelataan rullalle.

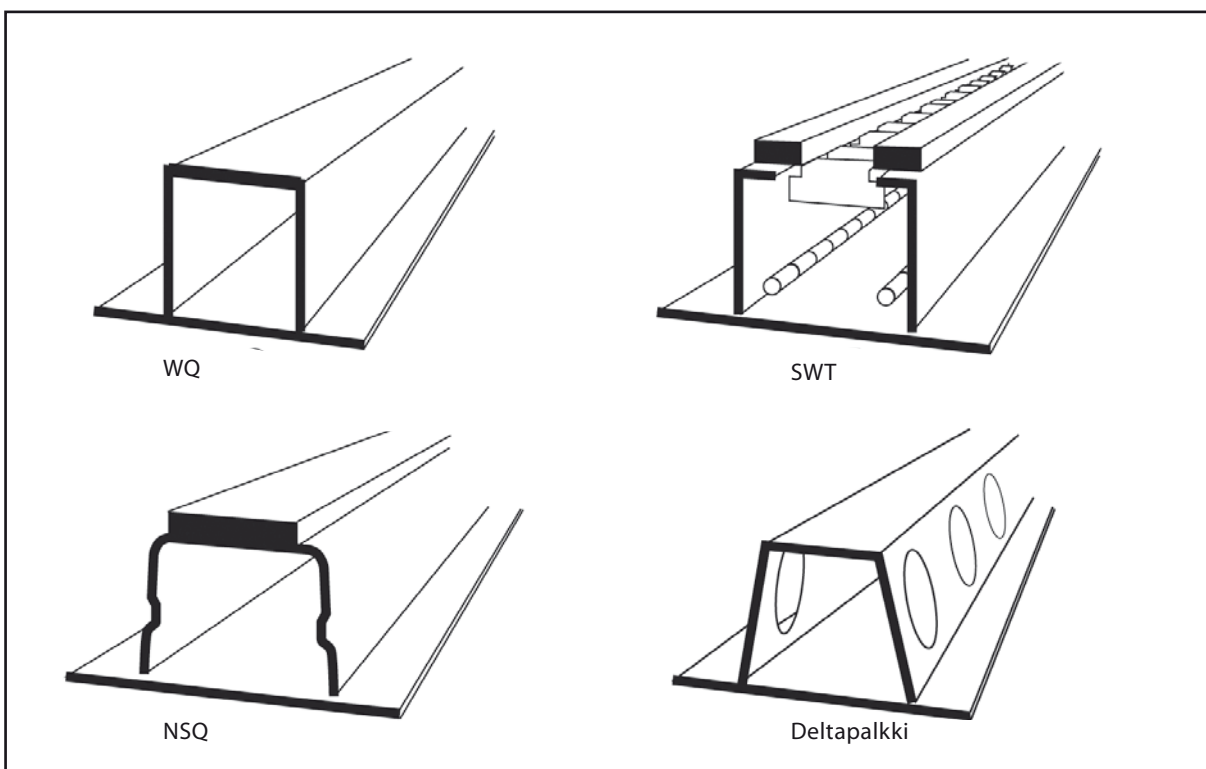


Kuva 3.8 Palkin hitsaus hitsausautomaatissa.

profiileja C- ja Z-profiilit (ks. kuva 3.16). Z-profiileja käytetään usein katonharjoina kattorakenteissa. Kevytpalkkeja valmistetaan 100–330 mm:n korkuisina 1–3 mm paksusta levystä.

3.6 KARKEA- JA MEDIUM-LEVYSTÄ KYLMÄMUOKATUT PROFIIILIT

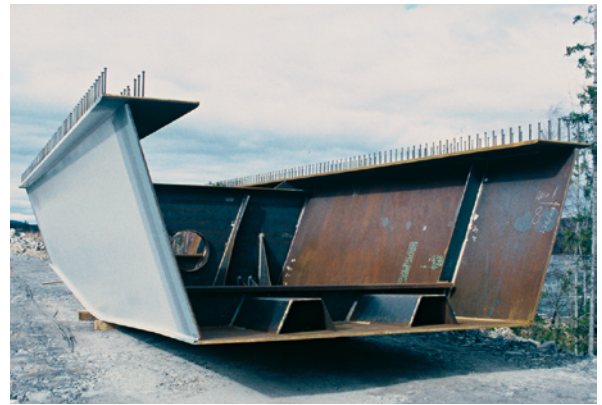
Myös karkea- ja medium-levystä voidaan valmistaa rulla- muovauksella tai särmäyspuristimella kylmämuokattuja profiileja (ks. kuva 3.17). Tämä edellyttää sitä, että valmistuksessa käytetään nykyaikaisia, viime vuosien aikana kehitettyjä kylmämuovausteräksiä (ks. kappale 2.2.5). NykYTEKNIKALLA voidaan särmätä jopa 15 mm paksua materiaalia. Tämän paksuisia kylmämuokattuja profiileja voidaan käyttää pilareina ja palkkeina. Valsattuihin palkkeihin verrattuna tähän liittyy se etu, että profiilin muoto voidaan valita käyttötarkoituksen mukaan



Kuva 3.9 Erityyppisiä hitsattuja matalapalkkeja.



Kuva 3.10 a Hitsattu I-palkki siltarakenteeseen.



Kuva 3.10 b Hitsattu laatikkopalkki siltarakenteeseen.



Kuva 3.10 c Hitsattu ristikkopalkki siltarakenteeseen.

3.7 RUOSTUMATTOMASTA TERÄKSESTÄ VALMISTETUT RAKENNEOSAT

Ruostumatonta terästä käytetään yhä enenevässä määrin rakennustarkoituksiin. Kun ylläpitokustannukset on pidettävä matalina, ruostumaton teräs on selvästi muita materiaaleja parempi vaihtoehto. Katoissa käytetään esimerkiksi ruostumattomasta saumahitsatusta nauha-levystä valmistettua eristekerrosta, minkä ansiosta katto on huoltovapaa ja täysin tiivis 1:100 kallistumiin asti. Julkisviuissa käytetään myös kylmävalssattua nauha-levyä, joka on muovattu profiileiksi tai kaseteiksi. Levyjä on saatavana myös erilaisilla pintakäsittelyillä, kuten koristevalssattuna, kuvioituna, harjattuna, kiillotettuna tai värillisenä, eri arkkitehtonisia tarkoituksia varten. Kantavissa rakenteissa käytetään erilaisia kuumavalsattuja tankoja, kuten pyörö-, latta-, nelikulma- ja kulmatankoa, tai erikoisprofiileiksi taitettua levyä (ks. kuva 3.18). Ruostumattomien rakenneosien asennuksessa käytetään tavallisia kiinnityselementtejä, joiden täytyy myös olla ruostumatonta terästä, jotta ne eivät värjää ruosteettomia pintoja.



Kuva 3.11 Hitsattu katto-palkki, jossa taitettu uuma.



Kuva 3.12 Ristikkopalkki hallirakennuksen katto-rakenteessa.

3.8 TOLERANSSIT JA MERKINNÄT

Teräksisten rakenneosien kohdalla mittaustarkkuus on hyvä. Mittaa ja muotoa koskevat poikkeamat ovat pieniä. EN 1090 -standardissa ilmoitetaan levyjä ja tankoja koskevat toleranssit sekä teräsrakenteiden valmistuksessa ja asennuksessa tarpeellinen mittaustarkkuus. Levyjä ja tankoja koskevat toleranssit vaikuttavat muun muassa osavarmuusluvun (L_m) valintaan (ks. luku 16, Mitoitus).

Teräsrakentamiseen toimitettava teräs on aina täysin jäljitettävissä merkintöjen ja sertifikaattien avulla, joten sekaantumista ei voi tapahtua. Teräksen käyttäjän täytyy voida varmistaa, että materiaali on testattu ja hyväksytty. Merkintöjen täytyy sisältää merkintä teräslajista ja sen alkuperästä sekä pääsääntöisesti myös tuotanto- tai valmistuseränumero, joka kertoo, miltä terässulattamolta materiaali on peräisin. Merkintä voi olla leimattu tai kirjoitettu (ks. kuva 3.19).

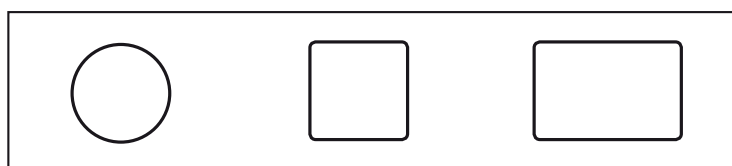
Sertifikaatin täytyy sisältää mitatut lujuus- ja analyysiarvot sekä muiden mahdollisten kokeiden tulokset (esimerkiksi iskutkeysarvot erilaisina etukäteen määritettyinä

arvoina tai kyseistä materiaalia koskevien edellytysten mukaisesti). Joidenkin terästen kohdalla sertifikaatti ja valmistuserämerkintä korvataan laatuvarauksella, jossa toimittaja vakuuttaa materiaalin täyttävän kullekin teräslajille asetetut vaatimukset. Sen sijaan mitattuja koe- arvoja ei ilmoiteta.

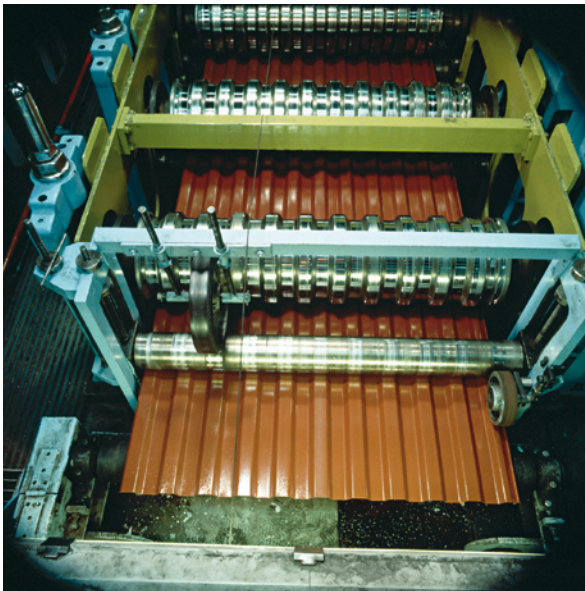
3.9 TOIMITUSTAPA

Levyistä ja tangoista puhuttaessa tehdään ero varasto- toimituksen ja suoratoimituksen välille. Varastotavara on peräisin tukkukauppialta, ja toimitusaika on lyhyt, vain muutaman päivän. Suoratoimitukseksi (tehdastoimitukseksi) kutsutaan sellaisen materiaalin toimitusta, jonka teräsvalmistaja valssaa tilauksesta ja toimittaa suoraan asiakkaalle joko tukkukauppiaan välityksellä tai ilman sitä. Toimitusaika on usein kuukauden tai jopa enemmän. Varastomateriaali on kalliimpaa kuin suoraan toimitettava materiaali.

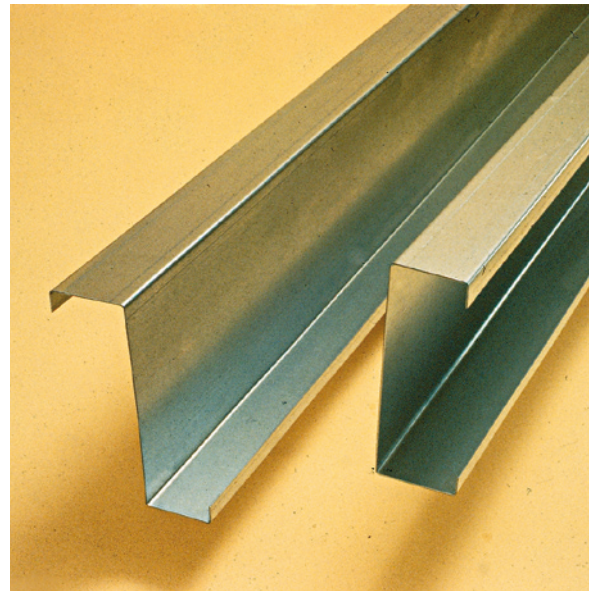
Suoramateriaalia pyritään käyttämään hintasyistä ja siksi, että tarkoituksenmukaisen muodon vuoksi romujätteen määrä on vähäisempi. Suoramateriaalin kohdalla kuitenkin edellytetään tavallisesti viiden tonnin vähimmäiserää. Varastomateriaalia – sekä jossakin määrin myös suoramateriaalia – voidaan toimittaa jalostetussa muodossa. Tämä tarkoittaa tavallisesti katkaisua, puhallusta ja maalausta (ks. kappale 11.2) sekä mahdollisesti myös kuvioleikkausta, leikkaamista, railon valmistusta ja taivutusta halutuiksi profiileiksi (ks. kappale 9.1).



Kuvat 3.13 ja 3.14 Rakenneputkia.



Kuva 3.15 Ohutlevyn profilointi rullamuovauskoneella.



Kuva 3.16 Kylmämuokattuja ohutlevyprofileja.

Rakentajan on teräslajia valitessaan otettava huomioon materiaalin saatavuus ja toimitusajat. Suoramateriaalina toimitettavan levyn toimitusaika on normaalisti 3–5 viikkoa, kun taas tangon toimitusaika on pidempi.

Ohutlevyt ja kylmämuokatut profiilit toimitetaan pääsääntöisesti suoramateriaalina. Näiden tuotteiden toimitusaika on kuitenkin lyhyt.

3.10 MATERIAALIEN HINNAT

Kuumavalssattujen tankojen ja levyjen hinta muodostuu perushinnasta, mittalisästä ja laatulisästä. Mittalisällä tarkoitetaan eri mittasuhteista ja muodoista aiheutuvaa hintalisää. Laatulisällä tarkoitetaan eri lujuus- ja sitkeysluokkiin perustuvaa hintalisää. Suurimman osan hinnasta muodostaa perusosa, ja suhdannevaihtelut vaikuttavat siihen eniten.

Perushinnan, mittalisän ja laatulisän päälle lasketaan mahdolliset määrälliset tai -alennukset sekä rahtimaksut. Kun kyse on varastomateriaalista, lisää maksetaan yleensä alle yhden tonnin eristä. Kun kyse on suoramateriaalina toimitettavasta tavarasta, lisää maksetaan yleensä alle 10 tonnin levyeristä ja alle 35 tonnin tankoeristä.

Varasto- ja suoramateriaalin tämänhetkisistä hinnoista saa tietoa tukkukauppioiden ja valmistajien hinnastoista. Erittäin lujien teräslajien hinnoista voidaan todeta, että usein hinta megapascalina (MPa) kohden pienenee sitä mukaa kuin teräksen lujuus kasvaa.



Kuva 3.17 Rullamuovattuja valukasetteja mediumlevystä. Kasetteja käytetään mm. välipohjarakenteissa.



Kuva 3.18 Rakenneputkia ruostumattomasta teräksestä.

KIRJALLISUUTTA

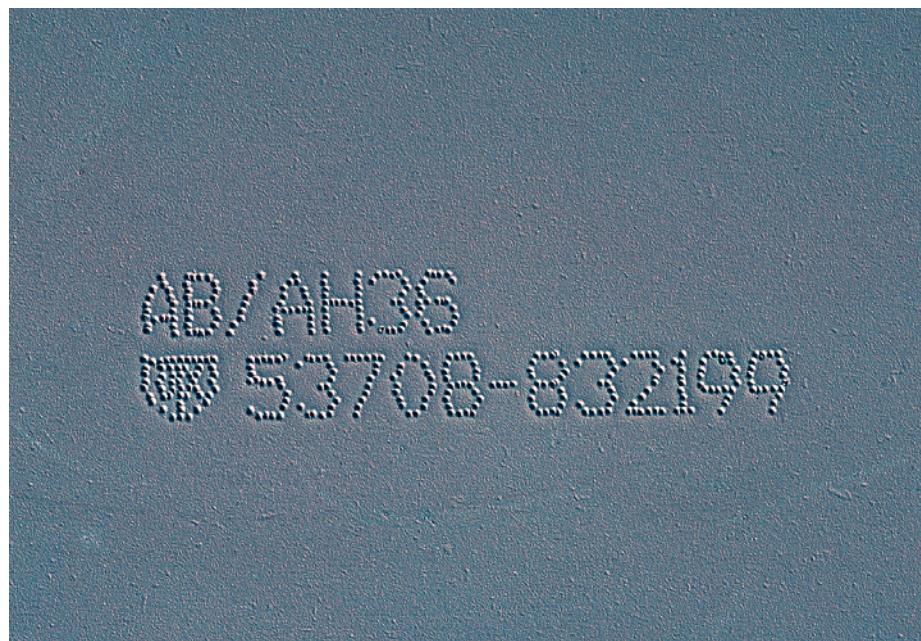
- [1] Semiatiin S. L., et al. Metals Handbook Ninth Edition, Volume 14, Forming and Forging, ASM International, Metals Park, Ohio (1988)
- [2] Tillverkning av kallvalsad tunnplåt, SSAB Tunnplåt, Borlänge (1986)
- [3] BSK 99 – Bestämmelser för stålkonstruktioner,
- [4] Löfberg A-M. Stål i äldre hus, Rapport nr 3, Institutionen för konstruktionslära, Kungliga Tekniska Högskolan, Tukholma (1974)

INTERNET

www.tibnor.se
www.edstrand.se

TEKIJÄT

Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen on kirjoittanut Mikael Nyquist. Tämän painoksen kappaleen on uudistanut Christer Ericson (Bröderna Edstrand AB).



Kuva 3.19 Merkintä karkealevyssä.



Teräsrakenteen yksityiskohta.

4. LIITOSMENETELMÄT

Kuumavalssattuja teräsrakennneosia on saatavana sekä tankoina että levyinä (ks. kappale 3). Käytännössä kaikki rakenteet edellyttävät erilaisten teräsosien yhteen liittämistä. Konepajoilla pieniä osia yhdistetään suuremmiksi rakennyksiköiksi tavallisesti hitsaamalla (ks. kuva 4.1). Teräsrakennuksia koottaessa rakennyksiköt liitetään toisiinsa tavallisesti ruuviliitoksien (ks. kuva 4.2). Ohutlevyrakenteissa käytetään myös muunlaisia liitoksia, joita käsitellään kappaleessa 13.

Liitosmenetelmän valintaan vaikuttavat monet tekijät, kuten liitoksen sijainti, käytettävissä oleva työskentelytila, kokoamisvaiheen aikataulu sekä joissakin tapauksissa liitoksen ulkonäkö. Myös sillä, tehdäänkö liitos konepajalla vai rakennustyömaalla, on suuri merkitys. Konepajalla hitsaus on aina taloudellisin tapa tehdä vahvoja liitoksia. Kokoonpanot valmistellaan konepajalla liittämistä varten liitoskohtia rei'ittämällä ja hitsaamalla. Paikan päällä asennus tehdään useimmiten ruuviliitoksien. Ruuviliitoksen suureksi eduksi voidaan katsoa se, että asennus käy nopeasti ja että rakentaminen tapahtuu esivalmistettuja kokoonpanoja käyttäen. Ko-

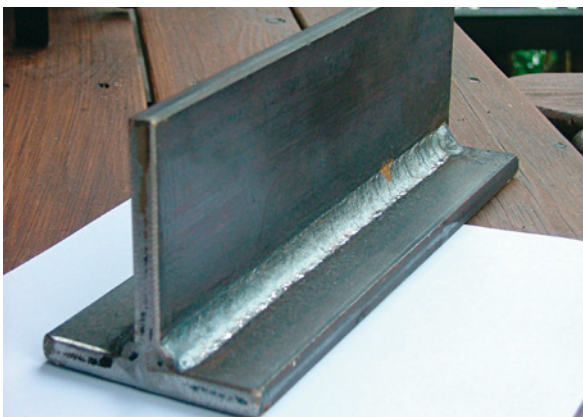
nepajalla tehtävä valmistelutyö luonnollisesti maksaa, mutta rakennustyömaalla säästettävällä ajalla on suurempi merkitys. Jos asentaminen vie paljon aikaa, kalliiden nosturilaitteiden kustannukset kasvavat ja seuraavien vaiheiden aloittaminen viivästyy.

Tässä kappaleessa käsitellään hitsaus- ja ruuviliitoksia. Mitoittamista käsitellään luvussa 16 ja yksityiskohtien suunnittelua kappaleessa 8. Hitsausta koskevia lisätietoja löytyy viitteestä [1] ja ruuviliitoksia koskevaa lisätietoa viitteistä [3] ja [4].

4.1 HITSILIITOKSET

4.1.1 Materiaalit ja menetelmät

Teräsrakenteissa hitsaus on yleisin liitosmenetelmä. Periaatteessa kaikkia teräksiä on mahdollista hitsata, mutta ns. hitsattavia teräksiä on mahdollista hitsata yksinkertaisilla, tavallisesti käytetyillä menetelmillä. Kaikkia SS-EN 10025 -standardissa lueteltuja yleisiä rakennusteräksiä voidaan hitsata, mutta niiden hitsausominaisuudet eivät ole yhtä hyvät.



Kuva 4.1 Tankojen kiinnitys nurkkalevyyn hitsiliitoksella.



Kuva 4.2 Palkkien kiinnitys pilariin ruuviliitoksella.

Hitsauksessa teräs sulaa paikallisesti ja hyvin nopeasti, mikä jälkeen ympäröivä kylmä materiaali jäädyttää sulaneen kohdan nopeasti. Tämä aiheuttaa rakennemuutoksia ja korkeita jäännösjännityksiä hitsattuun materiaaliin. Hitsattavaa terästä pitää voida hitsata, ilman että nämä muutokset aiheuttavat vaaraa rakenteen toimivuuden kannalta. Ensisijainen tapa varmistaa teräksen olevan hitsattavaa on asettaa sen kemiallista koostumusta koskevia rajoituksia.

Käytännössä katsoen kaikki seosaineet lisäävät teräksen karkenevuutta. Kovia rakenteita, kuten martensiittia, on vältettävä, koska niihin syntyy helposti halkeamia (ks. kapale 4.1.6). Karkenevuuden mittana käytetään ns. hiilikvivalenttia:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Lauseke on empiirinen ja koskee etupäässä hiili-, hiilimangani- ja mikroseosterästä. Lausekkeeseen lisätään kunkin seosaineen pitoisuus painoprosenteina. Hiilikvivalentin li-

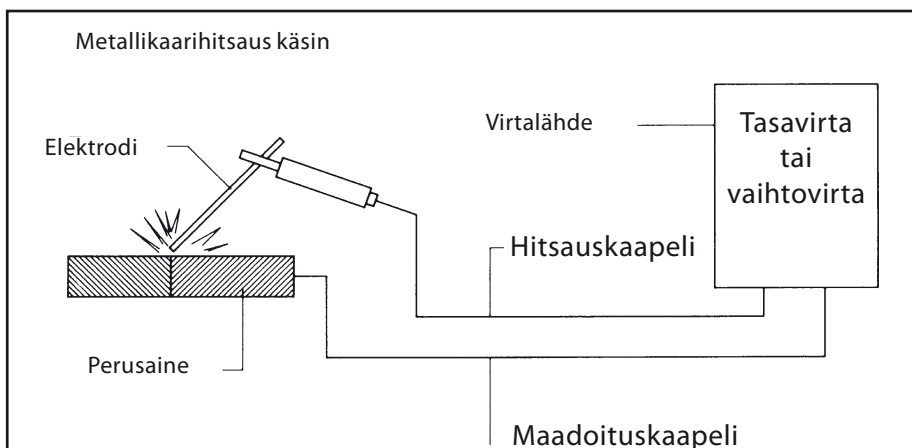
säksi myös lämmöllä ja jäähtymisnopeudella on vaikutusta. Jos hiilikvivalentti on alle 0,45, voidaan jopa noin 30 mm paksua materiaalia hitsata tavanomaisin menetelmin käyttämällä peruselektrodeja. Jos hiilikvivalentti on korkeampi tai hitsattava materiaali on paksumpaa, voi olla tarpeen ryhtyä erikoistoiimiin, esimerkiksi nostaa työskentelylämpötilaa. Tämä tarkoittaa sitä, että perusmateriaalia kuumentaan juuri ennen hitsausta. Jäähtyminen hidastuu ja näin halkeamien muodostumisen riski pienenee.

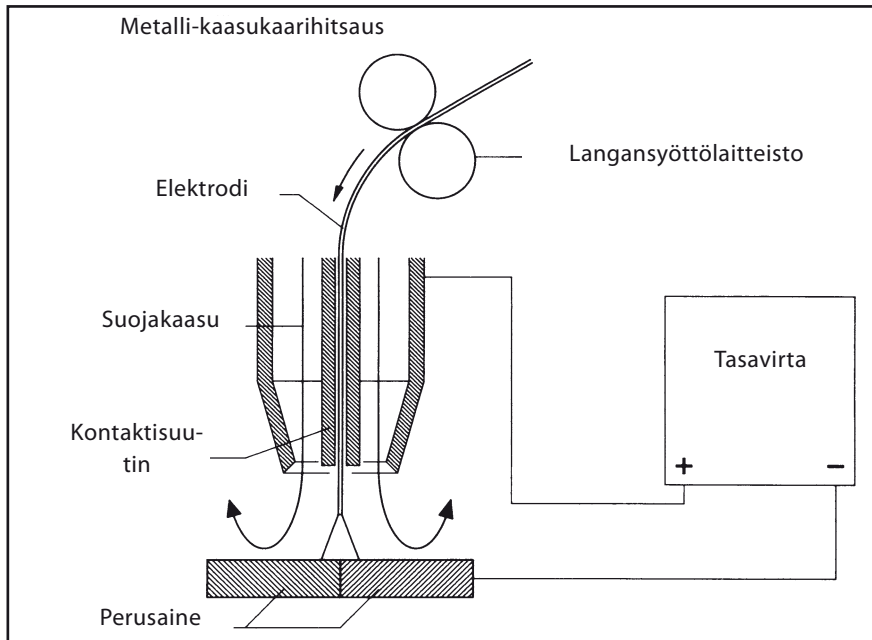
Tavallisimpia teräsrakenteiden hitsausmenetelmiä ovat

- metallikaarihitsaus käsin hitsauspuikolla (MMA = Manual Metal Arc; ks. kuva 4.2)
- puoliautomaattinen metalli-kaasukaarihitsaus (MIG = Metal Inert Gas ja MAG = Metal Active Gas) tasalaatuisella hitsauslangalla tai täytelangalla (ks. kuva 4.4)
- puoliautomaattinen metallikaarihitsaus täytelangalla
- täysautomaattinen jauhekaarihitsaus hitsauslangalla.



Kuva 4.3 a + 4.3 b Metallikaarihitsaus käsin hitsauspuikolla (MMA). Hitsaaja tarvitsee hitsauskypärän, joka suojaa voimakkaalta säteilyltä. Sisätiloissa tarvitaan myös hitsauskaasujen poistolaitteisto.





Kuva 4.4 Puoliautomaattisen metalli-kaasukaarihitsauksen (MIG tai MAG riippuen suoja-kaasun koostumuksesta) periaate. Elektrodi on päällystämätön tasalaatuinen hitsauslanka tai täytelanka. Suojakaasu estää sulaa metallia hapettumista.

Yllä olevat menetelmät ovat sulahitsausmenetelmiä, mikä tarkoittaa, että yhdistettävät osat sulatetaan paikallisesti hitsauspuikon ja hitsattavan kohteen välissä palavalla valokaarella. Osat sulatetaan yhteen hitsauspuikolla ilman painetta. Sula hitsiaine on suojattava muun muassa ilman sisältämän hapen vahingolliselta vaikutukselta. Suojaaminen tapahtuu eri tavoin eri hitsausmenetelmissä. Hitsauspuikkojen elektrodisuojuksen sekä jauhekaarihitsauksessa käytettävän täytelangan sisältämän jauheen tarkoituksena muodostaa kuonaa, joka suojaa sulaa hitsiainetta. MIG- ja MAG-hitsauksessa käytetään päällystämätöntä hitsauslankaa, ja hitsisulaa suojataan sen sijaan kaasulla, jota puhalletaan elektrodin ympärille. MIG-hit-

sauksessa se koostuu argonista, ja MAG-hitsauksessa hiilidioksidista tai seoskaasusta (noin 80 prosenttia argonia ja 20 prosenttia hiilidioksidia). Suojakaasua käytetään toisinaan myös täytelankahitsauksessa.

Tavallisin hitsausmenetelmä on manuaalinen metallikaarihitsaus, jota kutsutaan puhekielellä usein puikkohitsaukseksi. Puoliautomaattiset hitsausmenetelmät ovat kuitenkin konepajaolosuhteissa taloudellisimpia, ja siksi ne yleistyvät jatkuvasti. Ulkona käytetään melkein aina manuaalista metallikaarihitsausta, koska tuuli voi puhaltaa suojakaasut pois.



Kuva 4.5 Esimerkkejä manuaalisessa kaarihitsauksessa käytettävistä hitsauspuikoista.

4.1.2 Elektrodit

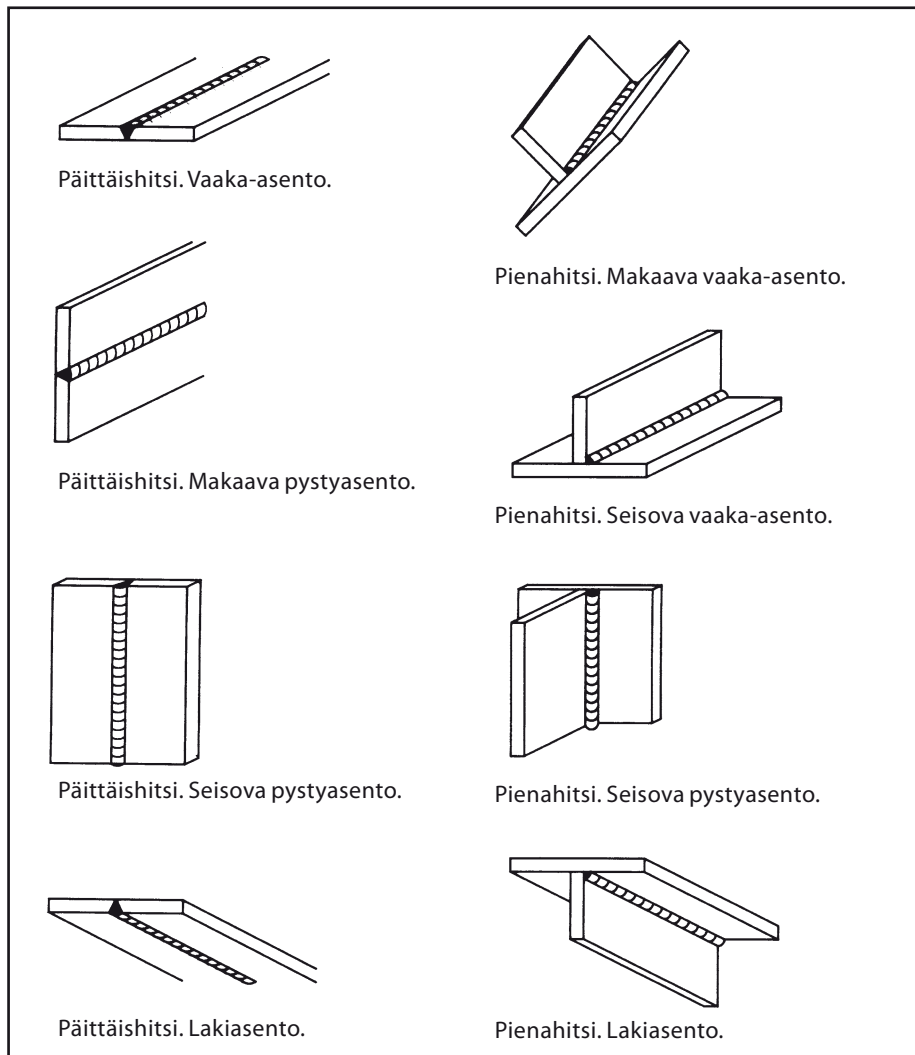
Hitsauspuikkoja (ks. kuva 4.5) on saatavana erilaisia. Perus- ja hapanpäällysteiset sekä rutiilipäällysteiset puikot erotaan toisistaan kuonan kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Peruselektrodien vetypitoisuus on pienin, ja niillä saadaan aikaan sitkein hitsiaine. Peruselektrodit suojaavat myös paremmin karkaisu-, vety- ja kuumahalkeamilta (ks. kuva 4.1.6). Mitä lujempaa materiaali on, sitä enemmän peruselektrodien edut korostuvat. Hapan- ja rutiilipäällysteisillä elektrodeilla on kuitenkin helpompi hitsata, ja niillä saadaan aikaan tasaisempi pinta.

Useimpiin peruspuikkoihin on lisätty enemmän tai vähemmän rautajauhetta tuottavuuden parantamiseksi. Jauhe sulaa hitsauksen yhteydessä hitsiaineeseen, ja näin hitsiaineen määrä kasvaa. Puikkoja, joissa on runsaasti lisättyä rautajauhetta, kutsutaan suurriittoisuuspuikoiksi.

Hitsauslanka on kelassa, ja sitä syötetään hitsauspistooliin. Täytelankoja on saatavana puoliautomaattiseen hitsaukseen, jossa käytetään tai ei käytetä suojakaasua. Täytelangassa on samantyyppistä, kuonaa muodostavaa ainetta kuin hitsauspuikossa. Sitä on kuitenkin selvästi vähemmän suhteessa hitsattavaan metalliin.

Jauhekaarihitsauksessa (ks. kuva 3.8) käytetään päällystämätöntä elektrodiä. Hitsauskohta peitetään jauheella, joka toimii samalla tavalla kuin hitsauspuikon suojuus. Jauhetta laitetaan suoraan elektrodin eteen. Jauhe, jota ei käytetä, imuroidaan hitsauksen jälkeen talteen uudelleenkäyttöä varten. Menetelmä on täysin automaattinen ja erittäin tuottava. Sitä voidaan kuitenkin käyttää vain vaakasuorassa asennossa, minkä vuoksi sitä voidaan hyödyntää vain valmistettaessa esimerkiksi palkkeja pitkinä sarjoina.

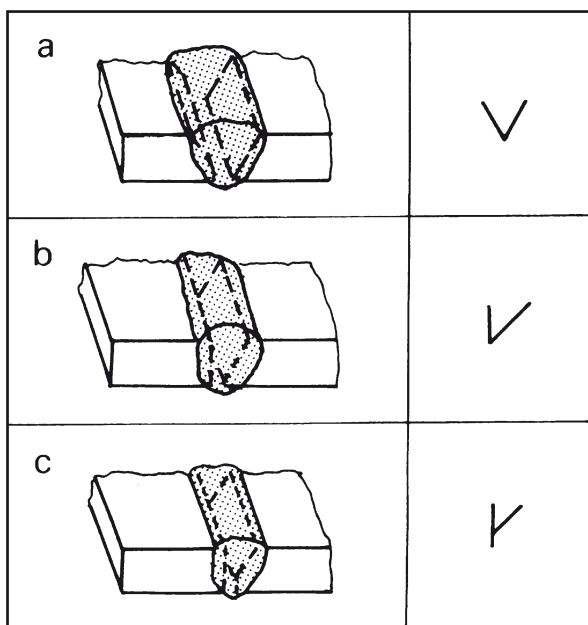
Elektrodin ja hitsattavan materiaalin ominaisuudet vaikuttavat ratkaisevasti hitsiliitoksen toimivuuteen. Hitsiliitoksen mitoittamiseksi on valittava elektrodin lujuus (ks. luku 16). Metallikaasukaarihitsauksessa käytettävät hitsauspuikot ja -langat on standardoitu. Tavallisia lujuusluokkia ovat $R_m = 430$ MPa ja $R_m = 500$ MPa, missä R_m tarkoittaa ominaismurtolujuutta. Jälkimmäinen lujuusluokka on yleisempi ja valitaan useimmissa tapauksissa. Siispä rakeneteräksiä (teräkset S355-laatuun asti) hitsattaessa elektrodimateriaali on vahvempaa kuin hitsattava materiaali. Myös erittäin lujat teräkset hitsataan usein tämällysteisillä elektrodeilla. On kuitenkin olemassa ns. "yhteensopivia" elektrodeja, joiden lujuus on sama kuin hitsattavan materiaalin (S690-laatuun saakka).



Kuva 4.6 Esimerkkejä erilaisista hitsausasunnoista. Horisontaalinen asento on helpoin ja mahdollistaa parhaan laadun ja tuottavuuden. Sen sijaan lakiasento on vaikein, mutta toisinaan välttämätön asennushitsauksia tehtäessä.

4.1.3 Hitsausasennot

Painovoiman vaikutus sulaan hitsiaineeseen vaikeuttaa hitsausta, jota ei tehdä vaakasuorassa asennossa (ks. kuva 4.6). Tällaisen hitsin kustannukset nousevat, ja laatu voi heikentyä. Konepajoilla rakenneosat voidaan kääntää parhaaseen hitsausasentoon. Tätä mahdollisuutta ei kuitenkaan ole asennuksen yhteydessä. Siksi rakentajan on vällettävä suunnittelema hankalissa asennoissa tehtäviä asennushitsejä. Tämä koskee etenkin lakipienahitsiä, joka on vaikein hitsausasento.



Kuva 4.7 Esimerkkejä päittäishitseistä, joissa railo on valmistettu eri tavoilla.

- a) läpihitsattu päittäishitsi, V-railo
- b) läpihitsattu päittäishitsi, puoli-V-railo
- c) hitsi, jossa osittainen tunkeuma, osaviistetty V-railo

4.1.4 Hitsityypit ja niiden kuvaukset

Teräsrakenteissa käytetään kahta hitsityyppiä: päittäishitsiä ja pienahitsiä. Päittäishitsiä (ks. kuva 4.7) käytettäessä yhteen liitettäviin rakenneosiin täytyy yleensä valmistaa railo. Kuvassa 4.7 näkyy esimerkki railon valmistuksesta. Pienahitsin kohdalla (ks. kuva 4.8) tämä työvaihe voidaan ohittaa, minkä vuoksi pienahitsiliitos on taloudellisempi.

Päittäishitsiä varten tehtävä railo voidaan valmistaa eri tavoin (ks. kuva 4.7). Kun teräs on paksua ja kuormitus kohtalainen, levy voidaan syrjäätä vain osittain sen paksuudelta. Näin päittäishitsin tunkeumasta tulee osittainen ja hitsaustyön määrä vähenee huomattavasti.

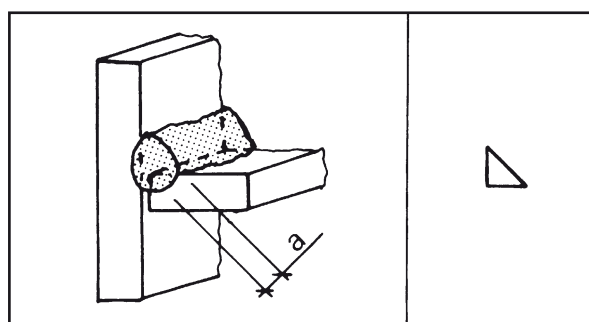
Pienahitsin mitat ilmoitetaan tavallisesti a-mittana, joka tarkoittaa railon kylkien ja hitsin yläpinnan väliin mahtuvan suurimman kolmion korkeutta (ks. kuva 4.8). Hitsit, joiden a-mitta on pieni, voidaan tehdä yhtenä hitsipalkkona, kun taas suuremmat hitsit on tehtävä useampina hitsipalkoina. Jos mahdollista, pienahitsi on tehtävä yhtenä palkkona, koska kustannukset nousevat voimakkaasti

palkojen määrän kasvaessa. Tiettyä hitsattavaa pituutta varten tarvittavien palkojen määrä riippuu hitsausmenetelmästä, mittasuhteista ja elektrodityypistä, hitsausasennosta ja hitsaajan taidoista. Tasakylkisten pienahitsien kohdalla voidaan soveltaa seuraavia likimääräisiä vastaavuussuhteita:

- a-mitta 3–5 mm = 1 hitsipalkko
- a-mitta 6–9 mm = 3 hitsipalkkoa
- a-mitta 10–13 mm = 6 hitsipalkkoa.

Kun pienahitsin a-mitta on yli 10 mm, voi olla taloudellisempaa tehdä osittainen päittäishitsi.

Eri hitsityypit on määritelty ruotsalaisessa standardissa SS 27 72. Kuvassa 4.9 esitellään ja kuvaillaan muutamia tavallisia hitsityyppejä.



Kuva 4.8 Pienahitsi tehdään suoraan yhteen liitettävien levyjen pintaan. Railoa ei valmisteta.

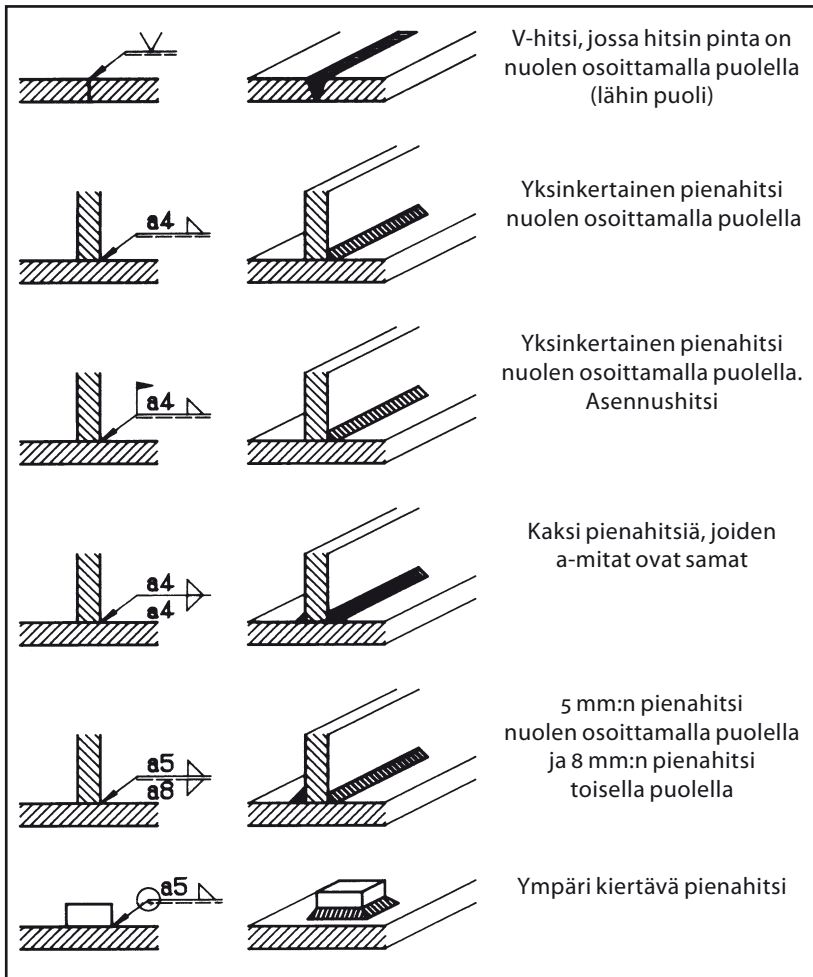
4.1.5 Hitsiluokat

Rakentaja kertoo, mitä vaatimuksia hitsille asetetaan, ilmoittamalla piirustuksessa hitsiluokan. Hitsiluokat määritellään standardissa SS-EN 25 817. Seuraavassa esitellään kolme luokkaa: B, C ja D. Luokkajako perustuu sallittuihin hitsausvirheisiin. B-hitsiluokan kohdalla vaatimukset ovat tiukimmat. B- ja C-luokissa sallitaan vain niin pieniä virheitä, etteivät ne vaikuta hitsin staattiseen kantokykyyn. Kun hitsiin kohdistuu kuormitusta, D-hitsiluokka ei ole suositeltava.

Hitsien pinta ja muoto vaikuttavat suuresti teräsrakenteen väsymislujuuteen. Valitettavasti standardissa SS-EN 25 817 ei aseteta sellaisia pinta- ja muotovaatimuksia, joita voitaisiin käyttää väsymislujuuden määrittämiseen. Sen sijaan eurokoodissa 3-1-9 kuvataan rakenteiden yksityiskohtia ja asetetaan hitsin pintaa ja muotoa koskevia lisävaatimuksia.

4.1.6 Hitsausvirheet

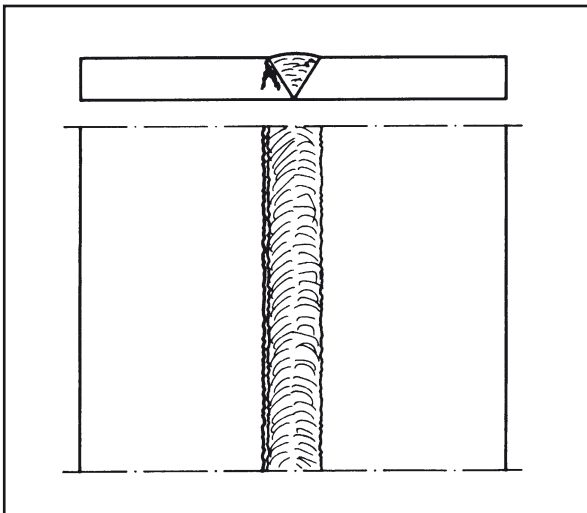
Teräkseen, jossa on suuria pitoisuuksia seosaineita (etenkin hiiltä), muodostuu nopean jäähtymisen yhteydessä helposti martensiittia. Toisin sanoen teräs karkenee. Martensiitti (ks. kappale 2.2.1) on kovaa ja haurasta, ja siksi se kestää vain rajallisesti hitsin jäännösjännityksiä, jotka ovat myötörajalalla. Tällaisissa tapauksissa voi syntyä karkaisuhalkeamia (sularajahalkeamia tai kylmähalkeamia). Niitä syntyy



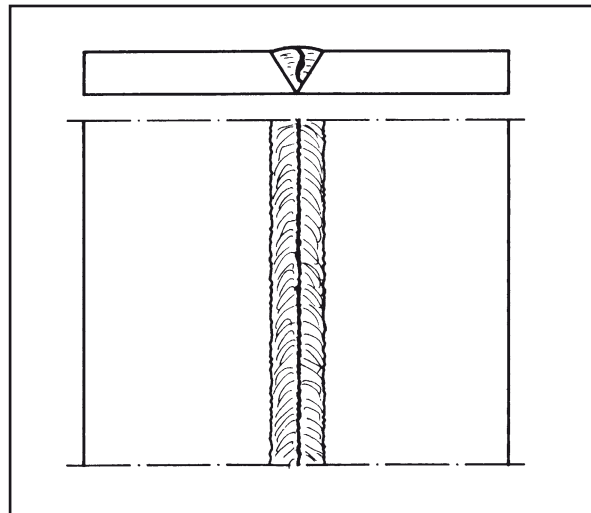
Kuva 4.9 Esimerkkejä SS 2772 -standardin mukaisista hitsausnimikkeistä. Vaakasuora yhtenäinen viiva viittaa siihen puoleen, johon nuoli osoittaa, ja katkoviiva viittaa toiseen puoleen.

hitsin viereen ja hitsin suuntaisesti (ks. kuva 4.10). Aluetta, jolle halkeamia voi syntyä, kutsutaan lämpövyöhykkeeksi (engl. Heat Affected Zone, HAZ). Perusaine (eli yhteen liitettävät osat) on kuumentunut lämpövyöhykkeellä austeniittialueelle. Tämä on edellytys teräksen karkenemiselle. Hitsin vieressä oleva alue jäähtyy nopeammin, jos levy on paksua, ja tällöin karkaisurakenteen syntymisen riski kasvaa.

Tällaisessa tapauksessa halkeamavaara kasvaa, jos teräkseen pääsee vetyä. Vety on peräisin kosteudesta, joka hajoaa hitsauksesta syntyvässä lämmössä. Vapautunut vety liukenee hitsisulaan ja kulkeutuu hilassa helposti lämpövyöhykkeelle, missä se haurastuttaa kovia martensiittityypin rakenteita. Ilmiötä kutsutaan vetyhaurastumiseksi ja sen vaikutuksesta syntyviä halkeamia vetyhalkeamiksi.



Kuva 4.10 Karkaisuhalkeama lämpövyöhykkeellä (HAZ) hitsin vieressä.



Kuva 4.11 Hitsin keskiliinjaa pitkin kulkeva kuumahalkeama.

Hitsisulaan liukenevan vedyn määrää rajoitetaan osittain käyttämällä sellaisia elektrodeja, joiden vetypitoisuus on pieni (ks. kappale 4.2.3), osittain käyttämällä aina täysin kuivia elektrodeja ja osittain varmistamalla, että hitsauspaikka on täysi kuiva.

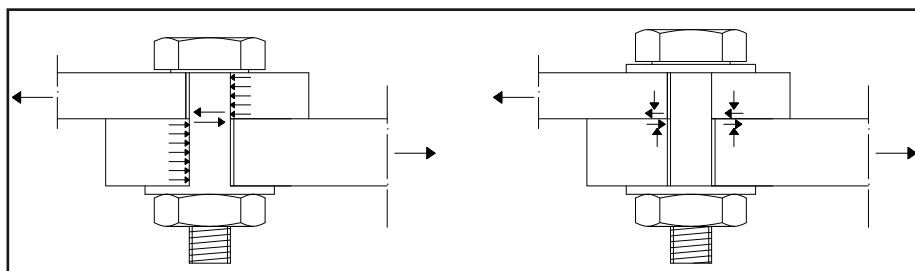
Vetyhalkeamia voi syntyä myös jonkin ajan kuluttua, ja siksi hitsauksen jälkeen on odotettava muutama tunti ja tehtävä halkeilukoe (ks. kappale 9.4.3).

Toinen vakava hitsausvirhe on kuumahalkeama (jähmettymis- tai erkautumishalkeama), ks. kuva 4.1.2. Tällaiset halkeamat voivat syntyä hitsin keskikohtaan, ja ne ulottuvat useimmiten pintaan asti. Ne johtuvat epäpuhtauksista, etupäässä rikistä. Siksi hitsattavissa rakenneteräksissä rajataan rikin määrä hyvin pieneksi.

4.2 RUUVILIITOKSET

4.2.1 Ruuviliitosten luokittelu

Ruuviliitos muodostuu ruuvista, mutterista ja mahdollisesta aluslevystä sekä liitoksen välittömässä läheisyydessä olevasta perusmateriaalista. Eurokoodi 3-1-8 ja EN 1090 -standardi sisältävät ruuviliitoksia koskevia määräyksiä. Eurokoodi 3-1-8:ssa ruuviliitokset jaotellaan niiden valmistustavan ja kuormitussuunnan mukaan seuraaviin ruuviliitosluokkiin:



Kuva 4.12 Voimansiirto ruuviliitoksessa. Vasemmalla näkyy leikkausliitos ja oikealla kitkaliitos.

A-luokka, leikkausliitos: Normaalisti kiristetyt ruuvit, jotka siirtävät leikkausvoimaa kosketuspinnan kautta.

B-luokka, kitkaliitos: Esijännitetyt ruuvit, jotka siirtävät leikkausvoimaa kitkan avulla käyttörajatilassa.

C-luokka, kitkaliitos: Esijännitetyt ruuvit, jotka siirtävät leikkausvoimaa kitkan avulla murtorajatilassa.

D-luokka, vetoliitos: Normaalisti kiristetyt ruuvit, jotka siirtävät vetovoimaa.

E-luokka, vetoliitos: Esijännitetyt ruuvit, jotka siirtävät vetovoimaa.

Liitokset, jotka siirtävät voimaa suorassa kulmassa ruuviin nähden, jaetaan leikkausliitoksiin ja kitkaliitoksiin (ks. kuva 4.12). Leikkausliitoksissa voima siirtyy reiän reunapuristuksen kautta liitoslevyihin ja leikkausjännityk-

set ruuviin. Kitkaliitoksessa voima siirtyy kitkan avulla levyjen välillä. Normaali kiristys ja korkea esijännitys määritellään standardissa EN 1090. Normaali kiristys on ilmaisuna melkoisen epätarkka, mutta korkea esijännitys tarkoittaa sitä, että ruuvien esijännitysvoiman on oltava vähintään $0,7f_{ub}$.

Leikkausliitoksessa ja vetoliitoksessa reikä on 1 mm (M12-ruuvi) ja 2 mm (M16–M24-ruuvit) EN 1090 -standardin mukaan. Tätä voidaan pitää kompromissina toimivuuden ja rakennettavuuden välillä. Suuri reikä mahdollistaa suuret liikkeet liitoksessa, kun sitä kuormitetaan, mutta helpottaa asennusta. Mikäli liitoksissa ei saa tapahtua liikkumista, voidaan A-luokan ruuviliitos tehdä solaliitoksena käyttämällä H12-/H13-reikää SMS 2111:n mukaisesti. Tällöin reikä on noin 0,3 mm, ja tämä edellyttää yhteen liitettyjen osien poraamista tai kalvaamista yhdessä. Solaliitokset ovat kalliita, ja niitä pitää käyttää vain, kun kitkaliitos ei voida käyttää.

B- ja C-luokan mukaiset kitkaliitokset mitoitetaan niin, että ne siirtävät leikkausvoimaa ilman, että ne liukuvat lastien käyttö- tai murtorajatilassa. Jos liitos ei liu'u, se on joustamaton, ja reiästä voidaan näin tehdä suurempi, noin 3–4 mm ruuvien koosta riippuen.

Ruuviliitosluokkaa valittaessa ratkaisevaa on liitokselle asetetut toimintavaatimukset, esimerkiksi

- kuormituksen tyyppi, leikkaus- tai vetovoima
- staattinen kuormitus tai väsymiskuormitus
- sykkivä tai vaihteleva kuormitus
- sallittavat liikkeet liitoksessa.

Rakentajan on ilmoitettava nämä vaatimukset ja arvioitava esimerkiksi, mitkä liikkeet ovat liitoksessa sallittuja

Leikkausvoima

Tavallisesti leikkausliitoksiin suositellaan A-ruuviliitosluokkaa, ellei mikään erityinen syy ei anna aiheutta mihinkään muuhun. Seuraavassa annetaan esimerkkejä tällaisista erityisvaatimuksista.

Jos liitoksen on kestävä väsymiskuormitus, voidaan mainita kaksi tapausta. Ne ovat

Sykkivä kuormitus; ts. ruuveihin kohdistuva leikkausvoima ei vaihda suuntaa. Tässä tapauksessa A-luokkaa voidaan käyttää, mutta reikää on pienennettävä 1 mm:iin ja ruuvit on esikiristettävä. Ne voidaan mitoittaa solaliitosta koskevien sääntöjen mukaisesti.

Vaihteleva kuormitus; ts. ruuveihin kohdistuva leikkausvoima vaihtaa suuntaa. Tässä tapauksessa on valittava ensisijaisesti B-luokan kitkaliitos ja toissijaisesti solaliitoksena tehty A-luokan liitos. Vaikka liitosta ei tarvitse mitoittaa väsymistä varten, ruuveihin kohdistuva voima voi vaihtaa suuntaa monta kertaa, esimerkiksi yli 100 kertaa. Tällöin ongelmia voi aiheuttaa se, että mutterit löystyvät A-luokan liitoksessa, jossa on normaali reikä.

Liike liitoksessa, välyksessä, on teoriassa yhtä suuri kuin kaksi kertaa reikä. Todellisuudessa välys on pienempi, jos liitoksessa on monta ruuvia. Tämä johtuu siitä, että liitettujen osien reikien väliset poikkeamat aiheuttavat sen, että ruuvit ovat kosketuksissa reiän reunojen kanssa kun siirtymät ovat erisuuret. Tämä aiheuttaa myös voiman epätasaista jakautumista ruuveihin. Staattisen kuormituksen osalta se tasoittuu ennen murtumista, jos käytetään normaaleja reikiä.

Jos liitoksen välystä on rajoitettava rakenneosien toimivuusyistä, se voidaan tehdä seuraavilla tavoilla. Eri tavat ovat jäykkään liitokseen kohdistuvilta vaikutuksiltaan kasvavassa järjestyksessä.

Pienennetään reikää 1 mm:n kokoiseksi, mikä pienentää välystä teoreettisesti puoleen siitä, mitä se olisi reikien ollessa normaalit. Tämä edellyttää kapeampia toleranssirajoja, mikä voi nostaa valmistuskustannuksia. Parannusta saadaan aikaan myös sillä, ettei kierre pääty materiaalin sisään.

Solaliitoksessa välys on hyvin pieni, mutta sen tekeminen on kallista. Se on tavallisesti kitkaliitosta kalliimpi, ja se on valittava vain, jos muita vaihtoehtoja ei ole. Solaliitosta käytetään ensisijaisena liitoksena silloin, koska Bro 2002 -säännöstössä ei sallita kitkaliitoksen käyttöä.

Kitkaliitoksessa ei ole minkäänlaista välystä, mutta se siinä reiät tehdään erikseen yhdistettäviin osiin. Kitkaliitos on tavallisesti solaliitosta halvempi, mutta se edellyttää kontaktipintojen erityistä käsittelyä.

Vetovoima

Ruuviliitos, jossa vetovoima dominoi, on tehtävä esijännitettyinä. Etuna on se, ettei liitos avaudu kuormituksessa. Väsymistä aiheuttavan vetovoiman yhteydessä esijännitetty ruuviliitos on täysin ylivoimainen. Väsymislujuus on noin viisi kertaa suurempi kuin normaalisti kiristetyssä ruuviliitoksessa. Syynä tähän on se, että ulkoisen kuormituksen vaihtelu aiheuttaa pääasiassa osien välisen pintapaineen vaihtelua ja vain noin viidesosa aiheuttaa ruuvi-voiman vaihtelua.

4.2.2 Kiinnittimet

Teräsrakennerruuveja on monenlaisia, mutta markkinat ovat suhteellisen pienet ja valinta on tehtävä sen mukaan, mitä on saatavana. Taulukkoon 4.1 on koottu erilaisia kiinnittimiä, joihin eurokoodissa 3-1-8 viitataan. Voimakkaasti esikiristettyjä liitoksia koskevia eurooppalaisia standardeja laaditaan parhaillaan. Euroopan standardointikomitean (CEN) työ on kestänyt jo kauan, mutta maiden ja eri perinteiden välillä on suuria eroja. Taulukossa 4.1 viitataan EN-standardiin, joka perustuu DIN 7914–7916 -standardeihin, koska näitä tuotteita voi ostaa Ruotsista. On myös toivottavaa, että eri vaihtoehdot rajattaisiin taulukossa 4.1 olevaan koosteeseen, sillä tämä pienentäisi varastointikustannuksia ja toivottavasti parantaisi myös tuotteiden saatavuutta.

| Tuote | Lujuusluokka | Standardi | Ruuviliitosluokka |
|-----------------|--------------|----------------|-------------------|
| Ruuvi | 8.8 | SS-EN-ISO 4014 | A, D |
| Mutteri | 8 | SS-EN-ISO 4032 | A, D |
| Aluslevy | – | SS-EN-ISO 7089 | A, D |
| Ruuvi + mutteri | 10.9 | EN WI 00185217 | B, C, E |
| Aluslevy | – | EN WI 00185219 | B, C, E |

Taulukko 4.1 Suositeltavat kiinnityselementit teräsrakenteiden ruuviliitoksiin.

Teräsrakenteissa käytetään lisäksi standardoituja ruuveja (SS-EN-ISO 4014), usein ns. teräsrakennerruuveja. Ruuvityyppi kehitettiin alunperin sähkötolppia varten, ja se eroaa muista ruuveista niin, että sen kierteet ovat lyhyemmät. Käyttämällä tällaista ruuvia ja paksua aluslevyä kierteet saadaan päättymään materiaalin ulkopuolelle. Siksi se sopii erityisen hyvin leikkausliitoksiin. Normaalista on tuki hyväksyttävää, että kierteet menevät materiaalin sisään, mutta jos kierteet kulkevat läpi leikkaustason, ruuvin kantokyky pienenee. Teräsrakennerruuvit on kuumasinkitty, minkä vuoksi ne kestävät hyvin korroosiota. Normaalikierteisiä ruuveja (SS-EN-ISO 4014) voi ostaa käsittelemättöminä tai kuumasinkittyinä, mutta jälkimmäinen on suositeltavampi vaihtoehto.

Tavallisesti käytetään ruuveja, joissa on metriset kierteet (M12–M24) ja joiden lujuusluokka on 8.8 ja 10.9 taulukon 4.1 mukaisesti. Lujuusluokituksessa pistettä edeltävät numerot ilmoittavat nominaalisen murtorajan (megapascalina jaettuna sadalla). Piste on desimaalipiste, ja toinen luku ilmoittaa nominaalisen 0,2-ajan ja nominaalisen murtorajan välisen suhteen. Siispä 8.8:n kohdalla nominaalinen murtoraja on 800 MPa. Nominaalinen 0,2-ajaja on 0,8 kertaa 800 eli 640 MPa.

Ruuvin kierteinen osa nimittäin väsy erittäin herkästi vetokuormituksessa epätasaisen rakenteensa vuoksi. Ruuvi voi väsyä jo suhteellisen pienten jännitysvaihtelujen yhteydessä, jotka eivät ole kriittisiä muiden rakenneosien kannalta. Jos esijännitettyyn ruuviin kohdistuu ulkoinen vetovoima, joka on pienempi kuin esijännitysvoima, noin 80–90 prosenttia voimasta kuluu pintapaineen vähentämiseen liitoksen levyjen välillä. Vain jäljelle jäävä osa tuo

lisävoimaa ruuviin. Näin mahdolliset lisäkuormituksen vaihtelut aiheuttavat pieniä jännityksenvaihteluita ruuvissa ja väsymisriski pienenee huomattavasti.

Kitkaliitoksessa ruuvit ovat aina esijännitetyjä ja kontaktipinnat on käsitelty tietyn kitkan aikaansaamiseksi. Kitkaliitos mitoitetaan niin, ettei se liu'u. Kitkaliitoksessa reikä on normaalisti 2 mm (keskikokoinen reikä), mutta myös 3–4 mm:n reikiä (suuria reikiä) sekä pitkänomaisia reikiä voidaan käyttää.

Liitoksessa, jossa on normaalisti kiristetyt ruuvit, on varmistettava, etteivät mutterit pääse löystymään. Näin tehdään esimerkiksi tekemällä voimakkaat keskiömerkit ruuvien kierteisiin tai lisäämällä ylimääräinen mutteri. Liitoksessa, jossa on esijännitetyt ruuvit, kitka riittää sen varmistamiseen, etteivät mutterit löysty, mikäli ei ole vaaraa siitä, että voiman suunta muuttuu, mikä aiheuttaisi vaihtelevaa liukumista.

4.2.3 Reuna- ja keskiöväli

Eurokoodissa 3-1-8 ilmoitetaan minimiarvot, jotka koskevat liitoksen ruuvien reuna- ja keskiöväli. Minimiarvot valittu kantokyky ja asennus huomioon ottaen. Maksimiarvoissa on huomioitu korroosioriski, eikä niitä tarvitse ottaa huomioon muuten kuin korroosiota aiheuttavassa ympäristössä (ks. kappale 11.1). On syytä huomata, ettei maksimaalista reunapuristusta voida hyödyntää, jos reuna- tai keskiöväli on alle kolme kertaa ruuvien halkaisijan verran.

KIRJALLISUUTTA

- [1] Lundqvist B., Sandvikens handbok Svetsning, Sandvik publikation S-0,34-SWE, Sandvik AB, Sandviken (1980), korvattu teoksella Weman K., Karlebo Svetshandbok, 2. painos. Liber AB. Tukholma (2002)
- [2] Eurokoodi 3-1-8: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu. SS-EN 1993-1-8: 2004
- [3] Veljkovic M., Johansson B., Continuing Education in Structural Connection – CESTRUCO No CZ/oo/B/F/PP-134049. Eurokoodi 3:n mukaista liitosten suunnittelua koskevia kysymyksiä ja vastauksia. Leonardo da Vinci ja Luleå Tekniska Universitet. Luulaja (2003)
- [4] Höglund T., Johansson B., Fästdon och förband i stålkonstruktioner. Handbok och kvalitetsrekommendationer, Stålbyggnadsinstitutet Publikation 172 (2001)
- [5] Svetsbeteckningar enligt SS – ISO 2553, Stålbyggnad 2003. Stålbyggnadsinstitutet (årsbok) publikation 179. Tukholma (2003)

TEKIJÄT

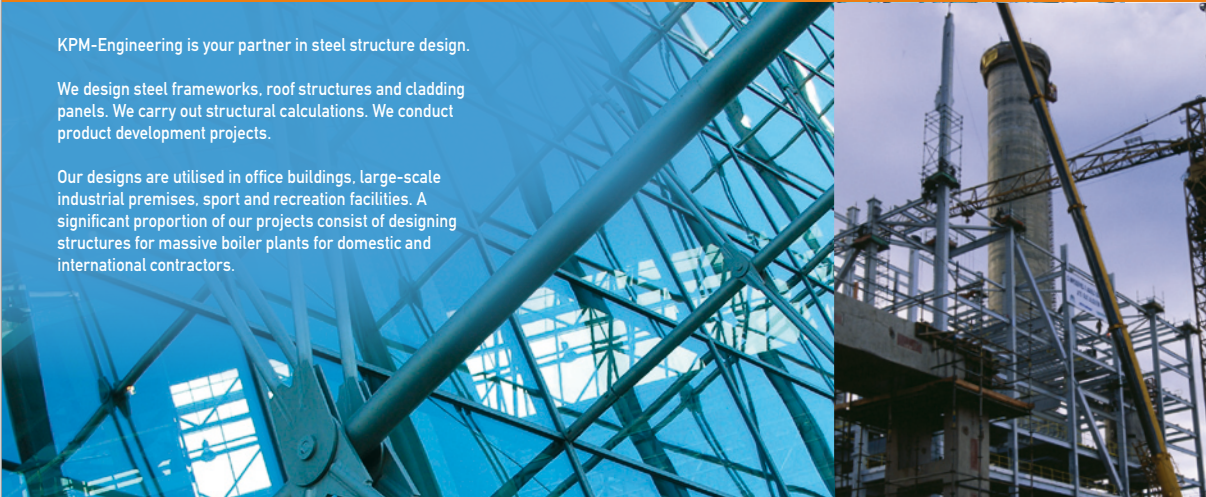
Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen on kirjoittanut Tom Treiberg. Tämän painoksen kappaleen on uudistanut professori Bernt Johansson (Luleå Tekniska Universitet).

Innovative Joints

KPM-Engineering is your partner in steel structure design.

We design steel frameworks, roof structures and cladding panels. We carry out structural calculations. We conduct product development projects.

Our designs are utilised in office buildings, large-scale industrial premises, sport and recreation facilities. A significant proportion of our projects consist of designing structures for massive boiler plants for domestic and international contractors.



KPM-Engineering
FMC GROUP

KPM-Engineering Oy • Kalevantie 7 C, FI-33100 Tampere, Finland • tel. +358 3 273 711
fax +358 3 273 7333 • www.kpmeng.fi • www.fmcgroup.fi

Structure Design • Element Design
Machine, Ship and Plant Engineering • Structural Calculation • 3D Modeling • Product Development



*Kevyessä hallirakennuksessa on tavallisesti teräsrunko, joka muodostuu valssatuista pilareista ja ristikkorakenteisista katto-
tuoleista.*

5. HALLIRAKENNUKSET

Hallirakennuksilla tarkoitetaan rakennuksia, joiden sisätilat ovat suuret ja avarat ja jotka ovat tavallisesti yksikerroksisia. Hallirakennuksia käytetään teollisuus- ja varastorakennuksina, tavarataloina, ajoneuvojen säilytysshalleina, urheilu- ja näyttelyhalleina, maataloushalleina jne.

Hallirakennukset (niin rungot, katot kuin seinätkin) ovat hyvin tärkeitä markkinat teräsrakentamisen kannalta. Monet yritykset ovat erikoistuneet keveisiin hallirakennuksiin, ja niillä on käytössä omat järjestelmänsä. Usein ne toimittavat koko päällysrakenteen kokonaisurakkana. Kevyiden hallirakennusten jännevälit ovat tavallisesti 15–25 metrin luokkaa ja vapaa sisäkorkeus 5–8 metriä. Tällaisia halleja voidaan käyttää hyvin monenlaisiin tarkoituksiin. Kuvassa näkyy esimerkki kevyestä hallista.

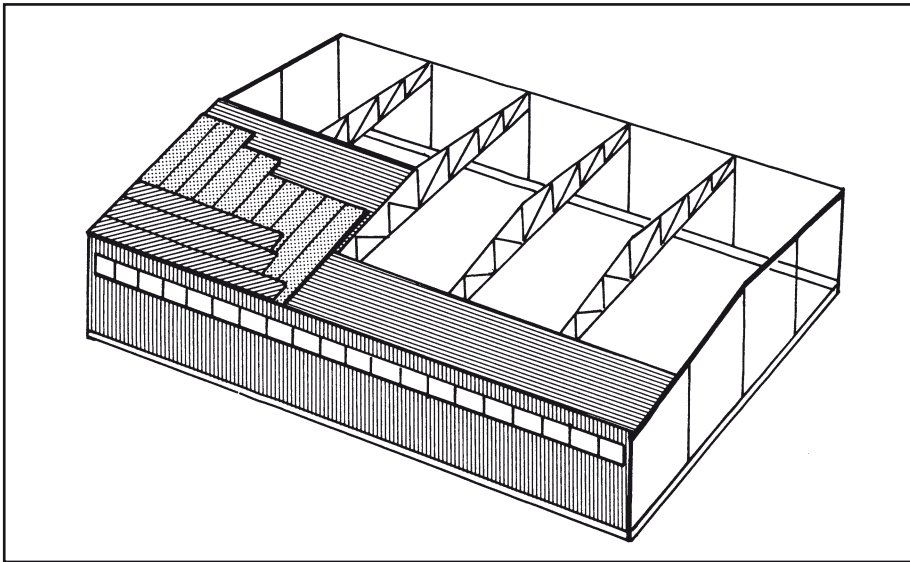
Prosessiteollisuuden rakennukset ovat usein teräshalleja, mutta ne on räätälöity tiettyä käyttötarkoitusta varten. Ne ovat usein erittäin suuria, ja niissä on raskaat nostu-

riratapalkit. Niitä kutsutaan raskaiksi hallirakennuksiksi, mutta raja kevyiden ja raskaiden hallien välillä on tietenkin häilyvä. Raskaissa halleissa on usein osassa pinta-alaa välipohja ja usein monia tasoja, mutta paloturvallisuuden kannalta niitä pidetään kuitenkin yksikerroksisina rakennuksina. Kuvassa 5.1 näkyy esimerkki raskaasta hallista, jossa pitkät pilarit kannattelemassa nosturiratapalkeja, joiden nostokapasiteetti on suuri.

Työkustannukset muodostavat suuren osan teräsrakennusten kokonaiskustannuksista. Rakennusratkaisu, jossa säästetään materiaalia mutta joka vaatii paljon työtä, tuo harvoin mukanaan kustannussäästöjä. Sen sijaan on pyrittävä yksinkertaisiin ratkaisuihin, jotka mahdollistavat nopean valmistamisen ja asentamisen. Ajan säästäminen rakennuspaikalla on erityisen tärkeää, koska asentamiseen liittyvät hankaluudet sitovat kallista nosturilaitteistoa ja viivästyttävät myöhempien työvaiheiden alkamista.



Kuva 5.1 Raskas hallirakennus.



Kuva 5.2 Kevyt, eristetty halli, jossa kattolevyt asetetaan suoraan kattotuolien päälle.

5.1 KONSEPTISUUNNITTELU

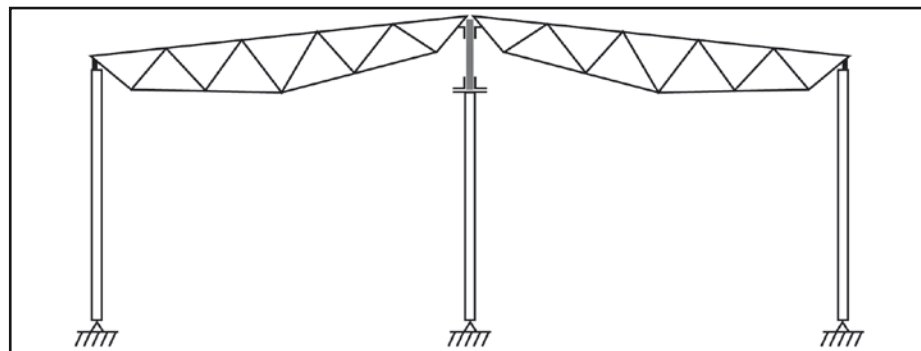
Yksilaivaisessa hallissa on tavallisesti harjakatto, jonka kaltevuus riippuu kattotuolin mallista. Katon kaltevuus on tavallisesti 1:16 tai 1:10 kattopäällysteestä riippuen. Näiden mittojen mukaisissa kevyissä halleissa on tavallisesti teräsvoimulevystä tehty katto, joka on asetettu suoraan kattotuolien päälle ja muodostuu 6–10 metrin paloista (ks. kuva 5.2). Seinät rakennetaan kevytpalkeista, jotka kiinnitetään pilarien ja trapetsilevyn väliin kummaltakin puolelta, tai vaihtoehtoisesti sandwich-elementeistä. Ohutlevystä valmistettuja seiniä ja kattoja käsitellään tarkemmin kappaleessa 13.

Halleissa käytetään pääasiallisesti ristikkopalkeista valmistettuja kattotuoleja. Standardituotteilla on mahdollista rakentaa jopa 45 metrin jännevälejä, mutta kustannukset nousevat nopeasti jännevälin kasvaessa. Jos hallin on oltava leveä ja rakennuksen sisällä voi olla pilareita, on edullista rakentaa halliin useampi laiva. Jos halli on kaksilaivainen, voi olla sopivaa säilyttää harjakatto ja käyttää vastakkaisia harjapalkkeja (ks. kuva 5.3). Näin vältetään rakentamasta sisäpuolelle räystäskourua, joka nostaa vuotoriskiä. Jos laivoja on useampi, käytetään tavallisesti sisäpuolista vedenpoistoa, koska muuten rakennuksesta tulee liian korkea. Silloin katon päällyste on valittava huolella.

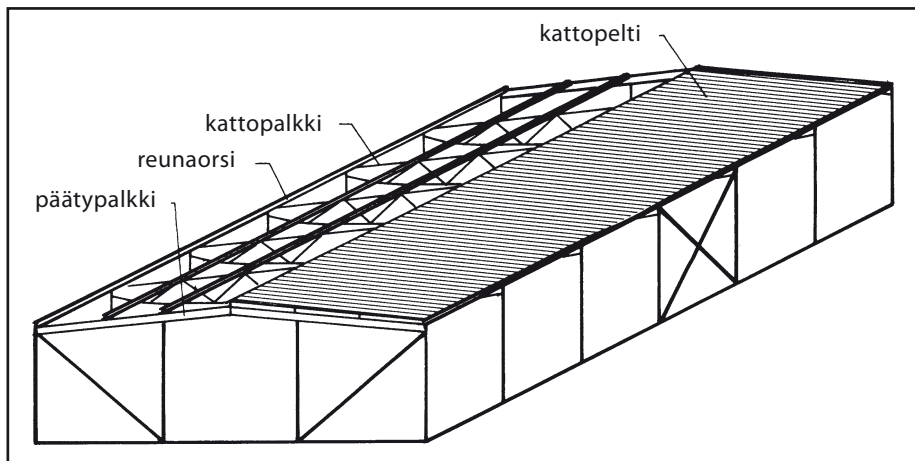
Kevyiden hallien pilarit tehdään tavallisesti HEA-profiilista. Myös IPE-profiileja voidaan käyttää, mutta ne ovat taipuisia sivusuunnassa ja voivat aiheuttaa asennusongelmia. Jos jännevälit ovat kuitenkin pienet, myös IPE-profiilit ovat yleisiä niin pilareina kuin kattopalkkeina. Pilarit varustetaan usein pohjalevyllä ja asennetaan neljällä perustusruuvilla. Vaikka mitoitusvaiheessa pilarin pohjalevyssä katsotaankin olevan niveliä, on käytettävä neljää perustusruuvia. Etuna on se, että pilarit pysyvät pystyssä itsestään asennuksen aikana.

Hallit, joiden tarkoituksena on toimia ainoastaan suojana sateelta ja lumelta, rakennetaan usein ilman eristystä. Tällöin kattopelti on asetettava katonlappeen suuntaisesti, ja kattotuoliin tarvitaan sekundääripalkkeja. Niitä kutsutaan katto-orsiksi ja ne tehdään usein Z-profiilisista ohutlevypalkeista (ks. kuva 5.4). Niitä voidaan käyttää jännevälillä jopa 12 metriä.

Rakennettaessa raskaita halleja on usein taloudellista rakentaa kehien väliset etäisyydet suuriksi (tyypillisesti 12–16 metriä). Tuolloin on välttämätöntä käyttää katto-orsia, jotka tehdään tavallisesti IPE-profiilista. Myös seinien pystytukset tehdään tavallisesti IPE-profiilista, ja seinä rakennetaan pystytukien ympärille. Etuna on se, että telineitä tarvitaan vain ulkopuolella. Kattotuolit ovat tavallisesti ristikkoja, ja pilarit ovat hitsattuja I-profiileja tai ristikkoja.



Kuva 5.3 Kaksilaivaisessa hallissa voi olla kannattava käyttää vain yhtä harjaa sisäpuolisen vedenpoiston välttämiseksi.



Kuva 5.4 Kevyt, eristämätön halli, jossa kattopellit laitetaan orsien päälle.

Kun hallin jänneväli on erittäin suuri, kaaret ovat taloudellinen vaihtoehto. 1980-luvulla Ruotsissa haluttiin pidentää jalkapallokautta ja sinne rakennettiin viisi jalkapallohallia. Hallien jännevälit olivat 80–85 metriä, ja niissä kaikissa on käytetty kaaria kantavina rakenteina (ks. kuva 5.5).

5.2 RUNKORAKENNE

5.2.1 Kuormat

Hallirakennusten runko muodostuu käytännössä aina palkeista ja pilareista. Pilarit ja kattoristikot kannattelevat pystysuoraa kuormitusta kaikissa järjestelmissä. Runkorakenteet eroavat toisistaan siinä suhteessa, kuinka ne kannattelevat horisontaalisia (vaakasuoria) kuormia. Tuulikuorma on aina horisontaalisena kuormana, ja sen lisäksi on pidettävä huolta siitä, ettei pilareissa ole vinoudesta johtuvia alkupäkeskisyysiksi, sillä tämä voi saada aikaan samanlaisia vaikutuksia kuin horisontaalinen kuormitus. Tähän lisätään mahdollisten nosturien aiheuttama kuormitus, joka on niin horisontaalista kuin vertikaalistakin.

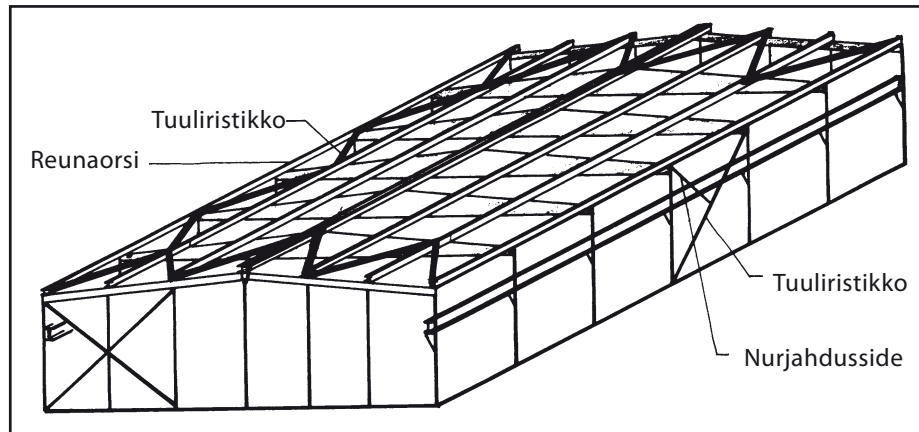
5.2.2 Kevyet hallit

Ruotsissa kevyiden hallien runkorakenne on kehittynyt toiseen suuntaan kuin muualla Euroopassa, missä yleisimpiä ovat kaksinivelkehät ja suhteellisen jyrkästi kallistuvat katon. Jo 1960-luvulla Ruotsissa oli tavallista hyödyntää levyvaikutusta poimulevystä tehdyissä katoissa. Tämä johti siihen, että kevyisiin halleihin rakennettiin ns. pendelipilari, eli pilari, joka niveltyy sekä ylhäältä että alhaalta. Tällainen kehä tarvitsee tukea katosta, mikä saadaan aikaan katon levyvaikutuksella ja seinien poikittaistangoilla. Tällainen rakennus tulee kuin laatikko ja pilarien mitoista pienet. Järjestelmä on helppo asentaa, koska momenttijäykkiä liitoksia ei tarvita.

Rakennuksen pidempiin sivuihin kohdistuva horisontaalinen kuormitus siirtyy pilareiden ja kattopalkkien kautta kattolevyyn. Se toimii periaatteessa kyljellään olevana korkeana palkkina, jota tuetaan päädyistä. Jos kattopelti on kiinnitetty katto-orsien varaan, levyn momentti siirtyy niihin ja sivuttaisvoimat kattopeltiin. Levyn tukivoimat siirtyvät alas maapohjaan rakennuksen päädyissä olevien seinäristikoiden kautta. Seinäristikko on



Kuva 5.5 Jalkapallohallissa on usein ristikkorakenteisista kaarista muodostuva runko ja suuri jänneväli.



Kuva 5.6 Ristikkorakenteinen katto on käypä vaihtoehto, kun levyvaikutusta ei voida hyödyntää.

helppo tehdä poikittaisista tangoista kahden pilarin väliin. Usein käytetään kahta poikittaistankoa, jotta kuormitus voidaan siirtää alas vedettyä tankoa pitkin. Vedetyn vinotuen ei tarvitse olla lainkaan niin suuri kuin puristukseen mitoitettun tangon. Tämä johtuu siitä, että puristuksessa olevan vinotuen mitoituksessa on otettava huomioon nurjahtaminen. Suurien vetovoimien välttämiseksi pilareissa voidaan vinotukien antaa kulkea kahden kehävälän yli.

Rakennuksen lyhyisiin sivuihin kohdistuvat horisontaaliset kuormitukset siirtyvät päätypilareita pitkin kattolevyyn. Tässä tapauksessa hyödynnetään vain kattolevyn sitä osaa, joka on lähimpänä kutakin päätyä. Kuormitus siirretään levystä perustaan rakennuksen pitkällä sivuilla olevien reunasiteiden ja seinäristikoiden kautta. Lämpötilanvaihtelujen aiheuttamien liikkeiden ja voimien vähentämiseksi ristikko on sijoitettava pitkissä rakennuksissa lähelle pitkien sivujen keskiosaa. Jos ristikko asetetaan pitkälle sivulle lähelle päätyä, lämpötilanvaihtelujen aiheuttamat pakko-voimat vaikuttaa rakennuksen koko pituudella. Tätä liikettä voidaan vähentää puoleen asettamalla ristikot lähelle pitkän sivun keskiosaa. Eristämättömästä hallista, jossa on teräsrunko ja peltikatto ja -seinät, voidaan ongelmitta rakentaa 100 metriä pitkä ilman liikuntasauvoja. Eristetyistä rakennuksista voidaan tehdä 200 metrin pituisia ilman liikuntasauvoja.

Jos pelti on asetettu kattopalkkien varaan, kattolevyyn tulee erilliset reunasiteet julkisivun linjojen mukaisesti. Niitä tarvitaan ottamaan vastaan levyn momentti kuormituksissa, jotka kohdistuvat rakennuksen pitkiin sivuihin, ja siirtämään päätylevyjien tukireaktiot seinäristikkoon pitkällä sivuilla. Reunasiteet helpottavat lisäksi rungon jäykistämistä asennusvaiheessa.

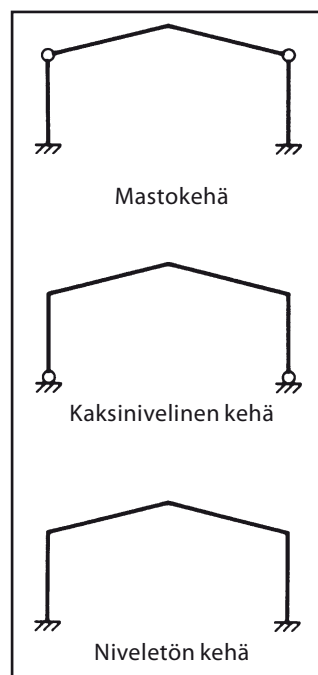
Kevyissä halleissa on toisinaan nosturiratapalkkeja, ja nosturiratapalkkeihin kohdistuvien kuormitusten ollessa kohtuullisia voidaan hyödyntää levyvaikutusta. Nosturiratapalkkeja käsitellään enemmän kappaleessa 5.2.3.

Jos tarkennus on korkea, kattolevyyn kohdistuu suuria voimia. Silloin voi olla sopivampaa rakentaa kattoon ristikko kuin hyödyntää levyvaikutusta (ks. kuva 5.6). Levyvaikutusta ei pidä myöskään hyödyntää, jos kattolevy on eristämä-

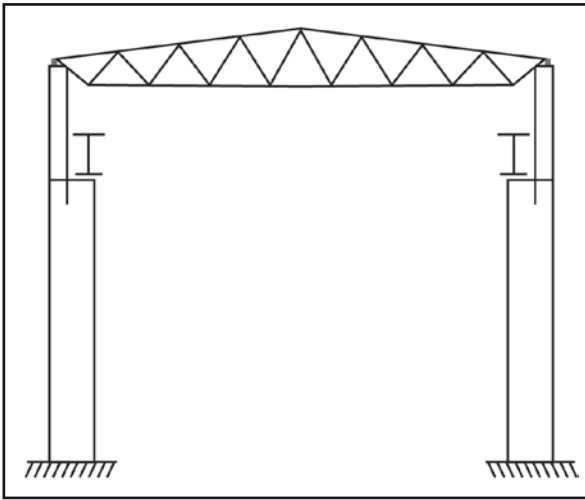
tön, ellei lämpötilanvaihtelujen aiheuttamia liikkeitä levystä huomioida erityisesti rakennesuunnittelussa.

Kattolevy tai kattoristikko antaa horisontaalista tukea pilareiden päille, minkä vuoksi pilareista voidaan tehdä ns. pendelipilareita. Jos rakennus on korkea, voi kuitenkin olla edullista kiinnittää pilarit momenttijäykästi perustaan. Jos tuettuja pilareita hyödynnetään yhdessä katon levyvaikutuksen kanssa, saadaan monimutkainen, staattisesti epämääräinen järjestelmä. Tässä tapauksessa levykentän joustavuus on otettava huomioon.

Keuyen hallin perusta tehdään tavallisesti laatasta, jos rakennukseen halutaan betonilattia. Reunapalkit mitoetaan niin, että pilarien kuormitus jaetaan riittävän suurelle alalle maan kantavuus huomioon ottaen. Jos halliin ei tule betonilattiaa, käytetään tavallisesti anturoita, jotka voivat olla esivalmistettuja tai paikallavalettuja. Anturoihin kiinnitetään betonisokkeli, joka on tavallisesti esivalmistettu. Jos maasto-olosuhteet ovat huonot, on toisinaan turvaututtava paalutukseen. Jos halliin tulee betonilattia, koko



Kuva 5.7 Runkorakenne, jossa tuetut pilarit tai kehat.



Kuva 5.8 Raskaan hallirakennuksen tyypillinen poikkileikkaus.

laatasta tehdään itsekantava ja se on paalujen varassa, jolloin laatasta tulee melko paksu. Jos perustus tehdään käyttämällä anturoita, paalut upotetaan maahan ryhminä. Kutakin anturaa kohden tulee vähintään kolme paalua. Anturat valetaan paikoilleen.

Kuvassa 5.7 näkyy esimerkki toisesta runkorakenteesta, jota käytetään halleissa. Mastokehien järjestelmä on tavallisin raskaissa halleissa, ja sitä käsitellään kappaleessa 5.2.3. Kaksinivelkehät ovat tavallisia monissa maissa. Ruotsissa rakennetaan eniten pieniä halleja maatalouden käyttöön. Tavallinen halli on eristämätön konehalli. Jos halli on pieni, kehän puolikkaat voidaan kuljettaa kokonaisina ja ruuvata yhteen katonharjasta asennuksen yhteydessä. Kehän kum-

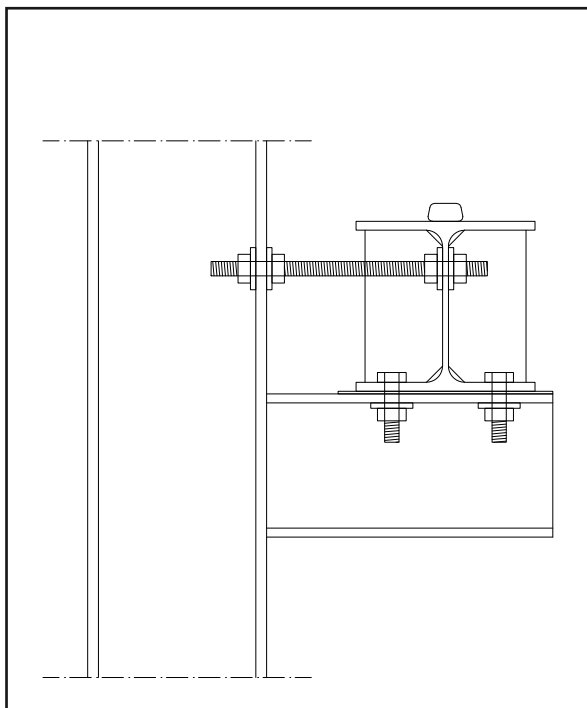
pikin puoli saa osuutensa horisontaalisesta kuormituksesta, eikä tällaisen hallin kohdalla olla riippuvaisia levyvaiikutuksesta, joka voi aiheuttaa ongelmia eristämättömien hallien kohdalla. Kehät perustetaan tavallisesti anturoiden päälle. Anturoihin ei kohdistu momenttia, mutta niihin kohdistuu horisontaalinen voima. Anturien kaatumistai-pumusta voidaan vähentää käyttämällä vetosauvaa, jolla anturien yläosat kiinnitetään yhteen.

Nivelettömät kehät ovat hyvin epätavallisia, koska ne edellyttävät kalliita, momenttijäykkiä liitoksia kehän osien välillä, ja lisäksi tarvitaan kallis perustus, johon momentti kulkeutuu.

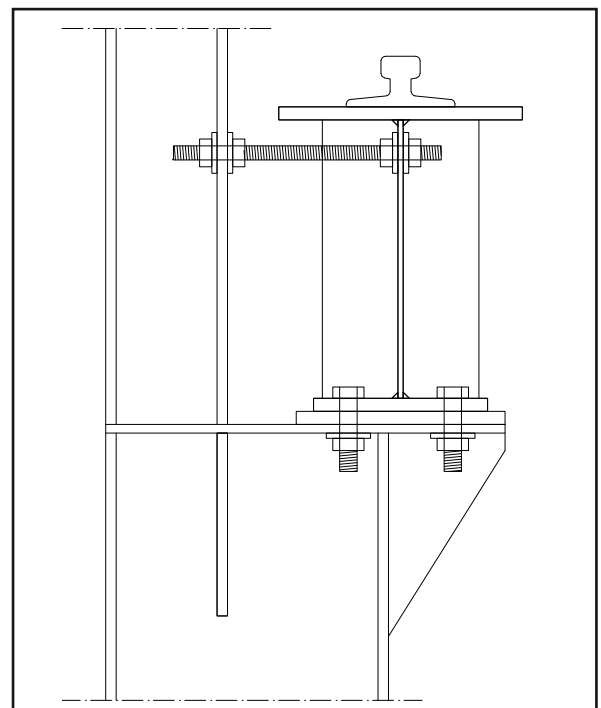
5.2.3 Raskaat hallit

Raskaissa rakennuksissa on usein nosturiratapalkkeja, jotka vaikuttavat niiden suunnitteluun. Kuvassa 5.8 näkyy tyypillinen poikkileikkaus. Tavallisin runkorakenne muodostuu tuetuista pilareista, mutta on myös mahdollista rakentaa laatikko eli jäykät seinät ja katto. Jos nosturiratapalkkeja hyödynnetään voimakkaasti (käyttöluokka B–B6), levyvaikutusta ei pidä hyödyntää ohutlevyliitoksen väsymisriskin vuoksi. Tällaisessa tilanteessa kuvan 5.6 mukaiset tuuliristikko ja tuet ovat sopivia. Vaikka rakennuksesta ei tehtäisikään laatikkoa, tuuliristikkoa käytetään usein nosturiratapalkkien kuormituksen jakamiseen vie-reisiin pilareihin.

Pilarit porrastetaan usein käyttämällä ns. nosturiratapalkkihylyä (ks. kuva 5.8). Tämä on tarkoituksenmukaista, kun katolta tuleva kuormitus on pieni nosturiratapalkkien kuormitukseen verrattuna. Nosturiratapalkit synnyttävät suhteellisen suuria horisontaalisia kuormituksia pitkittäin ja



Kuva 5.9 HEA-profiilista tehty nosturirata kevyessä nosturiratapalkissa.



Kuva 5.10 Hitsattu nosturirata raskaassa nosturiratapalkissa.

poikittain nosturiradoissa. Poikittaisvoimat siirtyvät pilareiden taipumisen kautta, ja pitkittäisvoimat siirtyvät jarrutukiin, jotka näkyvät kuvassa 5.6. Nämä siteet tehdään tavallisesti I-profiilista tai nelikulmaputkesta. Jälkimmäisessä tapauksessa kuvassa 5.6 näkyvää nurjahdussidontaa ei tarvita. Osaan nosturiradan yläpuolisesta tuesta kohdistuu vain tuulen aiheuttamaa kuormitusta, ja tuesta voidaan tehdä ristinmallinen vedettyjen siteiden avulla.

Lyhyiden nosturiratapalkkien nosturiradat, joiden nostokapasiteetti on korkeintaan 10 tonnia ja jänneväli korkeintaan 12 metriä, on edullista tehdä HEA-profiilista. Tällaisissa nostureissa on kisko, joka pienahitsataan ylälaippaan (ks. kuva 5.9). Tämänkokoiset nosturiradat rakennetaan normaalisti konsolille, joka on hitsattu valssattuun pilariin. Raskaiden nosturiratapalkkien nosturiradat hitsataan niin, että ylälaippa on suurempi kuin alalaippa (ks. kuva 5.10). Ylälaipan on oltava suurempi, koska se ottaa vastaan horisontaaliset voimat nosturiratapalkista. Raskaissa nosturiratapalkeissa käytetään nosturikiskoa, jossa väkipyörä kulkee pitkin kiskonpään vaakasuoraa pintaa ja ohjauspyörä hyödyntää pystysuoria pintoja. Yksityiskohtien suunnittelu on tärkeää, etenkin kun kyse korkean käyttöluokan nosturiratapalkeista, jotta voidaan välttää väsymiseen liittyvät ongelmat. Nosturirata on rakennettava niin, ettei kulmamutosta estetä. Konsolituki altistuu vääntymälle radan kulmamutoksen vuoksi, ja sen täytyy kestää tämä vääntymä ilman, että syntyy suuria pakkojäännityksiä. Tämän vuoksi raskaan nosturiratapalkin ja konsolin välinen liitos on usein nivelöitävä.

Raskaiden hallien perustus edellyttää usein paalutusta, vaikka maaperä olisikin kohtuullista. Tuettuihin pilareihin kohdistuvista momenteista tulee suuria, ja niiden on kestettävä ne ilman suuria kulmamutoksia. Pahimmasa tapauksessa usein minimaalinen vertikaalinen kuormitus yhdistyy momenttia synnyttäviin horisontaalisiin kuormituksiin.

KIRJALLISUUTTA

- [1] Wallin, L., 80-talets industribyggnad, 1983
- [2] Lorentsen, M., Stabilisering av byggnader, Inst. för brobyggnad, KTH, Tukholma 1973
- [3] Granström, A., Treiberg, T., Traverskranbana, Publikation 109, Stålbyggnadsinstitutet 1994

TEKIJÄT

Tämän kappaleen on laatinut professori Bernt Johansson. Kappale perustuu kirjan edellisen painoksen 6 kappaleeseen (Stomsystem), jonka Tom Treiberg on kirjoittanut.



*Ruotsin korkein taloraken-
nus Kista Science Tower.*

6. MUUT RAKENNUKSET

Monikerroksisia teräsrunkoja käytetään monenlaisissa rakennuksissa, kuten toimistorakennuksissa, asuinrakennuksissa, hotelleissa, sairaaloissa, parkkihalleissa ja kevyen teollisuuden rakennuksissa. Teräsrunkoisten kerrostalojen rakentamisessa käytetään perinteisesti

- teräspilareita ja palkkeja
- esivalmistettuja välipohjaelementtejä tai teräsmuottiin paikoilleen valettuja välipohjia
- esivalmistettuja tai paikoilleen valettuja seinii (rappukäytäviin)
- täydentäviä teräsristikoseiniä
- esivalmistettuja ei-kantavia kevytulokoseiniä julkisivuissa
- kevyitä kattoja teräspalkeille.

Teräksen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat matala omapaino ja korkea lujuus, joiden vuoksi siitä on mahdollista tehdä ohuita ja kestäviä rakenteita. Teräsrunkojen valmistuksessa mittatoleranssit ovat suuret, ja rungot esivalmistetaan niin, että niiden liitännät ovat valmiit, ennen kuin ne toimitetaan asennettaviksi rakennustyömaalle. Työmaalla runko ruuvataan sitten kokoon. Rakennustyön kustannukset muodostavat suuren osan lopputuotteen kokonaiskustannuksista, ja siksi rakennuspaikalla säästettävällä ajalla on suuri vaikutus kokonaiskustannuksiin. Paloturvallisuuskustannukset voidaan pitää pieninä rakentamalla kantava rakenne mahdollisimman suuressa määrin välipohjien ja seinien sisään. Jotta rakentaminen olisi mahdollisimman taloudellista, on tärkeää huomioida paloturvallisuutta koskevat kysymykset varhain suunnitteluvaiheessa. Teräsrakenteet suojataan ruosteelta siinä määrin kuin ympäristö sitä edellyttää. Teräs ei ruostu lämmitetyissä rakennuksissa, joissa ilmankosteus on normaali, joten tällaisissa rakennuksissa ruostesuoja ei ole välttämätön (ks. kappale 11.5).

Tuotantoa voidaan tehostaa voimakkaasti käyttämällä esivalmistettuja runkokomponentteja. Ruotsalaiset teräsrakentamisen alan yritykset ovat kehittäneet täydellisiä teräs-

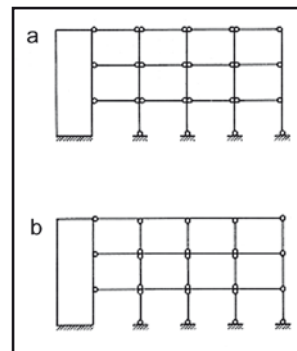
rakennusjärjestelmiä, jotka käsittävät tarkkaan harkittuja, yksityiskohtaisia ratkaisuja. Niiden ansiosta teräsrakennusjärjestelmät ovat kustannustehokkaita, ja siksi niitä käytetään nykyisin niin suuressa määrin. Teräs- ja ontelolaatta-rakenne on huolellisesti suunniteltu rakennusmenetelmä, jota käytetään erityisesti toimistorakennuksissa mutta jota on myös viime vuosina alettu käyttämään asuinrakennuksissa. Toinen rakennusmenetelmä on kevytrakentaminen teräksestä. Se on kehitetty erityisesti asuntojen rakentamista varten. Kantavaa ohutlevyrunkoa, kipsiä ja mineraalivillaa käyttämällä rakennetaan kustannustehokkaasti jopa kolmikerroksisia taloja.

6.1 RUNKORAKENTEET

Kolme tavallisinta kerrostaloissa käytettyä rakennetta ovat

- pilari- ja palkkirakenne
- pilari-välipohjarakenne
- rakenne, jossa käytetään kantavia seinäelementtejä.

Useimmat teräsrungot ovat pilari-palkkityyppiä. Järjestelmä on rakennettu teräspilareista, teräspalkeista ja välipohjista. Pilari-palkkijärjestelmä voidaan rakentaa kah-



Kuva 6.1 Pilari-palkkirakenne, jossa vapaasti tuetut palkit ja jatkuvat pilarit (a) sekä kerroskorkuiset pilarit ja jatkuvat palkit (b).



Kuva 6.2 Kun rakennuksessa on käytetty pila-ri-palkkirakennetta, jossa on tai ei ole sisäisiä pilaririvejä, tilaa on mahdollista käyttää joustavasti: huoneiden väliset seinät voidaan sijoittaa hyvin vapaasti, ja muutoksia on helppo tehdä jälkepäin.

den eri periaatteen mukaisesti (ks. kuva 6.1). Perinteisempi järjestelmä muodostuu kahdesta jatkuvasta pilarista, jotka nousevat 2–3 kerroksen korkeuteen, sekä vapaasti tuetuista palkeista. Viime vuosien aikana on tullut yhä tavallisemmaksi käyttää kerroksen korkuisia pilareita ja jatkuvia palkkeja. Jatkuvien pilareiden järjestelmä merkitsee sitä, että asennettavia pilareita on vähemmän ja että rakenteen suoristamiseen ja jäykistämiseen kuluu vähemmän aikaa. Vapaasti tuettuja palkit voidaan korottaa kompensoimaan kuormituksen aiheuttamaa taipumista. Jatkuvien palkkien järjestelmässä palkkien mittoja voidaan pienentää tuen jatkuvuuden vuoksi. Tämä jättää tilaa myös välipohjille, koska niitä asennettaessa tiellä ei ole pilareita.

Rakennuksen koosta ja suunnittelusta riippuen valitaan rakenne, jossa kantava rakenne on yksinomaan julkisivujen välissä tai jonka sisällä on yksi tai useampi pilaririvi.

6.1.1 Rungon stabilointi

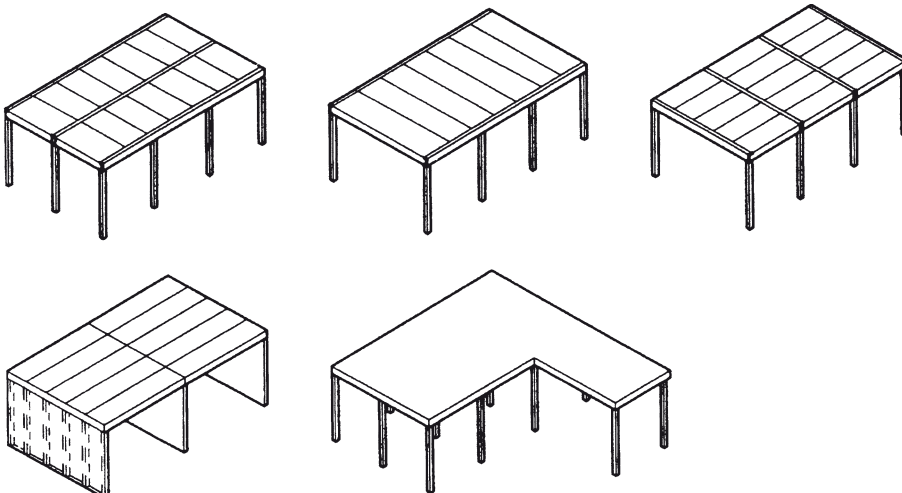
Runkorakenteen ensisijaisena tarkoituksena on jakaa rakenteeseen kohdistuvat vertikaaliset ja horisontaaliset kuormitukset maapohjaan. Boverkets Regelsamling för Konstruktion -julkaisussa [1] annetaan kuormitusta koskevia määräyksiä. Runkoon kohdistuu vertikaalista ja horisontaalista kuormitusta. Esimerkkejä vertikaalisesta kuormituksesta:

- rakennuksen osien omapaino
- sisustuksen, ihmisten, ajoneuvojen yms. aiheuttama hyötykuorma
- lumen aiheuttama kuorma.

Esimerkkejä horisontaalisesta kuormituksesta:

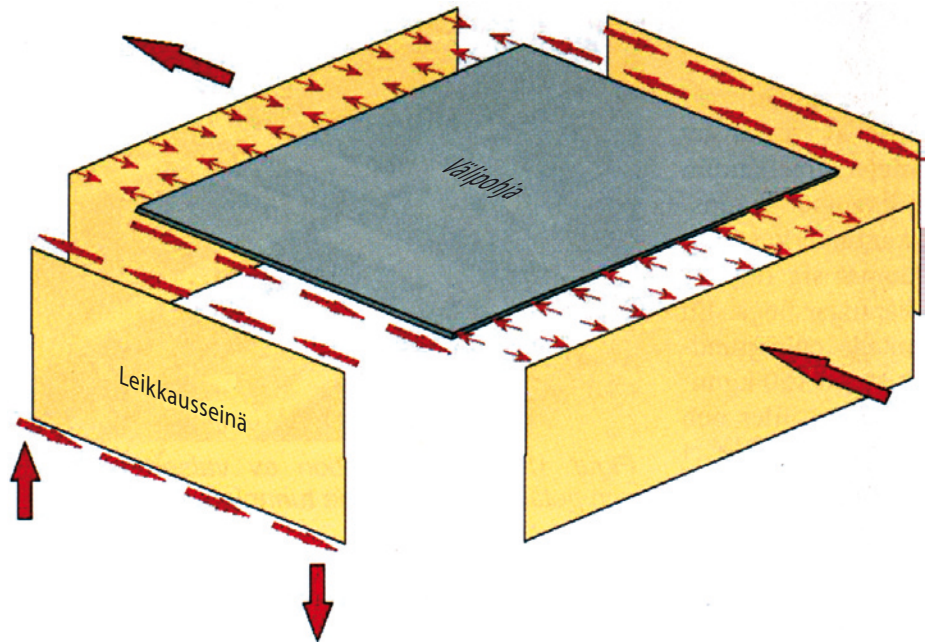
- tuulen aiheuttama kuorma
- vinoon asentamisesta aiheutuva kuorma.

Jotkin rakennuksen rakenneosat, esimerkiksi pilarit, voidaan asentaa tahattomasti vinoon, jolloin ne aiheuttavat horisontaalista kuormitusta [1].



Kuva 6.3 Rungon eri komponentteja voidaan yhdistää monenlaisiksi kombinaatioiksi. Valssatuista profiileista ja ohutlevyprofiileista muodostuvien hybridien käyttö kantavissa osissa mahdollistaa optimaaliset materiaalivalinnat ja matalan omapainon.

Kuva 6.4 On tavallista, että välipohjaa ja porraskäytävän seiniä käytetään jäykkinä, stabiloivina levyinä. Välipohjalevyt siirtävät horisontaalisia kuormia stabiloiviin yksikköihin. Nämä voimat ovat tavallisesti vähäisiä, ja sellaisia tilanteita, joissa välipohjan levyvaikutusta ei voida hyödyntää, syntyy harvoin.



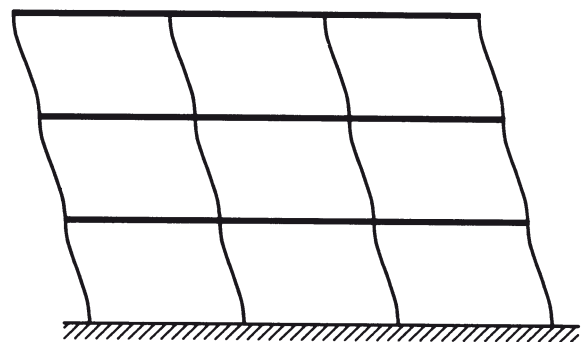
Stabilisointimenetelmän valinta riippuu muun muassa rakennuksen suunnittelusta, pohjaratkaisusta ja kerrosmäärästä. Kerrostalojen stabiloinnissa voidaan käyttää apuna levyvaikutusta, ristikkorakenteita tai kehiä. On tavallista, että lumesta ja vinoon asentamisesta johtuvat horisontaaliset kuormat siirtyvät pystysuoriin levyihin katto- ja välipohjalevyjen kautta. Pystysuorat levyt kuljettavat voimat sitten maapohjaan. Levyvaikutusta kuvataan kuvassa 6.4 [2].

Vaihtoehtoinen stabilointitapa on palkkien ja pilareiden kehävaikutus (ks. kuva 6.6). Palkkien ja pilareiden kehävaikutuksella tarkoitetaan sitä, että runko valmistetaan niin, että pilarien ja palkkien välissä on momenttijäykät liitokset. Tämä tarkoittaa, että kun kehää kuormitetaan, kulmamuuutos on yhtä suuri yhteen liitetyissä palkeissa ja pilareissa. Kehä ottaa siis vastaan sekä vertikaalisen että horisontaalisen kuorman ja kuljettaa sen perustuksille.



Kuva 6.5 Jos porraskäytävä ei riitä stabiloimaan, rakennuksen yhtä tai useampaa seinälinjaa täydennetään pystysuorilla teräsristikoilla. Vaihtoehtoisesti koko rakennus voidaan stabiloida teräsristikkorakenteella.

Jos esimerkiksi auto ajaa päin pohjakerroksen pilaria, tämä ei saa aiheuttaa jatkuvaa sortumaa eli törmäyspaikan yläpuolisten suurien rakenteiden romahtamista. Tämä koskee niin vertikaalista kuin horisontaalistakin kantavaa rakennetta. Regelsamlingen för Konstruktion [1]-säätökokoelma sisältää jatkuvia sortumia koskevat vaatimukset. Esimerkki toimenpiteistä, joilla ehkäistään sortuminen auton ajaessa päin pilaria, on se, että julkisivuun asetetaan useampi pilari kuin mitä vertikaalinen kuormitus edellyttäisi. Lisäksi julkisivujen palkeista voidaan tehdä jatkuvia. Pilarien jatkuvuuden ja niiden väli-



Kuva 6.6 Ruotsissa käytetään harvoin kehävaikutusta stabiloimaan monikerroksisia rakennuksia. Korkeat kehät edellyttävät suuria palkkeja ja pilareita sekä momenttijäykkiä solmukohtia. Siksi tällainen runkorakenne tulee suhteellisen kalliiksi.

| Palkkityyppi | Palkin korkeus (mm) | Jänneväli, sisäpalkki (m) | Jänneväli, julkisivupalkki |
|--|---------------------|---------------------------|----------------------------|
| Kuumavalssattu H-profiili | 200 - 400 | 3 - 7,5 | 3 - 8 |
| Kylmämuokattu C-profiili | 200 - 300 | - | 4 - 5 |
| Kylmämuokattu hattuprofiili, kevyt välipohja | 190 | 4 - 5,5 | - |
| Hitsattu palkki | 200 - 265 | 6 - 7,5 | 6 - 7,5 |
| Hitsattu liittopalkki | 200 - 265 | 6 - 9,5 | 6 - 9,5 |

Taulukko 6 Esimerkkejä vapaasti tuettujen palkkien jänneväleistä, kun rakennuksessa on betonivälipohja, jonka jänneväli on noin 7–8 metriä.

sen etäisyyden pienentämisen myötä yhden pilarin tuhoutuminen ei aiheuta rakennuksen romahtamista. Kun kyse on rungon stabiloinnista, stabiilovia rakenneosia on oltava riittävän monta, jotta voidaan taata rakennuksen pysyvän pystyssä, vaikka kokonainen rakenneosa tuhoutuisi. Jatkuvaa sortumaa käsitellään viitteessä [3].

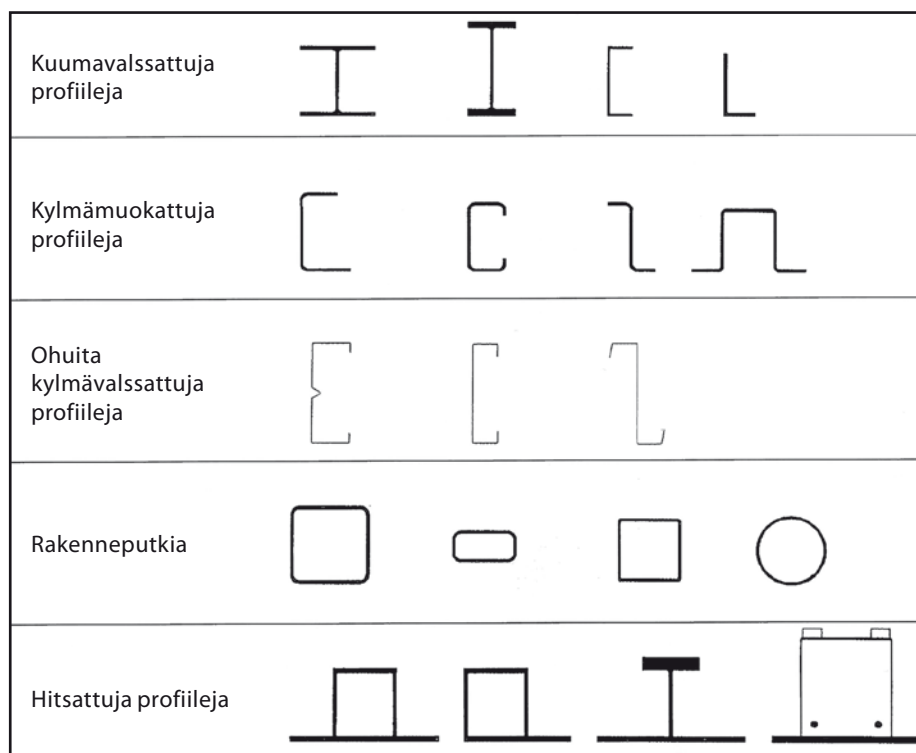
6.2 TERÄSRUNGOISSA KÄYTETYT TUOTTEET

Monikerroksisissa rakennuksissa käytettävät teräsrungot valmistetaan joko standardiprofiileista (varastotavarasta) tai erikoisvalmisteisista profiileista. Työstäminen tapahtuu konepajalla ja käsittää esimerkiksi leikkaamisen, poraamisen, stanssaamisen, taittamisen ja hitsaamisen. Teräsprofiilit jaetaan eri ryhmiin niiden valmistustavan mukaan:

- kuumavalssatut profiilit
- kylmämuokatut profiilit
- ohutlevyprofiilit (kylmämuokattuja)
- rakenneputket
- hitsatut profiilit.

Kuumavalssattuja profiileja käytetään eniten teräsrakentamisen alalla. I-profiilit, joissa on kapeat laipat, soveltuvat parhaiten taivutuskuormitettuihin rakenneosiin (esimerkiksi palkkeihin). H-profiilit, joissa on leveä laippa, sopivat palkkeiksi ja pilareiksi. L- ja U-profiilit soveltuvat hyvin reuna-palkkeiksi. *Kylmämuokatut profiilit* ovat avoimia profiileja ja rakenneputkea lukuun ottamatta. Niitä voidaan käyttää palkkeina ja pilareina, ja konepajoilla voidaan valmistaa kylmätaivuttamalla erikoistarkoituksiin tarkoitettuja profiileja. *Ohutlevyprofiileja* valmistetaan noin 0,4–3 mm:n paksuisina. Ne ovat avoimia profiileja, ja ne valmistetaan kylmävalssatusta kuumasinkitystä ohutlevystä. Esimerkkejä kylmävalssatuista profiileista ovat C- ja Z-profiilit. Niitä käytetään ennen kaikkea seinien pystytukina ja katto-orsissa. Kylmävalssattuja ohutlevyprofiileja kutsutaan myös kevytpalkkeiksi. Ohutlevyprofiileja käytetään teräsisissä kevytrakenteissa.

Rakenneputket ovat poikkileikkaukseltaan joko pyöreitä, neliömäisiä tai nelikulmion muotoisia. Niitä valmistetaan kuumavalssatusta nauhalevystä kuuma-



Kuva 6.7 Teräsprofiilit jaetaan kuumavalssattuihin profiileihin, kylmämuokattuihin profiileihin, ohutlevyprofiileihin, rakenneputkiin ja hitsattuihin profiileihin. Ks. myös kappale 3.



Kuva 6.8 Pystysuora runko rakennetaan tavallisesti nelikulmaprofiilista tai H-profiileista. Usein on kustannustehokasta valita ohuita pilareita, jotka voidaan rakentaa seinien sisään.



Kuva 6.9 Matalissa rakennuksissa (2–3 kerrosta) voi olla kannattavaa käyttää ohutlevyprofiileja kuormaa kantavina rakenteina.

kylmämuokkaamalla. Rakenneputkia voidaan käyttää sekä palkkeina että pilareina. Niitä voidaan suunnitella käytettävän myös liittopilareina. Tuolloin putki täytetään betonilla, joka voidaan lujittaa kantavuuden lisäämiseksi erityisesti tulipalotilanteissa.

Hitsattuja profiileja käytetään useimmiten palkkeina. Materiaalikulutus voidaan optimoida, ja lisäksi poikkileikkausta voidaan vaihdella eri kohdassa palkkia. Hitsattuja palkkeja voidaan valmistaa korotettuina, mikä vähentää alaspäin taipumista ja mahdollistaa pidemmät jännevälit. Myös hitsatut ristikkopalkit soveltuvat pitkiin jänneväleihin. Tavallisia hitsattuja profiileja ovat matalapalkit. Matalapalkkeja on monenlaisia valmistajasta riippuen [11]. Taulukossa 6 on esimerkki jänneväleistä erilaisia palkkeja käytettäessä.

6.3 VERTIKAALINEN KANTAVA RAKENNE

Joko valssatut H-profiilit tai nelikulmaiset tai pyöreät rakenneputket kannattelevat pilareina monikerroksisia rakennuksia. Pilarit asetetaan tavallisesti 2,4–4,0 metrin etäisyydelle toisistaan. On parempi vaihtoehto asettaa monta ohutta pilaria tiiviisti vierekkäin kuin pienempi määrä suuria pilareita. Ohuet pilarit voidaan rakentaa seinien sisälle, mikä lisää automaattisesti paloturvallisuutta.

Rakennettaessa matalaa, 2- tai 3-kerroksista rakennusta kantavia ohutlevytukia (levyn paksuus 1,0–3,0 mm) voidaan käyttää ainoana kantavana rakenteena. Tuolloin kantavat kehäseinät rakennetaan niin, että terästukien välinen etä-

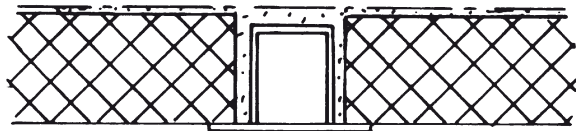
isyys on 450–600 mm, ja samalla tavalla kuin perinteiset eikantavat kehäseinät. Erona on se, että käytettävä levy on jonkin verran paksumpaa ja että liitoskohdat suunnitellaan niin, että ne kestävät suurempia kuormituksia. Ohutlevyprofiilisten kehäseinien omapaino on matala, ja niitä voidaan esivalmistaa tehtaissa. Vertikaalisessa kantavassa rakenteessa ohutlevyprofiilien lisäksi voidaan käyttää myös paksampia profiileja.

6.4 HORISONTAALINEN KANTAVA RAKENNE

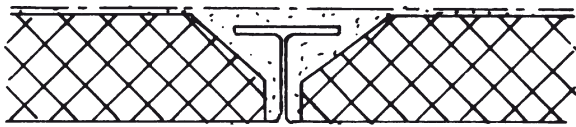
Palkit suunnitellaan usein niin, että niissä on leveä alalaippa, jonka varaan välipohja voidaan rakentaa. Kuvassa 6.10 näkyy joitakin erilaisia välipohjapalkkityyppejä. Hattuprofiili on tavallinen poikkileikkausmuoto, ja matalapalkkeja on saatavana erilaisia. H-profiileja (esimerkiksi HEA- tai HEB-profiileja) käytetään myös palkkeina. Jatkuva U-palkki (esimerkiksi UPE-palkki) on yleinen julkisivuissa. Näiden palkkien käyttöön liittyy se etu, että ne mahtuvat välipohjan sisälle, mikä säästää rakennuskorkeutta. Toinen etu on se, että palkkia ympäröivä betoni suojaa suurinta osaa palkista. Jännevälin ollessa lyhyt ja tilanteissa, joissa pienestä omapainosta on etua, voi olla edullista käyttää ohutlevypalkkeja. Ohutlevypalkit muodostavat samalla osan välipohjan rakenteesta (ks. kappale 6.5.3).

6.5 VÄLIPOHJA

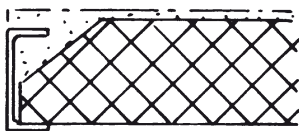
Välipohjalla on kantava ja erottava tehtävä. Sen lisäksi, että se kantaa vertikaalista kuormaa, se myös usein siirtää



Matalapalkki



HEA, HEB



UPE



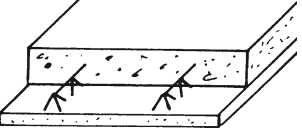


Kuva 6.10 Tavallisimpiin Ruotsissa käytettyihin palkkityyppisiin kuuluvat matalapalkit, H-profiilit ja U-palkit. Hattuprofiilit ovat tavallinen poikkileikkausmuoto, ja niitä on saatavana erilaisia. H-profiileja käytetään myös palkkeina. Jatkuvat U-palkit ovat tavallisia julkisivuissa. Esivalmistetut betonielementit asetetaan teräspalkin alalaipan päälle. Näin säästetään välipohjan rakennuskorkeutta.

horizontaalista kuormaa talon stabilisoiivien rakenneseisiin. Välipohjan on myös oltava riittävän jäykkä, jottei joustamista ja heilumista pääse tapahtumaan. Erottava tehtävä liittyy lähinnä tiivytteen, äänieristykseen ja paloturvallisuuteen. Huoneistotyyppistä riippuen välipohjille asetetaan erilaisia iskumelua ja ilmajohtoista melua koskevia äänieristysvaatimuksia (ks. Boverkets Byggregler [4]). Asuinrakennusten äänieristyksestä löytyy lisää tietoja viitteistä [5] ja [6]. Paloturvallisuutta käsitellään tarkemmin kappaleessa 10 ja viitteessä [10].

Teräsrakenteisten talojen välipohjat voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- esivalmistettuihin betonivälipohjiin
- osittain paikalleen valettuihin välipohjiin
- kevyihin, teräsrunkoisiin välipohjiin.

Esivalmistettuihin betonivälipohjiin kuuluvat esimerkiksi ontelolaattavälipohjat sekä tasalaatuiset esivalmistetut betonivälipohjat. Osittain paikalleen valettuihin välipohjiin kuuluvat kuorilaattavälipohjat ja liittovälipohjat. Kevyitä välipohjia käytetään lyhyissä jänneväleissä ja ne rakennetaan useimmiten ohutlevyprofiileista, kipsistä ja mineraalivillasta.

| | Paksuus (mm) | Enimmäisjänneväli ristikossa Toimistokuorma |
|---|---------------------|---|
|  <p>Ontelolaatta (esivalmistettu)</p> | 200 265 (380) | noin 20 m noin 12 m noin 18 m |
|  <p>Massiivilaatta (esivalmistettu)</p> | | noin 7 m |
|  <p>Kuorilaatta (paikallavalettu)</p> | | noin 10 m |
|  <p>Itsekantava muotti (paikallavalettu)</p> | | noin 6 m |
|  <p>Liittovälipohja (paikallavalettu)</p> | | noin 6 m |

Kuva 6.11 Esimerkkejä välipohjatyypeistä. Esivalmistetut välipohjat edellyttävät valamista elementtien väliin sekä ohuen päällevalun tasoerojen tasoittamiseksi.



Kuva 6.12 Ontelolaattaelementtiä, jonka paksuus on 200–265 mm, täydennetään 30–35 mm:n päällevalulla.

6.5.1 Esivalmistetut betonivälipohjat

Esivalmistetut jänneteräksillä jännitetyt ontelolaatat ovat yleisin esivalmistetun betonivälipohjan tyyppi Ruotsissa. Ontelolaattaelementeillä voidaan rakentaa pitkiä jännevälejä välipohjan palkiston suuntaisesti: 200 mm:n elementillä noin 9 metriä ja 265 mm:n elementillä 12 metriä. Teräspalkki on normaalisti yhtä korkea kuin välipohjaelementti, joka kiinnitetään teräspalkin alalaippaan. Teräspalkki voidaan rakentaa välipohjarakenteen sisälle, mikä pienentää rakenteen kokonaiskorkeutta. Tämä suojaa myös terästä tehokkaasti tulipalolta ja vähentää näin muunlaisen suojaamisen tarvetta. Elementtien väliin saumoihin tulee vahvisteet. Tämä pitää ne yhdessä ja suojaa niitä jatkuvalta sortumalta. Laattojen väliin saumoihin sekä palkkien ja laattojen päiden väliseen tilaan valetaan betonia. Tasoerojen (esimerkiksi ontelolaatan korotuksen) tasoittamiseksi päälle valetaan taseusbetonia. On myös olemassa järjestelmä, jossa lattiapintaa ei tasoiteta betonilla, vaan jossa lattian ontelotilaa hyödynnetään installaatioiden asentamiseen. Ontelolaattavälipohja sopii parhaiten rakennuksiin, joiden julkisivulinjat ovat suorat, ja sitä käytetään myös asuinrakennuksissa. Jos julkisivulinja on epäsäännöllinen, elementtejä voidaan sopeuttaa valmistusvaiheessa ja jopa 45 asteen vinokatkaus on mahdollinen.

6.5.2 Osittain paikalleen valetut välipohjat

Kuorilaattavälipohjat muodostuvat esivalmistetuista betonielementeistä, joiden paksuus on 40 mm tai 70 mm ja joissa on sisäänvaletut, ulostyöntyvät vahvisteet. Ne lisäävät jäykkyyttä valuvaiheessa ja saavat aikaan halutun yhteisvaikutuksen päällevalun kanssa. Kuorilaattavälipohjat rakennetaan usein teräspalkin alalaipalle, ja ne muodostavat muotin betonia varten. Kuorilaattavälipohjia täydennetään työmaalla yläpinnan raudoituksella ja niiden päälle valettavalla, noin 140–250 mm paksulla betonikerroksella, jotta saadaan aikaan yhteisvaikutus uuden betonin kanssa. Maksimaalinen välipohjan palkiston suuntainen jänneväli on noin 8 metriä käytettäessä 40 mm:n kevyesti vahvistettuja laattaelementtejä ja noin 10 metriä käytettäessä 70 mm:n esijännitettyjä laattaelementtejä.

Liittovälipohjassa betoni ja teräs vaikuttavat yhdessä edullisella tavalla. Taivutuksessa hyödynnetään betonia niin, että se ottaa vastaan puristusjännityksen ja teräs vetojännityksen. Tällainen yhteisvaikutus saadaan aikaan siirtämällä teräslevyn ja betonilaatan välisiä leikkausvoimia. Voimansiirron hyödyntämiseksi käytetään erityisesti suunniteltua, profiloitua teräslevyä, joka toimii ns. itsekantavana



Kuva 6.13 Kuorilaattavälipohja on esivalmistettu betonielementti, joka asetetaan teräspalkin alalaipalle. Installaatiot voidaan sitten vetää betonielementin päälle ja valaa kiinni, kun päälle valetaan betonia.

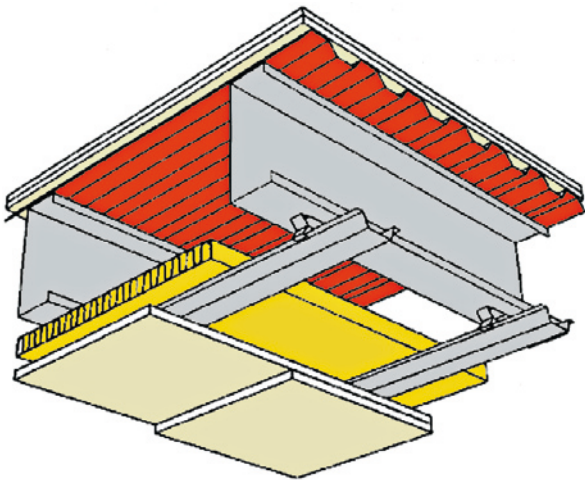


Kuva 6.14 Liittovälipohja, jossa on käytetty erikoismuotoilua profiloitua levyä, on asetettu teräspalkin päälle. Teräspalkki, levy ja betoni vaikuttavat yhdessä ja parantavat kantokykyä.



Kuva 6.15 Kevyen välipohjan runko rakennetaan tavallisesti C- tai Z-profiileista. Kuvassa pilari on tehty nelikulmaisesta putkesta.

muottina ja alareunaraidoituksena. Levy työnnetään tai hitsataan tukipalkkiin. Tuennan välttämiseksi on valittava sellaiset jännevälit, että levy pystyy itse kantamaan kuorman. Levyn profiilin korkeus on tavallisesti 45–120 mm, ja paksuus 0,7–1,2 mm. Päälle valetaan noin 140–250 mm:n kerros betonia.



Kuva 6.16 Esimerkki kevyen välipohjan rakenteesta.

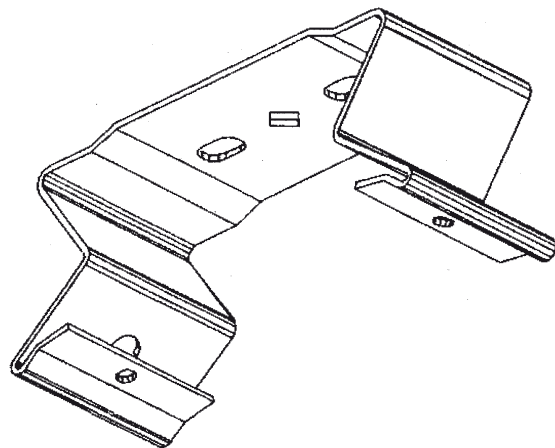


Kuva 6.17 Kevyen välipohjan alakatto on rakennettava erillisenä rakenteena, joka kiinnitetään taipuisasti kantavaan rakenteeseen.

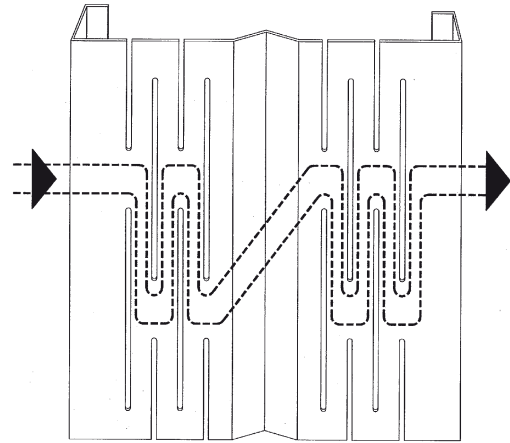
Suurin välipohjan suuntainen jänneväli on noin 8 metriä käytettäessä kuorilaattavälipohjaa ja noin 6–8 metriä käytettäessä liittovälipohjaa. Liittovälipohjat varustetaan useimmiten kipsilevyistä tehdyllä alakatolla esteettisistä syistä sekä äänieristyksen tai paloturvallisuuden parantamiseksi. On toki olemassa myös liittovälipohjia, joissa on tasainen ja maalikäsitelty alapinta, jolloin alakatto ei ole välttämätön.

6.5.3 Kevyet välipohjat

Kevyitä teräs välipohjia rakennetaan käyttämällä runkona kantavia, kylmämuokattuja teräsprofileja sekä levyjä. Rakente voidaan rakentaa paikan päällä tai esivalmistaa kaseteiksi tai elementeiksi, jotka sitten kootaan työmaalla. Tavallinen välipohjarakenne muodostuu kantavasta C-teräsprofiilista, jonka keskiöväli on 600 mm. Palkkien korkeus on 150–300 mm jännevälillä riippuen. Palkkien yläreunaan kiinnitettävän poimulevyn tehtävänä on siirtää hyötykuormaa palkkeihin ja tehdä rakenteesta horisontaalisesti jäykkä. Poimulevyn päällä käytetään lattiakipsilevyjä, valettua



Kuva 6.18 Akustiikkaprofiili ja äänikannake ovat esimerkkejä asuntoja erottavissa välipohjissa käytettävistä profileista, jotka vähentävät kävelyn aiheuttaman melun kulkeutumista.



Kuva 6.19 Kylmäsiltoja voidaan vähentää huomattavasti käyttämällä ohuesta materiaalista valmistettua ulkoseinätukea, jonka uuma on rei'itetty. Kuvasta b (ylhäällä) ilmenee, kuinka lämpö kulkee tuessa, jossa on reikiä.

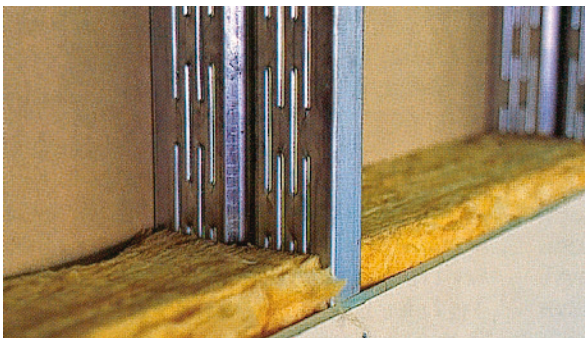
lattiakipsiä tai ohutta betonikerrosta. Enimmäisjänneväli on värähtelyn vuoksi välipohjan palkiston suunnassa noin 8 metriä käytettäessä 300 mm:n korkuisia ohutlevyprofileja. Tähän mennessä on saatu kokemusta kevyistä välipohjista, joiden jänneväli on noin 4 metriä. Pidemmät jänneväli edellyttävät korkeampia palkkeja, eivätkä ne ole siksi taloudellisesti yhtä kilpailukykyisiä.

Kevyitä teräsvälipohjia on käytetty lähinnä asuinrakennuksissa. Niiden käyttö asettaa huoneistojen välisille rakenteille kovia vaatimuksia, muun muassa äänieristysvaatimuksia. Keveitä välipohjia käyttämällä voidaan saada aikaan hyvä ääniympäristö muun muassa niin, että alakatto asennetaan löyhästi välipohjaan. Äänen kulkeutumista vähennetään tehokkaasti äänikannakkeen tai akustiikkaprofiilin avulla (ks. kuva 6.18). Ilmajohtoista melua vaimennetaan välipohjan palkkien välisellä mineraalivillaeristyksellä.

6.6 RUNGON TÄYDENTÄMINEN

6.6.1 Seinät

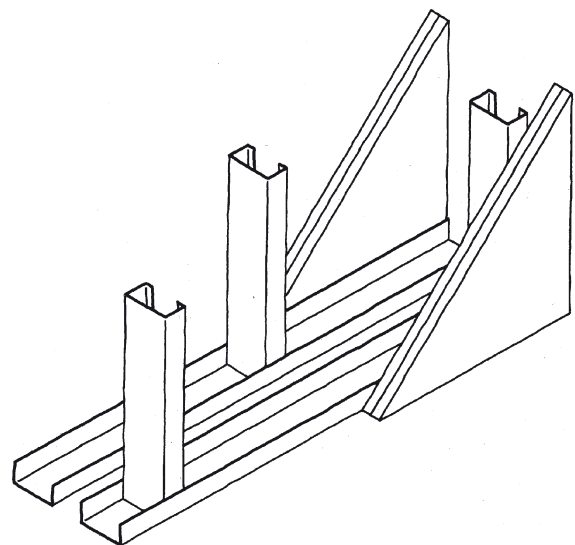
Runkorakennetta täydennetään tavallisesti kevyillä ulkoseinillä, joiden rungossa on uritettuja pystytukia, eristeitä ja kipsilevyjä. Ulkoseinän ensisijainen tehtävä on suojata sääolosuhteilta, mutta se voi toimia myös kantavana



Kuva 6.20 Ulkoseinän läpyleikkaus.

rakenteena. Kantavat ulkoseinät kantavat vertikaalista kuormaa, joka kulkeutuu alas yläpuolisista kerroksista. Seinän on myös kuljetettava horisontaalisia kuormia välipohjaan. Tapauksissa, joissa ulkoseinän levyvaikutusta hyödynnetään stabiloinnissa, ulkoseinän on siirrettävä horisontaalisia kuormia alas maapohjaan. Ulkoseinässä voidaan käyttää halutunlaista julkisivumateriaalia, esimerkiksi puupaneelia, tiiltä, rappausta, teräslevyä tai lasia. Hyvän lämmöneristyksen aikaansaamiseksi ulkoseinässä käytetään uritettuja

Kuva 6.21 Äänieristysyistä sisäseinätuissa on kumilitat, jotka toimivat akustisena tiivisteinä seinän reunoissa.



Kuva 6.22 Asuntojen välinen seinä tehdään useimmiten kahdesta vierekkäisestä huoneiden välisestä seinästä.



Kuva 6.23 Huoneet toisistaan erottava sisäseinä.

pystytukia. Urituksen ansiosta lämmön virtaus pystytukea pitkin vähenee huomattavasti (ks. kuva 6.19 b). Lämpöeristykseen käytetään tavallisesti mineraalivillaa. Tuulensuojana voidaan käyttää pahvia tai ulkoista kipsilevyä. Eristeen lämpimälle puolelle on laitettava muovikalvo tiivistämään rakennetta sekä estämään lämpöä ja kosteaa ilmaa kulkeutumasta seinään ja kondensoitumasta. Seinän sisäpuoli tehdään tavallisesti kipsilevyistä.

Seinät, joissa on ohutlevytuet, ovat nykyisin yleisin väliseinien rakennustekniikka. *Väliseinien* rakenne vaihtelee riippuen siitä, onko kyse huoneistojen vai huoneiden välisestä seinästä. Se voi olla sekä kantava että stabiloiva seinä. Huoneistojen välisille seinille asetetaan muun muassa tiukempia äänieristysvaatimuksia, minkä vuoksi ne ovat rakenteeltaan erilaisia kuin huoneistojen väliset seinät (ks. kuvat 6.22 ja 6.23). Molemmat seinätyypit muodostuvat ohutlevytuesta ja kipsilevyistä. Huoneistojen välisissä seinissä sekä kylpy- ja makuuhuoneiden seinissä käytetään myös eristeenä mineraalivillaa. Väliseinät rakennetaan melkein aina paikan päällä ja materiaali toimitetaan valmiin pituisena ja järjestettynä ilmoitettuun asennusjärjestykseen.

6.6.2 Julkisivut

Teräsrakenteisissa rakennuksissa voidaan käyttää useimpia markkinoilla olevia julkisivumateriaaleja ja -järjestelmiä. Kevyisiin ulkoseiniin yhdistetään usein tiiliseinä tai rapattu seinä, mutta ulkoseinissä käytetään myös erilaisia ohutlevykasetteja ja muita levymateriaaleja. Nämä julkisivumateriaalit voidaan joko asentaa jälkikäteen ulkoseinäkonstruktion päälle tai ne voidaan kiinnittää esivalmistettuihin seinäelementteihin, jotka toimitetaan valmiina rakennustyömaalle.

Teräsrungon yhdistäminen lasiseen julkisivuun yleistyy jatkuvasti. Lasin läpinäkyvyys sopii hyvin yhteen teräksen mittasuhteiden kanssa. Markkinoilla on monia erilaisia lasijulkisivujärjestelmiä.

Toinen teräksinen ulkoseinärakenne on sandwich-elementti, joka valmistetaan tavallisesti kolmikerroksisena. Elementissä on eristeydin, jota ympäröi kaksi pintakerrosta, jotka muodostuvat tavallisesti tasaisista tai profiloituista teräslevyistä. Sandwich-elementin valmistuksessa



Kuva 6.24 Lasinen julkisivu ja teräsrunko sopivat erinomaisesti yhteen.



Kuva 6.25 Sandwich-elementeistä valmistettu ulkoseinä. Vasemmalla Göteborgissa sijaitsevan Hotel Gothia Twin Towers, jossa ulkoseinät muodostuvat sandwich-paneeleista, joita on täydennetty ulkoisilla julkisivukaseteilla ja sisäisellä tukirungolla. Oikeanpuoleisessa kuvassa on tavallinen talorakennuksissa käytettävä sandwich-elementti.

mittaustarkkuus on hyvin suuri, mikä mahdollistaa korkean esivalmistusasteen. Koska elementin rakenne vaikuttaa rakennuksen suunnitteluun, on tärkeää löytää sellainen rakenne, joka on sekä esteettinen että toimiva elementtivalmistuksen kannalta. Muutkin julkisivupinnat kuin teräslävy ovat mahdollisia, yhtenä esimerkkinä rappaus.

6.6.3 Katto

Sääolosuhteet rasittavat enemmän kattoa kuin esimerkiksi seiniä. Katon on pysyttävä tiiviinä sateella, ja sen lämpö- ja kosteuseristysominaisuuksien täytyy olla hyvät. Katon on myös oltava mekaanisesti luja, jotta se kestää lumen, jään ja tuulen aiheuttaman kuormituksen. Tavallisesti käytettäviä kattorakenteita ovat harjakatot ja kattotuolit.

6.7 RAKENNUSJÄRJESTELMÄT

Teräsrungot ovat nykyisin hyvin tavallisia Ruotsissa monikerroksisissa rakennuksissa. Syynä tähän on se, että ruotsalaiset teräsrakentamisen alan yritykset ovat panostaneet monia vuosia tehokkaiden teräsrakennusjärjestelmien kehittämiseen. Yksi näistä menestyksekkäistä rakennusjärjestelmistä on *teräs-ontelolaattajärjestelmä*, jolla vastattiin 1980-luvulla toimistorakennusten suureen kysyntään. Tuolloin rakennuksen kokonaiskorkeuden pitäminen matalana oli tärkeä taloudellinen tekijä. Ontelolaattavälipohjan ja teräsrungon käyttäminen teki tämän mahdolliseksi. 1990-luvun lopulla käyttöön vakiintui toinen kilpailukykyinen teräsrunkoinen rakennusjärjestelmä: *kevytrakentaminen teräksestä*. Sitä kehitetään edelleen tärkeänä osana teollisempaa rakentamista.



Kuva 6.26 Harjakatto on kustannustehokas ratkaisu. Se vaatii kuitenkin alleen välipohjan.



Kuva 6.27 Ohutlevystä valmistettujen kattotuolien eduksi voidaan laskea pieni omapaino ja helppo valmistus.

6.7.1 Teräs-ontelolaattajärjestelmä

Teräs-ontelolaattajärjestelmälle on ominaista välipohjan matala rakennuskorkeus sekä joustamisen mahdollisuus pitkien jännevälien suhteen. Matala rakennuskorkeus joutuu paitsi ontelolevystä myös siitä, että niin reunapalkkeissa kuin välipalkkeissakin on leveä alalaippa. Ulkomailla järjestelmää kutsutaan *slim floor*-järjestelmäksi. Tukipalkkien ja ontelolevyn väliseen liitokseen valetaan työmaalla betonia, joka suojaa teräspalkkia tulipalolta.

Koska teräs-ontelolevyjärjestelmä saavutti suosiota toimistotalojen rakentamisessa, sitä alettiin myöhemmin soveltaa myös asuintalojen rakentamiseen. On tavallista, että asuinrakennuksiin rakennetaan kaksoislattia sen sijaan, että järjestelmän päälle valettaisiin betonia. Vaakasorat installaatiot voidaan tehdä kaksoislattian sisällä olevaan tilaan.

6.7.2 Kevytrakentaminen teräksestä

Kevytrakentamisen kehittämisen taustalla oli halu rakentaa asuntoja kohtuullisin kustannuksin esivalmistamalla rakennosia tehtaalla ja kokoamalla ne nopeasti valmiiksi taloksi. Kevytrakennusjärjestelmän tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu mahdollisuus suureen esivalmistusasteeseen, mikä puolestaan pienentää hukkaprosenttia ja kuljetettavan materiaalin painoa, sekä mahdollisuus kuivarakentaa epäorgaanisista materiaaleista, jotka eivät sido kosteutta eivätkä tällä tavoin aiheuta huonoon sisäilmaan liittyvää riskiä.

Kevytrakentamista käytetään kantavana järjestelmänä jopa kolmikerroksisissa asuinrakennuksissa. Tavallista on, että kevytrakentaminen yhdistetään muihin runkorakenteisiin, joissa käytetään valssattuja tai hitsattuja profileja [8]. Myös muihin runkorakenteisiin tarkoitettuja, ohutlevystä valmistettuja ei-kantavia kevytulkoseinät muodostavat jatkuvasti kasvavat markkinat [9]. Kevytrakentamista voidaan myös soveltaa lisärakentamiseen tai talojen peruskorjaamiseen, jolloin paino ja korkea esivalmistusaste ovat tärkeitä ominaisuuksia.



Kuva 6.28 Kuvan asuinrakennuksessa käytetään ontelolevyvälipohjaa, joka jännittää julkisivun julkisivuun. Näin syntyy avoin, joustava tila, johon voidaan rakentaa huoneistoja.



Kuva 6.29 Olemassa olevan asuinrakennuksen päällera-
kentämisessä käytettäviä moduuleja. Koska rakennelman
omapaino on matala, vältetään olemassa olevan raken-
nuksen jäykistämiseltä jne.



Kuva 6.30 Matalammissa rakennuksissa voi olla kannatta-
vaa rakentaa kantavat seinäelementit ohutlevyprofiileista.
Kantaviin seiniin kiinnitetään sitten kevyet, teräksiset väli-
pohjaelementit.



Kuva 6.32 Esivalmistettujen massatuotantoelementtien
asentaminen terästukirunkoon.



Kuva 6.31 Tasaisten, esivalmistettujen seinäelementtien
asentaminen teräsrunkoon.

Kevytrakennusjärjestelmässä käytetään seinäelementtejä ja välipohjia. Seinäelementit muodostuvat ohuista teräsp-
rofiileista valmistetuista tuista, jotka ovat 450–600 mm:n
etäisyydellä toisistaan, sekä tavallisesti kipsilevyistä. Väli-
pohja voi olla jatkuva tai vapaasti tuettu. Suurena etuna
on rakennuksen matala paino, noin 150 kg/m² (lattiapin-
taa). Runkokomponentteja kuvataan edellä kappaleessa
6.5.3 ja kappaleessa 6.6.

Seinät voidaan joko rakentaa paikan päällä, kenttätehtaas-
sa työmaalla tai tehtaassa. Esivalmistusaste vaihtelee talo-
tyypin, hyödyntämisalueen koon yms. mukaan.

KIRJALLISUUTTA

- [1] Boverkets Regelsamling för Konstruktion, Boverket (www.boverket.se)
- [2] Höglund T., Stabilisering genom skivverkan, SBI Publikation 169, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (2000)
- [3] Lorentsen M., Stabilisering av byggnader, Institutionen för Brobyggnad, Kungliga Tekniska Högskolan, Tukholma (1974)
- [4] Boverkets Byggnadsregler 2003
- [5] Anderson J., Ljudisolering i bjälklag bestående av stålbalk och håldäckselement, Rapport 160:1, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1992)
- [6] Anderson J., Ljudisolering i bostadshus med stålstomme, Publikation 144, Stålbyggnadsinstitutet (1994)
- [7] Att bygga bostäder med stål, Publikation 149, Stålbyggnadsinstitutet (1995)
- [8] Burstrand H., Lättbyggnad med stål, Publikation 164, Stålbyggnadsinstitutet (1998)
- [9] Svensson Tengberg, Charlotte, Handbok för ytterväggar Lättbyggnad med stål. Publikation 180, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (2004)
- [10] Karlström P, Flervåningsbyggnader med stålstomme. Egenskaper vid brand. SBI publikation 171, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (2002)
- [11] SBI:n (Stålbyggnadsinstitutet) Internet-sivut: www.sbi.se

INTERNET

www.sbi.se

TEKIJÄT

Tämän kappaleen on laatinut Helena Burstrand Knutsson (Stålbyggnadsinstitutet). Kappale perustuu osittain Stålbyggnad-kirjan edellisen painoksen kappaleeseen 6 (Stomsystem), jonka kirjoitti Tom Treiberg, sekä Stålbyggnad-kirjan edellisen painoksen kappaleeseen 15, jonka kirjoittivat Helena Burstrand Knutsson ja Lars Hamrebjörk.



Öresundin silta.

7. TERÄSSILLAT

Niin kauan kuin ihminen on asuttanut maapalloa, sillat ovat olleet merkinä ihmisen tahdosta saavuttaa tavoite ylittämällä tiellä olevat esteet. Sillat ovat todiste sivilisaatioiden noususta ja kukoistuksesta. Niiden suunnittelu kertoo paljon kulttuureista, jotka ovat rakentaneet ne. Sillat vaihtelevat yksinkertaisista, jotakin tiettyä tarkoitusta varten rakennetuista silloista mahtaviin siltoihin, jotka on rakennettu herättämään ihastusta ja ihmetystä.

7.1 HISTORIALLISET TERÄSSILLAT

Ironbridge

Varhaisimmissa silloissa käytettiin saatavilla olevia materiaaleja – useimmiten sillat rakennettiin puusta tai kivistä. Myöhemmin kehityksen edetessä siltarakenteissa alettiin käyttää uusia materiaaleja. Vuosina 1776–1779 Englannissa rakennettiin ensimmäinen täysin onnistunut rautasilta.



Kuva 7.1 Ironbridge.



Kuva 7.2 Kettusilta.

Sen jänneväli on 30 metriä, ja se kulkee Severn-joen yli. Silta seisoo yhä paikoillaan paikkakunnalla, joka on nimetty sillan mukaan Ironbridgeksi (ks. kuva 7.1). Yksi sillan alullepanijoista oli rautatehtailija Abraham Darby, joka uskoi siltojen muodostavan uudet markkinat tuotteilleen [1].

Széchenyi – kettusilta

Unkarin pääkaupungissa Budapestissa sijaitseva kettusilta oli ensimmäinen Tonavan yli rakennettu silta. Silta rakennettiin vuosina 1839–1849, ja sen rakennutti englantilainen W. T. Clark. Riippusiltarakenne muodostuu sokilla yhdistetyistä silmukoista, ja se muistuttaa polkupyörän ketjua. Sillan jänneväli on 203 metriä, ja sitä pidetään yhtenä maailman kauneimmista silloista (ks. kuva 7.2).

Budapestiin rakennettiin seuraava kettusilta, Elizabeth-silta, vasta vuonna 1903. Sen jänneväli on 290 metriä, ja se oli valmistuttuaan maailman pisin kettusilta. Budapestin kaikki sillat tuhoutuivat toisen maailmansodan aikana. Sodan jälkeen ne rakennettiin uudelleen, ja nykyisin Elizabeth-sillassa on riippukaapelit. Teräskaapelit ovat nykyisin syrjäyttäneet täysin ketturakenteet.

Brooklyn Bridge

Vuonna 1867 Johann Roebling saapui New Yorkiin rakentamaan Brooklynin siltaa. Roebling oli mestarillinen sillanrakentaja. Hän oli aikaisemmin korvannut riippusiltarakenteissa hammuköydet punotuilla teräskaapeleilla. Hän oli myös ensimmäinen, joka rakensi aerodynaamisesti vakaita



Kuva 7.3 Brooklynin silta.



Kuva 7.4 Firth of Forthin silta.



Kuva 7.5 Golden Gate -silta.



Kuva 7.6 Majorsviken-lahden yli kulkeva silta (Ruotsissa), jossa liittokotelo. Alareuna on paraabelin muotoinen.

siltoja käyttämällä jäykistäviä elementtejä ja diagonaalisia ripustuksia. Roebing kuoli kahden vuoden kuluttua saapumisestaan New Yorkiin, ja hänen vanhin poikansa Washington Roebing ryhtyi jatkamaan isänsä työtä.

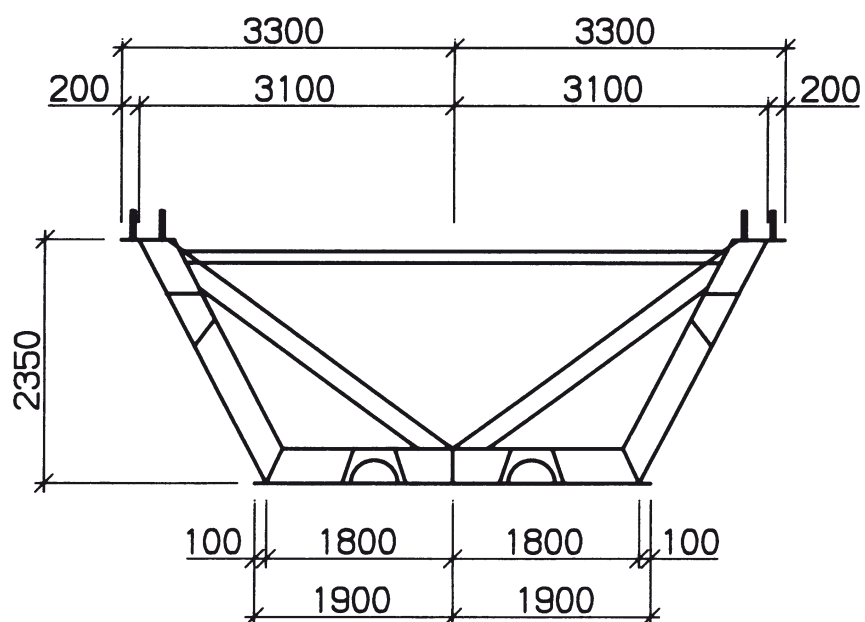
Brooklynin siltaa alettiin rakentaa vuonna 1870, mutta hankkeeseen liittyi useita vastoinkäymisiä. Perustustöiden aikana Washington Roebing sai korkeapainekasunissa sukeltajantaudin ja halvaantui. Hän joutui valvomaan rakennustyötä asunnostaan käsin kiikareiden avulla. Hänen vaimonsa toimi viestinviejänä kodin ja rakennustyömaan välillä. Silta valmistui lopulta vuonna 1883, ja se on edelleen käytössä (ks. kuva 7.3). Brooklynin sillan jänneväli on 486 metriä, ja se oli ensimmäinen riippusilta, jossa terästä käytettiin sekä kaapeleissa että päällysrakenteessa. Siltaa pidettiin pitkään maailman kahdeksantena ihmeenä.

Firth of Forthin silta

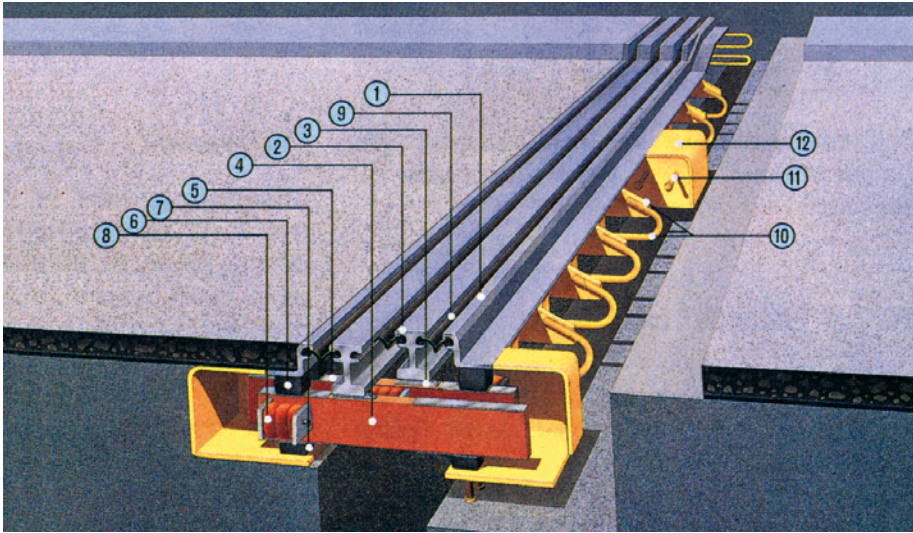
Rautatiet kehittyivät 1800-luvulla, ja niiden mukana syntyi tarve rakentaa rautatiesiltoja. Vuosina 1883–1890 Skotlantiin rakennettiin rautatiesilta Firth of Forthin yli (ks. kuva 7.4). Sen rakennuttivat John Fowler ja Benjamin Baker. Sillan kaksi suurinta kaartta ovat kummatkin 521-metrisiä. Rakennus on konsoliristikkosilta, jossa keskikaari on aidattu. Silta rakennettiin ilman telineitä perustojen molemmista päistä, minkä jälkeen päät yhdistävät keskiosat nostettiin ylös ja asennettiin. Firth of Forth -sillassa on noin 51 000 tonnia terästä. Noin 8 prosenttia sen painosta muodostuu 6,5 miljoonasta niitistä, joita käytettiin sen liitoksissa.

Golden Gaten silta

Vuonna 1916 suunniteltiin ensimmäisen kerran vakavasti sillan rakentamista San Franciscoon Golden Gaten yli. Sillan rakentamistyöt päästiin kuitenkin aloittamaan vasta



Kuva 7.7 Liittopalkkisillan kotelopalkin poikkileikkaus. Huomaa horisontaalinen tanko ja kaksi diagonaalista tankoa, jotka muodostavat vinojäykisteen.



Kuva 7.8 Ylikulurakenne.

1. Reunaprofiili
2. Lamelli
3. Liitoskappale
4. Poikkipalkki
5. Liukupiki
6. Liukujousi
7. Liukulaakeri
8. Ohjausjousi
9. Tiivisteprofiili
10. Ajorata-ankkurointi
11. Hitsattu pultti
12. Poikkipalkkikotelo

17 vuotta myöhemmin, koska siltahankkeen pääinsinöörin Joseph Straussin oli vakuutettava niin yleisö kuin poliitikotkin siitä, että Golden Gaten yli oli tarpeen rakentaa silta. Joseph Strauss järjesti myös hankkeen rahoituksen. Straussilla oli avustaja, Clifford Paine, joka hoiti suurimman osan rakennustyöstä ja teki tärkeimmät sillan suunnittelua koskevat päätökset.

Golden Gate -sillan rakentaminen aloitettiin tammikuussa 1933. Silta vihittiin käyttöön 27. toukokuuta 1937. Tuolloin sillan jänneväli, 1 281 metriä, oli maailman pisin (ks. kuva 7.5) [3].

7.2 YLEISTÄ SILLOISTA

Ruotsin valtiollisessa ja kunnallisessa tieverkostossa on nykyään noin 14 000 tiesiltaa (Tukholmaa ja Göteborgia ei ole laskettu mukaan). Näistä silloista noin 15 prosenttia on terässilloja ja 80 prosenttia betonisilloja. Jäljelle jäävät 5 prosenttia ovat kivi- ja puusilloja.

Ruotsin tielaitos on julkaissut Bro 2004 -teoksen [4], joka sisältää Ruotsin tielaitoksen toiminta-alueeseen kuuluvien siltojen suunnittelua, rakennetta ja rakentamista

koskevat vaatimukset. Sillalla tarkoitetaan tässä yhteydessä rakennetta, jonka suuaukot ovat avoimet ja jonka suurin jänneväli on yli 2,0 metriä.

Rautatiesilloja valtiollisessa verkossa on noin 3 500. Niistä noin 20 prosenttia on terässilloja. Rautatiesiltoihin sovelletaan myös Bro 2004 -määräyksiä (muutoksin) sekä Banverketin julkaisemaa BV Bro VS 582.10 -standardia [5].

Eurooppalaiset rakennusstandardit, eurokoodit, korvaavat vähitellen vanhat mitoitusmääräykset. Eurokoodi 3 koskee teräsrakenteita ja eurokoodi 4 liittorakenteita. Kukin eurokoodi koostuu monesta osasta. Eurokoodi 3:n ja 4:n osissa 2 käsitellään teräs- ja liittopalkkisilloja.

Silloja voidaan jaotella eri perustein. Sillat voidaan erotella toisistaan liikennetyypin mukaan esimerkiksi tiesiltoihin, rautatiesiltoihin tai jalankulkusiltoihin. Toinen jaotteluperuste on siltojen rakennusmateriaali: sillat voivat olla esimerkiksi teräs- tai betonisilloja. On myös tavallista, että sillat jaotellaan rakenteensa perusteella esimerkiksi palkki-, kaari- tai kaapelisiltoihin. Tässä kappaleessa esitellään eri tavoin rakennettuja terässilloja.



Kuva 7.9 Maatuki ja siipimuuri.



Kuva 7.10 Esimerkki liikkuvasta siltalaakerista.

7.3 TERÄSPALKKISILLAT

Palkkisillat kantavat sillan vertikaalisen kuorman taipumalla, ja kuorma siirtyy eteenpäin perustukseen.

7.3.1 Palkkisillan osat

Palkkisillan rakenteet jaetaan tavallisesti alus- ja päällysrakenteisiin. Bro 2004 -julkaisun mukaan alusrakenteen muodostavat ne sillan osat, jotka sijaitsevat laakerin tai pilarin yläreunan alapuolella peruslaattaan asti. Päällysrakenteisiin kuuluvat alusrakenteen yläpuoliset osat.

Päällysrakenne

Päällysrakenteeseen kuuluvat sillan kansilaatta, joka on useimmiten lujitettua betonia. Betoniiseen siltalaattaan tulee yläpuolelle vesitiivis asfalttimastiksieriste, eristysmatto tai eristyskalvo. Eristys suojaa sillan kansilaattaa vaurioilta, joita kosteus, pakkanen tai tiesuola voisivat aiheuttaa. Tämän jälkeen lisätään suojakerros, sidekerros ja lopuksi vielä kulutuskerros.

Sillan kansilaatta on pääpalkkien varassa. Ne voivat olla terästä tai betonia. Pääpalkeilla voi myös olla koteloprofiili (ks. kuva 7.7). Koteloprofiili tekee rakenteesta jäykän. Siksi sitä käytetään usein kaarevatasoisissa silloissa, joihin kohdistuu vääntömomentti. Jos pääpalkit ovat terästä, ne ovat melkein poikkeuksetta karkealevystä hitsattuja profiileja. Valssattuja profiileja käytetään Ruotsissa harvoin.

Pääpalkeissa käytetään tavallisimmin mikroseosterästä, jonka $f_{yk} = 355\text{--}420$ MPa. Termomekaanisen valssatun teräksen ($f_{yk} = 500$ MPa) käyttö yleistyy kuitenkin koko ajan. Erittäin lujan teräksen käytöstä koituu seuraavia etuja:

- materiaalinkulutus pienenee
- hitsatustyön määrä vähenee, koska levyistä voidaan tehdä ohuempia
- maalattava pinta-ala ruostesuojausta yms. varten pienenee.

Jotta pääpalkit kestävät tuulen ja muut siltaan kohdistuvat sivuttaisvoimat, ne yhdistetään vinojäykisteellä. Näin nämä voimat voidaan siirtää siltalaakereihin.

Silta altistuu lämpötilavaihteluille, mikä tarkoittaa, että sen pituus laajenee tai pienenee. Jotta silta voi liikkua, käytetään liikuntasauvoja (ks. kuva 7.8) Ne voidaan valmistaa eri tavoin, ja niiden muoto voi vaihdella. Yleisesti liikuntasauvoja on kuitenkin pyrittävä välttämään aina kun mahdollista, koska ne vaativat huoltoa. Liikuntasauvojen käyttöä pystytään välttämään erityisesti lyhyissä silloissa, joissa liikkeet ovat pieniä.



Kuva 7.11 Liittopalkkisilta, jonka ylälaipassa on hitsattuja pultteja.



Kuva 7.12 Liittopalkkisilta, jossa käytetään esivalmistettuja betonielementtejä.

Alusrakenne

Vapaasti tuetussa palkkisillassa eli yksijänteisessä sillassa alusrakenne muodostuu maatuista (ks. kuva 7.9), joiden tehtävänä on kannatella kansirakennetta ja muodostaa liitos tienpenkkaan. Siipimuurit estävät tien penkkaa puotomasta maatuen viereltä.

Pääpalkkeja ei lasketa suoraan maatuken varaan vaan siltalaakerille (ks. kuva 7.10). Näin on mahdollista, että sillan pituus tai kulma muuttuu vapaasti esimerkiksi lämmön tai liikennekuorman vaikutuksesta. Laakeri voi olla joko kiinteä tai liikkuva. Kiinteissä laakereissa vain kulma voi muuttua, ja siksi niissä kansirakenne kiinnittyy maatukeen ja ne ottavat vastaan horisontaaliset voimat, kuten liikenteen jarrutusvoiman. Laakeri on tavallisesti terästä tai kumia.

Jatkuvassa sillassa (monijänteisessä sillassa) kansirakenne ei ole ainoastaan maatuken vaan myös pilarien varassa. Siksi on tavallista, että kiinteä laakeri asetetaan sillan keskikohdassa sijaitsevan pilarin päälle. Näin sillan pituusvaihtelut jakaantuvat tasan maatuken välille.

7.3.2 Liittopalkkisillat

Liittopalkkisilloista, joissa on teräspalkit ja betoninen kansilaatta, on tullut Ruotsissa tavallinen siltatyypin. Liittorakenne saadaan aikaan käyttämällä hitsattuja pulttivaarvoja (ks. kappale 14.2.2). Tällä tavoin teräspalkit ja siltalaatta saadaan toimimaan yhtenäisenä kuormaa kannattelevana yksikkönä. Bro 2004 -julkaisun mukaan teräspalkkisillat, joissa on betoninen sillankansi, on tehtävä niin, että palkit ja betoni liitetään täysin yhteen (ks. kuva 7.11). Vapaasti tuetuissa tiesilloissa sekä kävely- ja pyöräilytiloissa tämä ei kuitenkaan ole välttämätöntä. Termin *hitsauspultti* sijasta käytetään joskus englanninkielistä termiä *stud*.

Liittopalkkisillat ovat järkevä ja taloudellinen tapa rakentaa. Näiden vaikutusten lisäämiseksi sillankansi voidaan myös tehdä esivalmistetuista betonielementeistä (ks. kuva 7.12).

Pienemmissä liittopalkkisilloissa on usein kynnysmuurit (otsamuurit) ja liikkuvat laakerit sillan molemmissa päissä. Kynnysmuureihin kohdistuva maanpaine tasapainottuu horisontaalisten kuormien siirtyessä sillalle. Näin vältetään liikuntasaumia, mikä vähentää huoltotarvetta (ks. kuva 7.13).



Kuva 7.13 Liittopalkkisilta, jossa on kynnysmuurit.



Kuva 7.14 Sillankansiele-
mentti riippusiltaan, jossa
on ortotrooppinen
kansirakenne.

Venezuelaan on rakennettu liittopalkkisilta, jonka jänneväli on 214 metriä. Ruotsissa liittopalkkisiltojen jänneväli on kuitenkin tavallisesti 20–70 metriä, ja pisin jänne on 125 metriä.

7.3.3 Teräspalkkisilta, jossa on teräsajorata

Vaihtoehto liittopalkkisilloissa käytetylle betoniselle ajoratalaataalle on ortogonaalis-anisotrooppinen (lyhennetty, ortotrooppinen) ajorata. Käsite *ortogonaalis-anisotrooppinen* viittaa siihen, että teräsajorata on jäykempi sillan pituussuunnassa kuin poikkisuunnassa. Tämä saadaan aikaan pitkittäisillä jäykisteillä, jotka estävät teräslevyä lommah- tamasta puristusjännityksessä. Palkkisillat, joissa on ortotrooppinen teräsajorata, ovat erittäin epätavallisia Ruotsissa, koska niiden rakentaminen maksaa liittopalkkisiltojen rakentamista enemmän (ks. kuva 7.14). Siksi niitä käytetään vain silloin, kun halutaan kevyt siltarakenne, esimerkiksi avattavissa silloissa tai hyvin pitkäjänteisissä silloissa, kuten riippusilloissa tai vinoköysisilloissa.

7.3.4 Ristikkosillat

Jännevälien ollessa pitkät ja kuormien suuret pääpalkkien omapainosta tulee suuri. Silloin pääpalkkien painoa on hyvä pyrkiä keventämään. Sillan omapaino voidaan haluta pitää pienenä myös muista syistä, esimerkiksi jos kyse on avattavista silloista tai asennettavista sotilassilloista. Asia voidaan ratkaista niin, että pääpalkit tehdään ristikoista. Tämä silta- tyyppi ei ole kovin tavallinen Ruotsissa (ks. kuva 7.15). Syy- nä on se, että ristikkopalkkien rakennuskustannukset ovat suuret solmukohtien suuren määrän vuoksi. Yksi maailman pisimmistä ristikkosilloista on Yhdysvalloissa Columbia River -joen yli rakennettu Astoria Bridge. Se on 6 613 metriä pitkä, ja sen suurin jänneväli on 375 metriä (ks. kuva 7.16).

7.3.5 Palkkisiltojen työntömenetelmä

Teräspalkkisillat asennetaan usein työntömenetelmällä. Tämä tarkoittaa, että pääpalkit asennetaan ensin maatuelle, ja työn- netään sen jälkeen aukon ylitse nostureiden avulla [7].

Sillan päähän asennetaan asennusuloke työtä helpotta- maan (ks. kuva 7.17).



Kuva 7.15 Ristikkosilta.



Kuva 7.16 Yhdysvalloissa Columbia-joen yli kulkeva Astoria-silta on yksi maailman pisimmistä ristikkosilloista.

7.4 TERÄKSISET KAARISILLAT

Kaarimuodolla on hyvin pitkät perinteet rakennustekniikassa. Vanhin muodoista on puoliympyrän muoto, jonka jo babylonialaiset tunsivat ja jota myös roomalaiset, kreikkalaiset ja etruskit käyttivät. Kaaret valmistettiin usein kivestä tai niitä käytettiin seinärakenteissa, jotka eivät kestäneet vetojännitystä. Tällä tavoin kaarimuotoa kehitettiin niin, että kaareen kohdistuu vain keskeistä puristusta. Nykyisin kaaria käytetään pitkissä jänneväleissä, esimerkiksi silloissa ja urheiluhalleissa (ks. kuva 7.18).

Siltojen kuormitus on liikkuvaa. Kaariin kohdistuvaa momenttirasitusta ei voida välttää, mutta pääasiallisesti kaarisilta kantaa kuorman kaaren keskeisen puristuksen kautta. Ajourata voi kulkea joko kaarien päällä tai niiden välissä. Kaaret voidaan tehdä joko massiiviosasta tai ristikkosta.

Kaari voidaan toteuttaa nivelettömänä, kaksinivelisenä tai kolminivelisenä kaarena (ks. kuva 7.19, jossa on myös kaariin liittyviä tavallisia käsitteitä).

Jos perustusolosuhteet ovat hyvät, niveletön kaari on tavallisesti paras vaihtoehto, koska sen käyttö vähentää

kaarisiin tarvittavan materiaalin määrää. Jos jänneväli on pieni tai perustusolosuhteet ovat huonot, kolminivelinen kaari voi olla sopiva vaihtoehto, koska painumat eivät vaikuta siihen.

Eriytynen kaarisiltatyypin, jota on käytetty paljon Ruotsissa Norlannin läänissä, on langer-palkkisilta (ks. kuva 7.20). Siinä vetotanko yhdistää kaaren kannat. Vetotanko muodostuu sillan pääpalkeista. Palkit on yhdistetty kaariin riipputangolla. Tämä siltatyypin on kevyt konstruktio, jossa jänneväli on pitkä ja joka soveltuu käyttöön hyvin silloin, kun joissa uitettiin puutavaraa. Tukeen kohdistuu ainoastaan vertikaalista kuormitusta, mikä on edullista silloin, kun perustusolosuhteet ovat huonot. Langer-palkkisillat ovat kuitenkin muuttuneet yhä harvinaisemmiksi koska niiden ylläpitäminen on kallista ja koska tarve rakentaa pitkiä jännevälejä on vähentynyt, kun joissa ei enää uiteta puuta.

Teräksisten kaarisiltojen suurimmat jännevälit ovat noin 500-metrisiä. Esimerkkinä voidaan mainita Länsi-Virginiassa, Yhdysvalloissa oleva New River Gorge Bridge -silta, jonka jänneväli on 518 metriä, sekä Australiassa oleva Syd-



Kuva 7.17 Pääpalkkien lanseeraaminen.



Kuva 7.18 Västerbron-silta Tukholmassa.

ney Harbor Bridge, jonka jänneväli on 503 metriä. Maailman pisin kaarisilta, Lupu Bridge, sijaitse Shanghaissa. Sen jänneväli on 550 metriä.

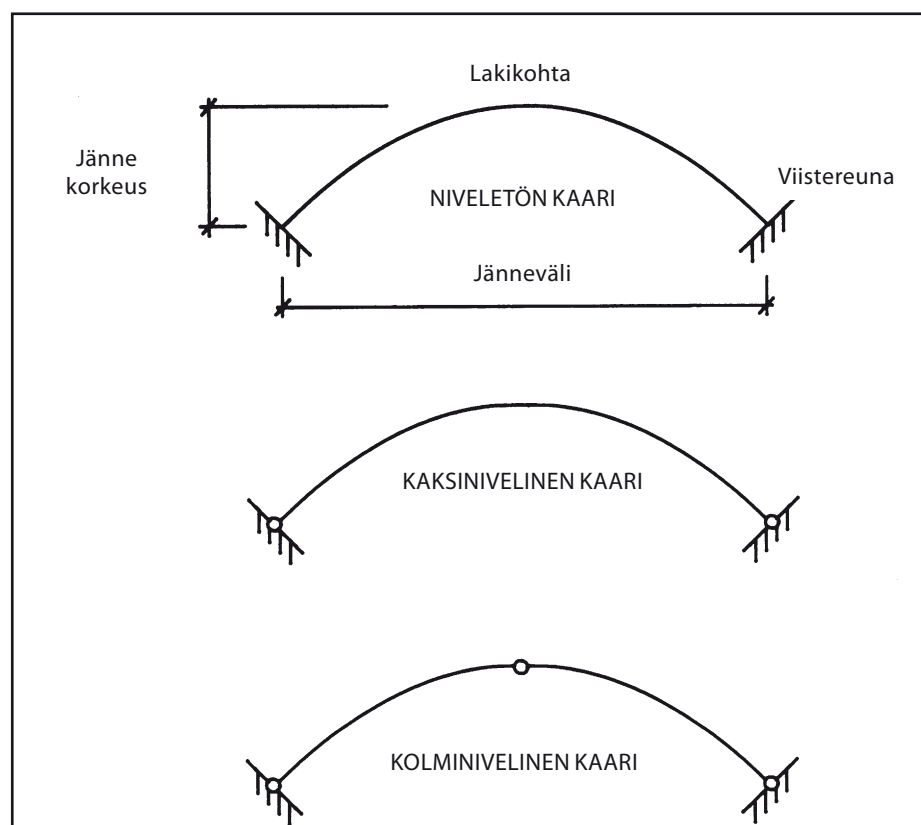
7.5 KAAPELISILLAT

Kaapelisilloja käytetään, kun jännevälin on oltava suuri. Kaapelisillat voidaan jakaa kahteen tyyppiin [9]:

- vinoköysisiltoihin
- riippusiltoihin.

7.5.1 Vinoköysisillat

Jo muinaiset egyptiläiset käyttivät vinoon asennettuja köysiä kiinnittäessään mastopuomeja purjelaivoihinsa. Samaa menetelmää alettiin käyttää myös siltojen rakentamisessa. Vielä niin myöhään kuin 1800-luvun alussa rakentajat eivät osanneet laskea oikein köysiin kohdistuvia voimia, minkä vuoksi monet sillat taipuivat voimakkaasti tai romahtivat. Tästä syystä vinoköysisillat olivat harvinaisia 1900-luvun alkuun asti, jolloin niiden toimintatapaa alettiin ymmärtää paremmin. 1950-luvulta alkaen vinoköysisillat ovat kehittyneet nopeasti, etenkin Saksassa. Saksalaisyritys Demag rakensi Ruotsiin Strömsundin sillan vuonna 1955, joka oli ensimmäinen nykyaikainen vinoköysisilta (ks. kuva 7.22).



Kuva 7.19 Esimerkkejä erilaisista kaarityypeistä.



Kuva 7.20 Langerpalkkisilta.

Nykyaikaiset teräsiset vinoköysisillat rakennetaan jäykiste-palkeista, ja ajoratana käytetään ortotrooppista laattaa. Jäykistepalkkeja tuetaan vinoköysillä, jotka puolestaan kiinnittyvät pyloneihin (torneihin). Vinoköydet voidaan järjestää eri tavoin, esimerkiksi radiaalisesti tai paralleelisesti (ks. kuva 7.23). Ne voidaan vaihtaa, jos niissä ilmenee korroosiovaurioita.

Ruotsissa Öresundin ja Uddevallan sillat ovat kaksi esimerkkiä nykyaikaisista vinoköysisilloista (ks. kuva 7.21). Öresundin silta on maailman pisin vinoköysisilta, jolla

kulkee sekä rautatie että moottoritie. Öresundin silta on kaiken kaikkiaan 7 845 metriä pitkä. Siinä on 1 092 metriä pitkä korkeasiltaosa, ja sen suurin jänneväli on 490 metriä. Pylonit ovat 204-metrisiä, ja ne ovatkin Ruotsin toiseksi korkeimmat rakennelmat. Sillankansi tehtiin teräsristikorakenteesta. Moottoritie tuli siltakonstruktion päälle ja rautatie ristikkorakenteen sisään. Yhteensä 82 000 tonnia painava teräsrakennelma rakennettiin osissa Ruotsissa ja Espanjassa, ja se koottiin 120–140 metriä pitkiksi sillankannen osiksi Malmön satamassa. Sillankannen osat nostettiin paikoilleen ponttoninosturin avulla ja kiinnitettiin



Kuva 7.21 Uddevallan silta (Ruotsissa) on esimerkki vinoköysisillasta. Uddevallan sillan kokonaispituus on 1 712 metriä, ja suurin jänneväli on 414 metriä.



Kuva 7.22 Strömsundin silta (Ruotsissa).

80 kaapeliparilla kummastakin pyloninjalasta (ks. kuva 7.24). Jokainen kaapeli muodostui 68–73 vaijerista, jotka puolestaan muodostuivat seitsemästä langasta. Jokaisen langan halkaisija on 5 mm. Öresundin sillan kaapeleiden yhteenlaskettu pituus on noin 25 kilometriä [10].

Ranskassa Pont de Normandie -sillan jänneväli on 856 metriä, ja Japanissa Tatara Bridge -sillan jänneväli on 890 metriä. Hongkongiin rakennetaan maailman pisintä vinoköysisiltaa nimeltä Stonecutters Bridge. Sen jänneväli on 1 018 metriä.

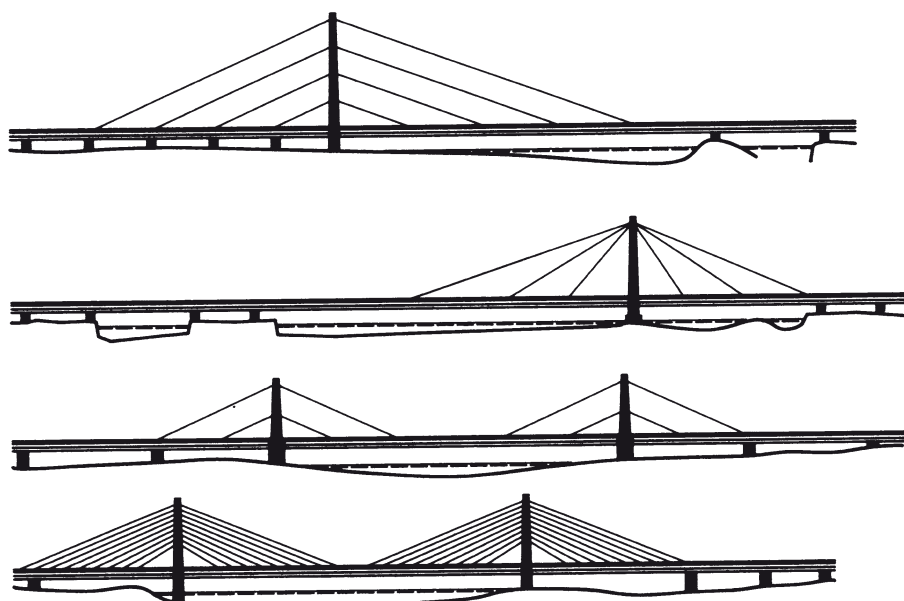
7.5.2 Riippusillat

Riippusilloilla (ks. kuva 7.25) saadaan aikaan kaikkein pisimmät jänneväli. Riippusilta muodostuu samoista osista kuin vinoköysisilta, mutta eroaa siitä siten, että kaapelit riippuvat paraabelin muotoisina ja kiinnittyvät pyloneiden taakse betoniankkureihin (ks. kuva 7.26). Riippusiltojen toimivuutta käsitellään muun muassa viitteessä [11].

Kun pylonit ja ankkurit on rakennettu valmiiksi, pylonien väliin kiinnitetään jalankulkusilta. Tätä kutsutaan nimellä *catwalk*. Tämän jälkeen alkaa riippuköysien valmistus. Ne muodostuvat teräslangasta valmistetuista osista.

Perinteisen valmistusmenetelmän mukaan toisen ankkurin luona olevasta suuresta teräslankakelasta kelataan lankaa, joka kuljetetaan pylonien poikki toiseen ankkuriin. Sitten lanka kierretään ankkurin ympärille ja kuljetetaan takaisin pylonien poikki ensimmäiseen ankkuriin. Lanka kierretään tämän ankkurin ympärille. Tämän jälkeen lankaa kuljetetaan edestakaisin ankkurien välillä, kunnes sitä on riittävästi yhtä osaa varten. Menetelmä toistetaan, kunnes kaapelin kaikki osat ovat valmistuneet. Sitten osat painetaan yhteen hydraulisella laitteella, niin että ne muodostavat pyöreänmallisen riippukaapelin. Kaapelit suojataan polyeteeni- tai teräsvaipalla.

Golden Gate -sillan kaapelit valmistettiin tällä tavalla. Jokainen osa muodostuu 256–462 langasta, jonka halkaisija



Kuva 7.23 Esimerkkejä erilaisista vinoköysisilloista.



Kuva 7.24 Öresundin sillan kansiosia nostetaan paikoilleen.

on 5 mm. Kukin kaapeli muodostuu 61 osasta. Riippukaapelien valmistus vei yli puoli vuotta. Nykyisin käytettävissä on muunneltuja menetelmiä, joissa jokainen osa esivalmistetaan kaapelin valmistamisen nopeuttamiseksi.

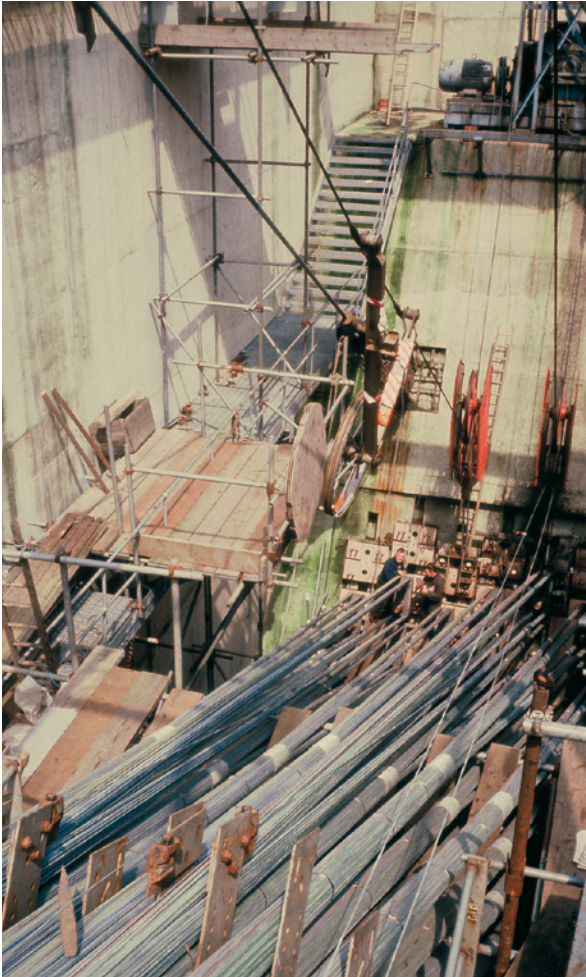
Tuuli vaikuttaa riippusiltoihin voimakkaasti. Jos ne suunnitellaan väärin, jäykistepalkit voivat alkaa heilua ja aiheuttaa pahimmassa tapauksessa rakenteen romahtamisen. Siksi on tavallista, että jäykistepalkit ovat aerodynaamisesti muotoiltuja (ks. kuva 7.27).

Edellä mainitusta syystä on hyvin tärkeää tehdä riippusillat tuulitunnelitesti.

Riippusiltojen jännevälit voidaan rakentaa hyvin pitkiksi. Tanskassa Iso-Beltin silta yhdistää Fynin ja Själlannin. Se on 1 624 metriä pitkä (ks. kuva 7.28). Maailman pisin riippusilta on Akashi Kaikyo Bridge Japanissa. Sen jänneväli on 1 990 metriä (ks. kuva 7.29). Italiassa suunnitellaan riippusillan rakentamista Messinansalmen yli mannermaan ja Sisilian välille. Sillan jänneväli olisi 3 300 metriä. Siltaan tulisi paitsi autotie mahdollisesti myös junarata. Jänneväli on teoriassa mahdollinen, mutta kustannuksista tulisi erittäin suuret. Myös tavoite saada näin pitkälle sillalle junaliikennettä on todellinen haaste. Tämänhetkinen ennätys on 1 100 metriä, ja kyseinen silta löytyy Japanista.



Kuva 7.25 Högabron on Ruotsin pisin riippusilta. Sen kokonaispituus on 1 800 metriä, ja kahden 180 metriä korkean pylonin (siltapilarin) välinen jänneväli on 1 210 metriä.



Kuva 7.26 Ankkuri riippusiltaan.



Kuva 7.27 Aerodynaamisesti suunniteltu sillankansirakenne.



Kuva 7.28 Iso-Beltin silta.



Kuva 7.29 Akashi Kaikyo, maailman pisin riippusilta.

KIRJALLISUUTTA

- [1] Wittfoht H., Building Bridges, History-Technology-Construction, Beton-Verlag (1984)
- [2] Troitsky M. S., Cable-Stayed Bridges, Second Edition, BSP Professional Books (1988)
- [3] Cassady S., Spanning the Gate, The Golden Gate Bridge, Squarebooks Inc. (1986)
- [4] Vägverket, Bro 2004, Vägverket, Borlänge (2004)
- [5] Banverket, BV Bro, BVS 583.10, remissutgåva, Banverket, Borlänge (2004)
- [6] Lyckeberg R., Brobyggnadsteknik, Svenska Bokförlaget (1964)
- [7] Handboken BYGG, band K, Konstruktionsteknik, Liber Förlag (1986)
- [8] Lorentsen M., Bågar, Institutionen för Brobyggnad, Tukholma (1976)
- [9] Gimsing N., Cable Supported Bridges, Concept and Design, John Wiley & Sons (1983)
- [10] Gimsing N., The Bridge (The Öresund Technical Publications), Öresundkonsortiet (2001)
- [11] Lorentsen M., Hängkonstruktioner, Institutionen för Brobyggnad, Tukholma (1982)

INTERNET

www.buildingbig.com
www.greatbuildings.com
www.bridgepros.com

TEKIJÄT

Alkuperäisen kappaleen Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen on kirjoittanut Frank Axhag (Banverket), joka työskenteli tuolloin SBI:ssä. Hän on myös uudistanut tämän painoksen kappaleen.



Teräsrakennedetalji.

8. DETALJISUUNNITTELU

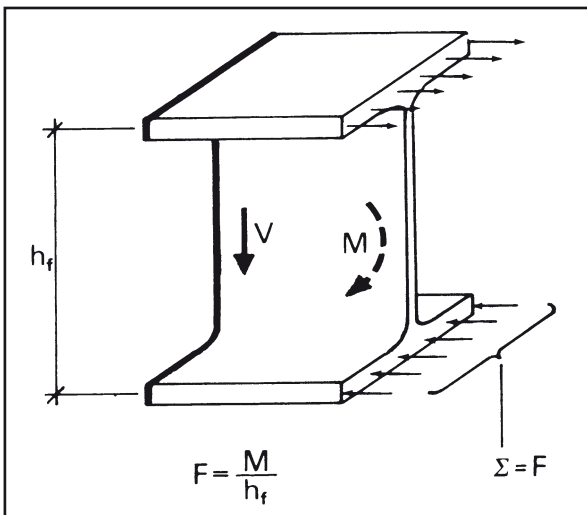
Teräsrakenteiden detaljeilla tarkoitetaan palkkien, pilareiden ja tankojen välisiä liitoksia. Näiden kohtien toteuttaminen ja mitoittaminen muodostaa suuren osan suunnittelutyöstä. Etenkin kun kyse on julkisissa tiloissa näkyvillä olevista teräsdetaljeista, niiden ulkonäöllä on merkitystä. Yksityiskohta, jonka ulkoasu on suunniteltu huolella, lisää teräsrakennelman esteettistä arvoa ja korostaa teräsrunkoa.

Myös huomattava osa valmistus- ja asennuskustannuksista voi liittyä detaljeihin. Detaljien suunnittelu vaikuttaa muiden asioiden, kuten palontorjunnan, rungon täydennysosien ja johdotusten kustannuksiin. Siksi detaljien suunnitteluun on syytä kiinnittää paljon huomiota.

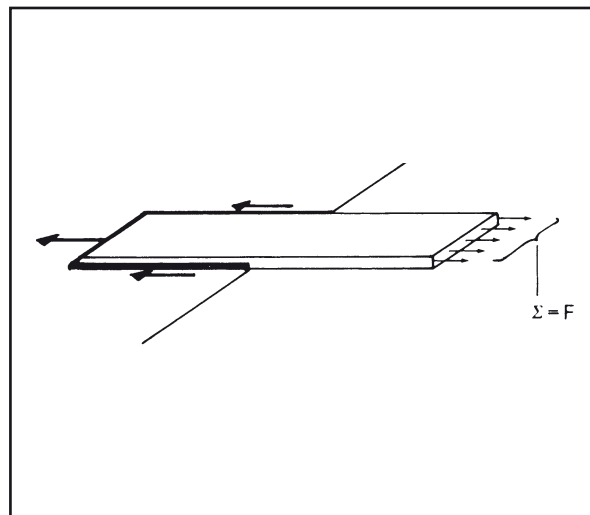
Teräsrakennedetalji voi liittyä johonkin seuraavista asioista:

- pilarin pohjalevy
- pilarijatkos
- palkki-pilarikiinnitys
- pilarin pää
- palkkijatkos
- palkki-palkkikiinnitys
- tankokiinnitys.

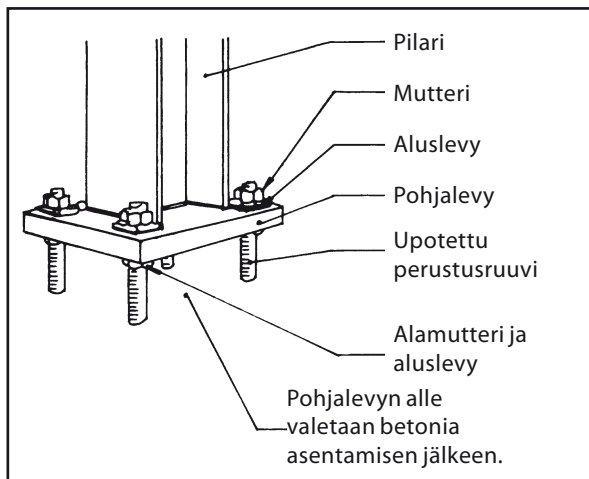
Tässä kappaleessa tutustutaan edellä mainittuihin detaljeihin yleispiirteittäin. Lisätietoja aiheesta löytyy teräsrakennedetaljeja käsittelevästä SBI:n käsikirjasarjasta, viitteet [1]–[7]. Tässä kirjassa ei käsitellä väsymismitoitusta. Väsymisen valvontaa koskevia sääntöjä löytyy eurokoodi 3:n osasta 1-9.



Kuva 8.1 I-palkin hitsikiinnityksen laskentamalli. Momentti korvataan laippoihin kohdistuvalla voimaparilla.



Kuva 8.2 Vedetyn lattatangon hitsikiinnityksen laskentamalli. Voima jakautuu hitseihin kantokyvyn mukaan.



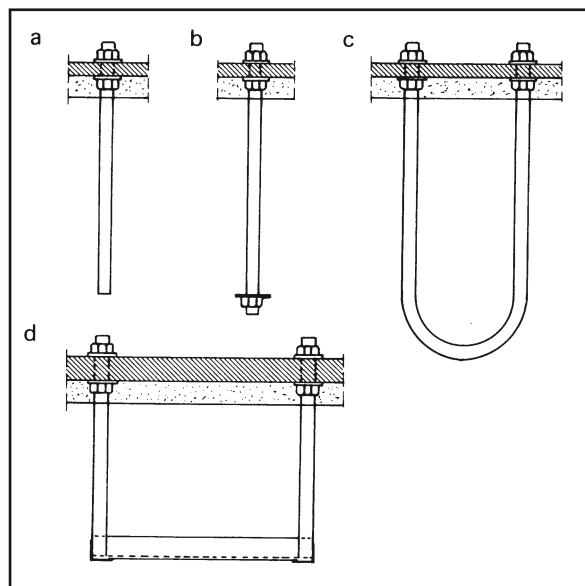
Kuva 8.3 Tavallinen pilarin pohjalevy.

8.1 MITOITUS

Detaljien mitoitus eroaa palkkien ja pilarien mitoitukselta. Perusteoriaa, jossa venymän oletetaan jakautuvan tasaisesti koko poikkipintaan, ei voida soveltaa suoraan paikalliseen alueeseen, jossa detaljiin kohdistuu kuormitusta. Kyseinen alue on samaa kokoluokkaa kuin poikkileikkausmitta. Sen sijaan laaditaan yksinkertaistettuja laskentamalleja, joissa otetaan huomioon tasapainoehdot ja kuvataan kohtuullisella tavalla voimien vaikutusta liitokseen. Tässä edellytetään voimien ja momentin tiettyä uudelleen jakautumista liitokseen ja liitettyihin osiin. Näin voidaan tehdä teräksen korkean muodonmuutoskyvyn vuoksi.

Kuvassa 8.1 näkyy esimerkki tavallisen kiinnityksen laskentamallista. I-palkkiin kohdistuva momentti korvataan tavallisesti laippoihin kohdistuvalla voimaparilla. Voima kertaa vipuvarsi on yhtä kuin momentti. Sivuttaisvoiman oletetaan vaikuttavan ainoastaan uumaan ja aiheuttavan siihen tasaisesti jakautuvaa leikkausrasitusta. Liitos mitoitetaan nämä voimat huomioon ottaen.

Toinen esimerkki siitä, kuinka voiman kulkeutumista hyödynnetään, on kuvan 8.2 mukaisesti kiinnitetty lattasauva. Kiinnitetyn sauvan venymien vuoksi jännitykset kasvavat niissä hitsiosissa, jotka ovat lähinnä ulkoista voimaa. Mur-



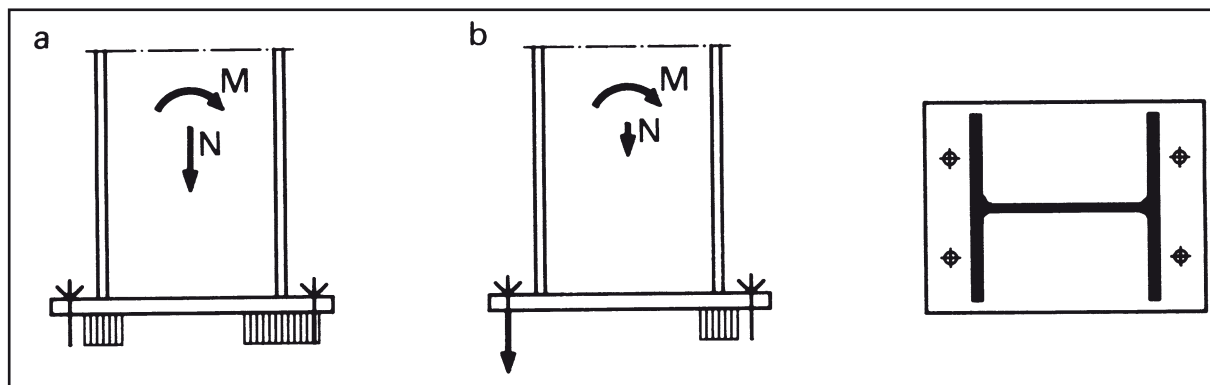
Kuva 8.4 Eri tapoja ankkuroida upotettuja perustusruuveja. a) Täyskierteinen ruuvi ankkuroituu tarttumalla betoniin. b) Ruuvi ankkuroidaan mutterilla ja aluslevyllä. c) Ruuvit taivutetaan U-sangoiksi. d) Ruuvit ankkuroidaan ja kiinnitetään keskenään kiinnihitsattujen latta- tai kulmatankojen avulla.

torajatilassa hitsiin syntyy pieniä plastisia venymiä, ja jännitykset jakautuvat uudelleen. Jos hitsit eivät ole liian pitkiä, voidaan olettaa, että hitsiryhmän kantokyky on yhtä suuri kuin kaikkien osahitsien yhteenlaskettu kantokyky.

Detalji kiinnitetään hitsaus- tai ruuviliitoksella. Liitosmenetelmän valintaan vaikuttaa monta tekijää (ks. kappale 4). Konepajoilla käytetään poikkeuksetta hitsiliitoksia ja rakennuspaikoilla useimmiten ruuviliitoksia.

8.2 PILARIN POHJALEVY

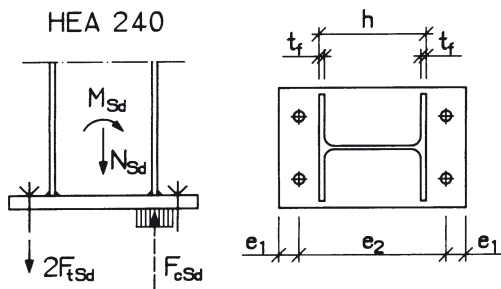
Pilarin ja peruskonstruktion välistä liitosta kutsutaan pilarin pohjalevyksi. Kuvassa 8.3 näkyy tavallisin pohjalevytyyppi. Pohjalevy hitsataan pilariin pilarin ympäri kulkevalla pienahitsillä. On taloudellista tehdä pohjalevystä niin paksu, ettei sitä tarvitse vahvistaa jäykistelevyillä. Ankkurointi perustuksiin tehdään usein käyttämällä upotettuja



Kuva 8.5 Jäykästi kiinnitetyn pilarin pohjalevyn laskentamalli. a) Suuri normaalivoima ja pieni momentti. b) Pieni normaalivoima ja suuri momentti.

ESIMERKKI 8.1

Laske pohjalevyn ruuvivoima F_{tSd} ja kokonaispuristusvoima F_{cSd} .



$$M_{Sd} = 110 \text{ kNm}$$

$$N_{Sd} = 600 \text{ kN}$$

Kokonaispuristusvoiman voidaan olettaa vaikuttavan keskisesti puristuksessa olevan pilarinlaipan alla. Voimat lasketaan tasapainoyhtälöiden avulla.

$$M_{Sd} = N_{Sd} \frac{(h - t_f)}{2} + 2 F_{tSd} \left[\frac{e_2}{2} + \frac{(h - t_f)}{2} \right]$$

$$110 = 600 \frac{(0,230 - 0,012)}{2} + 2 F_{tSd} \cdot \left[\frac{0,330}{2} + \frac{(0,230 - 0,012)}{2} \right]$$

$$110 = 65,4 + 0,548 F_{tSd}$$

$$F_{tSd} = \frac{110 - 65,4}{0,548} = 81,4 \text{ kN}$$

$$F_{cSd} = N_{Sd} + 2 F_{tSd} = 600 + 2 \cdot 81,4 = 763 \text{ kN}$$

perustusruuveja. Pääsääntöisesti ruuveja on ainakin neljä, jotta pilari pysyy riittävän vakaana rungon asentamisen aikana. Alamuttereita käytetään pilarin suoristamiseen ja säätämiseen korkeussuunnassa. Pilarin asennuksen jälkeen pohjalevy valetaan paisuvalla betonilla. Tämä tehdään ennen kuin pilaria kuormitetaan muilla rakenneosilla.

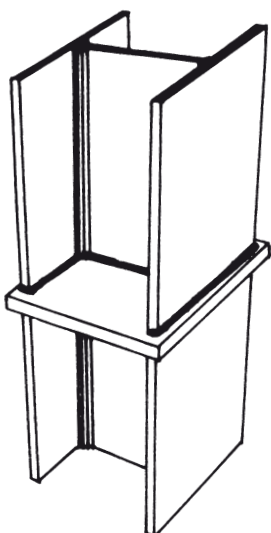
Kuvassa 8.4 näkyy erilaisia upotettuja ruuveja. Ruuvi voidaan ankkuroida paikalleen jollakin liitosaineella tai käytämällä jonkinlaista pääteankkurointia. Perustusruuviksi on sopivaa valita kiertainen teräspyörötanko.

On tavallista, että upotetut perustusruuvit siirtyvät paikoiltaan. Siksi pohjalevyn ruuvirei'istä tehdään ylisuurat ja käytetään ylisuuria aluslevyjä. Jotta suuremmat sivusuuntaiset toleranssit olisivat mahdollisia, käytetään toisinaan betoniin valun yhteydessä ankkuroituja kiinnityslevyjä. Asennuksen yhteydessä pilari hitsataan kiinni paikalleen pohjalevyyn.

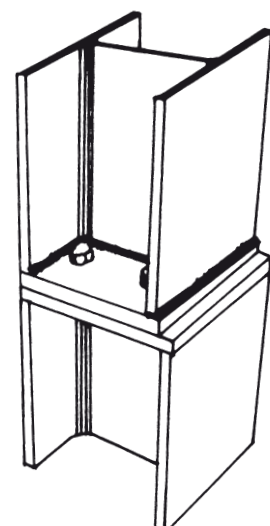
Jos ankkuroinnit halutaan välttää kokonaan valamisen yhteydessä, betoniin voidaan porata jälkikäteen reikiä ja täyskierteiset tangot voidaan ankkuroida sementti- tai polyesterilaastilla (kemiallinen ankkuri). Myös expander-ruuveja voidaan käyttää, mutta vain, jos ankkurointiin kohdistuu pieni vetovoima.

Pilarin oletetaan yleisesti olevan joko nivelletty tai tuettu. Pilarin pohjalevyä voidaan siis pitää nivellettynä, vaikka se kestääkkin pienemmän kiinnitysmomentin. Tämä momentti vahingoittaa harvoin pohjarakennetta, ja siksi siitä ei useimmiten tarvitse välittää.

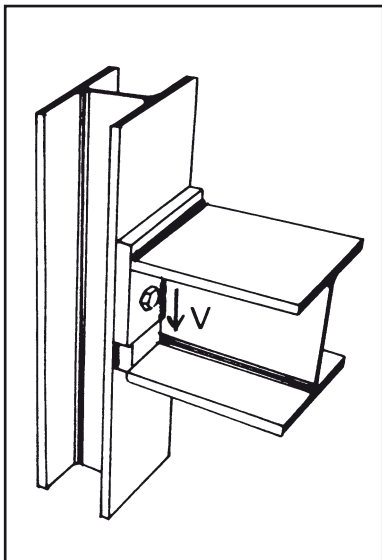
Kuvassa 8.5 näkyy jäykästi kiinnitetyn pilarin pohjalevyä koskeva laskentamalli. I-profiilisen pilarin kohdalla odotetaan, että pilariin kohdistuva normaalivoima (puristusvoima) keskittyy laippoihin. Normaalivoiman odotetaan aiheuttavan betoniin pilarilaippojen alla olevalle alueelle suorakulmaisesti jakautunutta puristusjännitystä.



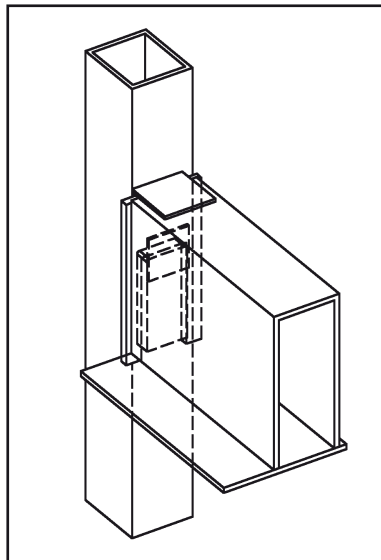
Kuva 8.6 Hitsattu pilarijatkos. Alemman pilarin päällä oleva ylälaatta helpottaa asentamista.



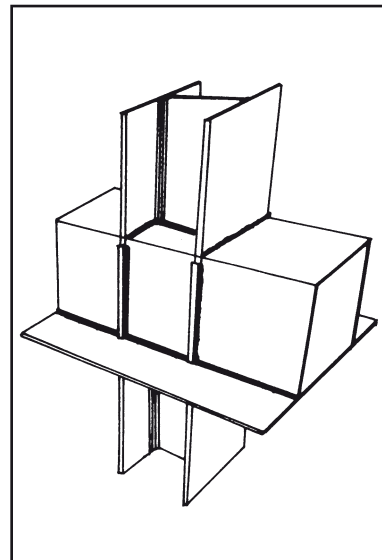
Kuva 8.7 Ruuvattu pilarijatkos. Pienet muutokset pilarin mittasuhteissa ovat mahdollisia.



Kuva 8.8 a Nivelletty palkki-pilarikiinnitys.



Kuva 8.8 b Hattuprofilin nivelletty palkki-pilarikiinnitys.



Kuva 8.9 Kerroskorkeisten pilareiden ja jatkuvan välipohjapalkin välinen kiinnitys.

Perusturuuvit ottavat vastaan mahdolliset momentin vetovoimat. Pilarin pohjalevyyn kohdistuvat voimat määritetään tasapainoyhtälöiden avulla. Kun ne on määritetty, varmistetaan, ettei seuraavista kuormituksista tule liian suuria:

- betonin puristusjännitys
- ruuvien vetovoimat
- pohjalevyn taivutusmomentti pilarin molempien laippojen kohdalla
- vetovoima hitseissä pohjalevyn ja pilarin välillä.

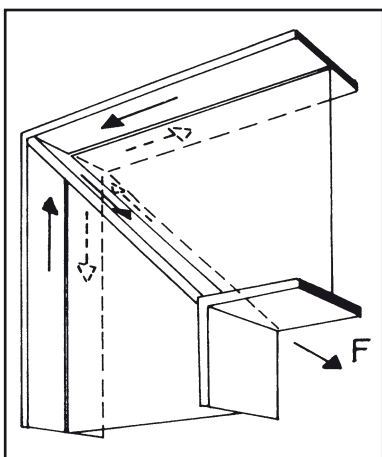
Momentti, jonka liitos kestää, riippuu suuressa määrin siitä, kuinka suuri normaalivoima vaikuttaa samanaikaisesti pilarin pohjalevyyn. Jos normaalivoima on suuri, se voi tasapainottaa momenttia niin, ettei ruuveihin kohdistu vetovoimia. Silloin perustaan siirtyy vain puristusvoimaa. Jos normaalivoima on sen sijaan pieni (esimerkiksi hallirakennuksen altistuessa tuulen kuormitukselle niin, ettei sen katolla ole lumikuormaa), voi pilarin toisen puolen perusturuuveihin kohdistua vetovoimia.

8.3 PILARIJATKOS

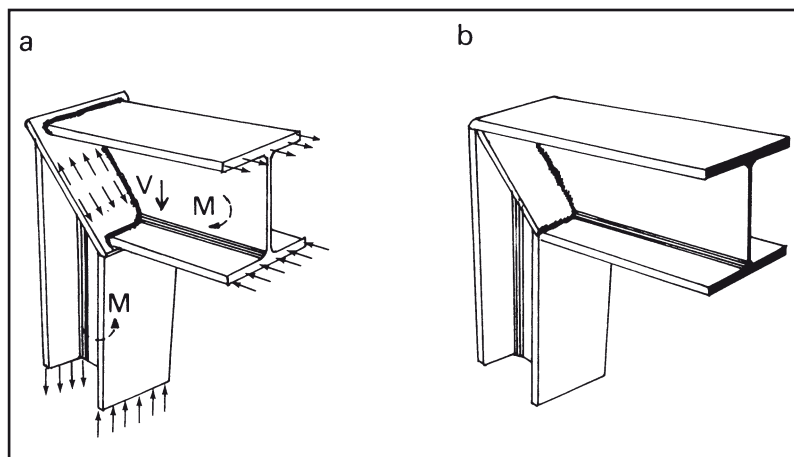
Pilarijatkoksia on ennen kaikkea kerrostaloissa ja muissa rakennuksissa, joissa käytetään korkeita pilareita. Pilarijatkos tehdään myös pilaripoikkileikkauksen vaihtuessa, esimerkiksi teollisuushalleissa, joissa on suuret nosturiratapalkit.

Pilarin sopiva pituus riippuu muun muassa kuljetusmahdollisuuksista, rungon ja sen täydennysosien asennusolosuhteista sekä liitoksen kustannuksista. Pilari, jossa ei ole jatkoksia, voi harvoin olla yli 18–20-metrinen. Kun kerroskorkeus on normaali, jatkuvan pilarin sopiva pituus voi olla 2–3 kerroksen verran.

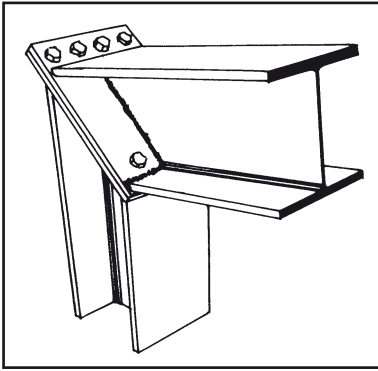
Toisen kertaluvun momentin vaikutusten vähentämiseksi liitokset on tehtävä sinne, missä taipuma on pieni, eli mahdollisimman lähelle pilarin tukipisteitä. Jos liitos tehdään noin 0,5–0,7 metriä liittyvän palkin yläpuolelle, liitos voidaan tehdä mukavassa työasennossa asennetulta välipohjalta käsin.



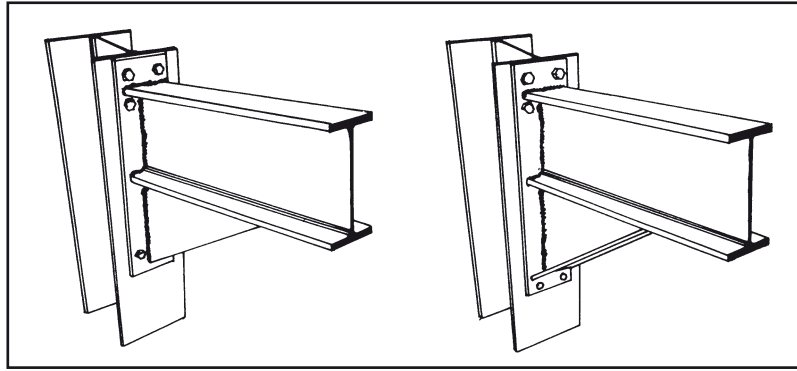
Kuva 8.10 Vääntymistä ja taivumista estävä poikittaisjäykiste.



Kuva 8.11 Hitsattu momenttijäykkä pilarinpää. a) Lämpökulkeva poikittaislevy palkin ja pilarin välissä. b) Poikittaiset jäykistelevyt uuman molemmilla puolilla.



Kuva 8.12 Ruuvattu momenttijäykä pilarinpää.



Kuva 8.13 Pilarinpää, jossa kulmatuettu palkki. a) Kulmatuki on paksu kolmiolevy. b) Kulmatuki on leikattu valssatusta profiilista.

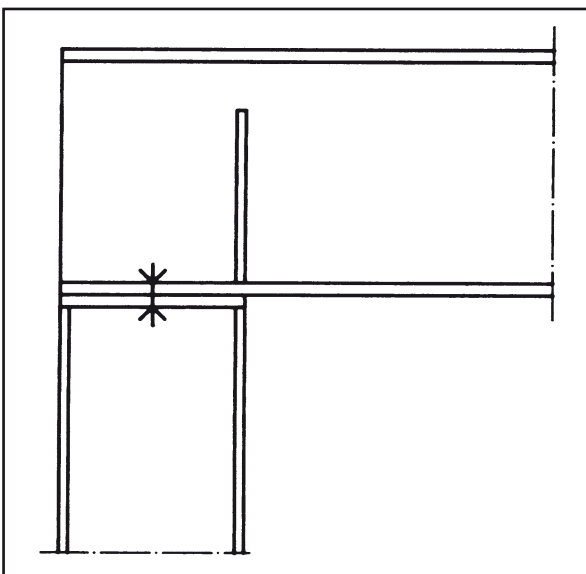
Kuvissa 8.6 ja 8.7 näkyy esimerkkejä hitsatuista ja ruuvatuista pilarijatkoksista. Ruotsissa käytetään harvoin kehävaikutusta monikerroksisten rakennuksen stabiloimiseen. Siispä normaalivoima vaikuttaa hallitsevasti pilariliitoksiin. Momentti ja sivuttaisvoimat ovat pääsääntöisesti suhteellisen pienet. Kun kosketuspintaa käytetään liitoksen puristusvoimien siirtämiseen, hitsit ja ruuvit mitoitetaan vain pieniä veto- ja leikkausvoimia varten, joita voi momentti tai sivuttaisvoima aiheuttaa liitokseen.

Viime vuosina on tullut yhä tavallisemmaksi rakentaa monikerroksisia rakennuksia käyttämällä kerroksen korkuisia sisäpilareita ja jatkuvia välipohjapalkkeja (ks. kappale 6). Kuvassa 8.9 näkyy kerroskorkuisen pilarin ja jatkuvan palkin tyypillinen kiinnitys.

8.4 PALKKI-PILARIKIINNITYS

Palkki-pilarikiinnityksellä tarkoitetaan tässä palkin ja pilarin välistä liitosta, jossa pilari jatkuu palkin yläpuolella. Palkki-pilariliitokset voidaan jakaa, ottaen huomioon staattinen toimintatapa,

- vapaasti täysin jäykkiin kiinnityksiin



Kuva 8.14 Nivelletty pilarinpää.

- jatkuviin kiinnityksiin
- tuettuihin kiinnityksiin.

Lisäksi on mahdollista käyttää ns. puolijäykkiä kiinnityksiä eli kiinnityksiä, jotka kestävät tietyn momentin, joka on pienempi kuin palkin momenttikapasiteetti. Todellisuudessa kiinnitykseen siirtyy aina tietty momentti, myös ns. vapaaksi suunnitellussa kiinnityksessä. Puolijäykän palkki-pilarikiinnityksen käyttäminen edellyttää kiinnityksen momentti-rotaatiosuhteen tuntemista.

Vapaat palkkiikiinnitykset ovat yksinkertaisia ja halpoja tehdä, ja tuloksena on hoikempi pilari. Palkkia voidaan vastaavasti pienentää tuetulla kiinnityksellä tai jos palkista tehdään pilarin ohi jatkuva. Tukemisesta aiheutuvat lisäkustannukset ovat kuitenkin usein suuremmat kuin mitä palkin materiaalikustannuksissa voidaan säästää. Jos rakennuskorkeus on rajallinen, tukemisella ja jatkuvuudella voidaan kuitenkin kasvattaa palkkien jänneväliä, mistä voidaan saada muuta taloudellista hyötyä. Jatkuvuus on usein helppo toteuttaa suhteellisen helpolla tavalla – siten, että palkki vedetään pilarin ulkopuolelle suoraan pilarin läpi, tai käyttämällä kerroksen korkuisia pilareita.

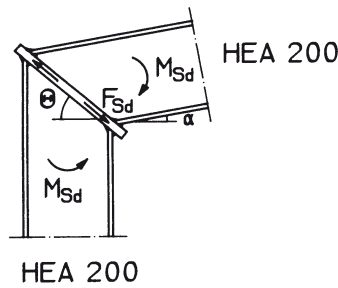
Kuvassa 8.8 a näkyy tavallinen tapa liittää palkki ilman momenttia pilariin. Palkkiin hitsataan päätylevy, joka ulottuu palkin koko korkeudelle tai osittain sen korkeudelle. Asennusvaiheessa palkki asetetaan konsolilevylle, joka on hitsattu kiinni pilariin. Sen jälkeen palkki lukitaan kahdella ruuvilla päätylevyn ja pilarin laipan väliin. Kiinnitys voidaan tehdä niin, että konsolilevy piilotetaan kokonaan tai osittain välipohjan sisälle. Päätylevyn on oltava kuitenkin vähintään niin iso, että palkin uuma on riittävän korkea siirtääkseen leikkausvoimaa. Rakenteissa, joissa käytetään hattuprofiilista tehtyjä välipohjapalkkeja, detaljit voidaan toteuttaa kuvassa 8.8 b näkyvällä tavalla.

Usein konsolilevy mitoitetaan koko tukireaktiota varten. Ruuveja käytetään vain pitämään palkki paikallaan. Vaikka ruuvit voisivat kantaa tukireaktion, pilariin on kuitenkin hyvä hitsata konsolilevy asennuksen helpottamiseksi.

Monikerroksisissa rungoissa, joissa käytetään kerroksen korkuisia pilareita ja jatkuvia välipohjapalkkeja, palkki-pilarikiinnityksen asennus tehdään käyttämällä hitsiliitosta

ESIMERKKI 8.2

Laske kehän nurkka poikittaislevyn puristusvoima F_{Sd} .

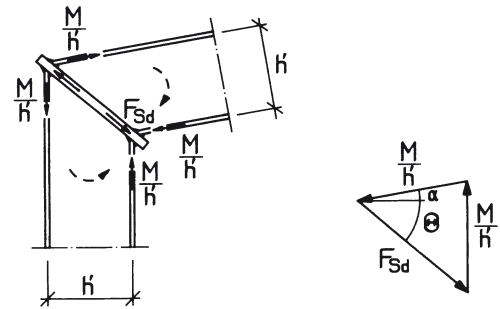


$$M_{Sd} = 63 \text{ kNm}$$

$$\alpha = 10^\circ$$

$$\Theta = 40^\circ$$

Momentti voidaan korvata laippoihin kohdistuvalla voimaparilla.

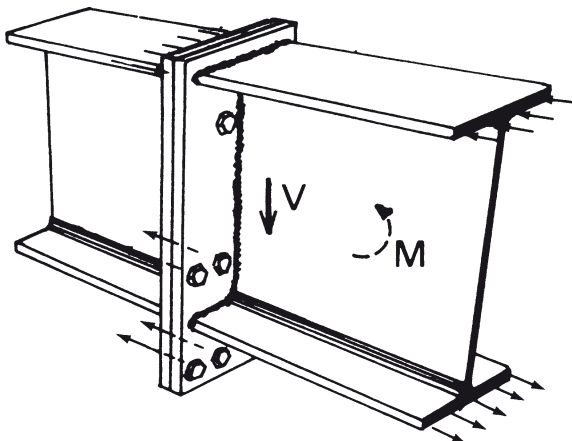


$$F_{Sd} = \frac{M}{h} \frac{\cos \alpha}{\cos \Theta} =$$

$$\frac{63}{(0,190 - 0,010)} \frac{\cos 10^\circ}{\cos 40^\circ} = 450 \text{ kN}$$

(ks. kuva 8.9). Palkki asetetaan suoraan pilarin päähän ja pienahitsataan pilarin ympäriltä. Hitsaus tehdään alta käsin, mikä on hankalin hitsausasento. Kun palkin yläpuolinen pilari asennetaan, hitsaus tehdään vaakasuorassa asennossa.

Normaalisti edellytetään, että kuvan 8.9 mukainen voimansiirto pilareiden välillä tapahtuu palkin ja pilarin kosketuspinnan kautta. Palkki on vahvistettava pääsääntöisesti jäykistelevyillä, jotta ylemmästä pilarista tuleva voima voi kulkea läpi palkin. Välipohjapalkeissa, joissa on umpinaiset ontelot, kuten matalapalkeissa, jäykistelevyjen annetaan usein pistää esiin palkin uumasta. Näin voidaan valvoa sitä, että levyt ovat oikeassa paikassa. Lisäksi tämä helpottaa levyjen kiinni hitsaamista.



Kuva 8.15 Palkkijatkos, jossa ruuvit ja päätylevyt.

8.5 PILARIN PÄÄ

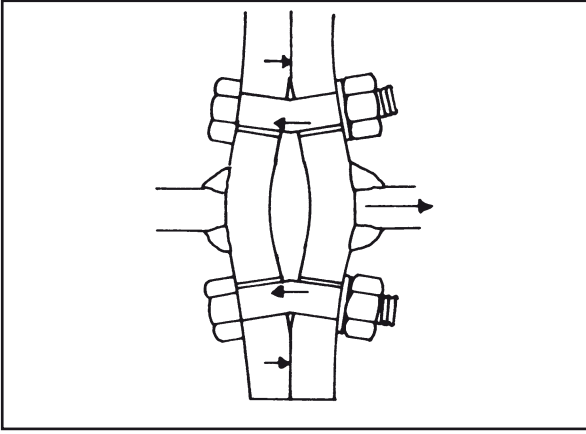
Pilarin pää on pilarin päädyn ja palkin välinen liitos. Liitos voi olla nivelletty tai momenttijäykkä, ja pilarin pää voi muodostaa kehän jäykän nurkan.

Päätös siitä, millainen pilarin päästä suunnitellaan, tehdään palkki-pilarijärjestelmän toteutustavan perusteella. Pilarin pää voi olla nivelletty, jos rakennus stabiloidaan tuettujen pilareiden avulla tai jäykän kattolevyn (vaihtoehtoisesti kattoristikon) ja seinäristikon avulla (ks. luku 16, Mitoitus). Jos rakennus stabiloidaan kehien (esimerkiksi nivelettömien tai kaksinivelisten kehien) avulla, pilarin päästä on tehtävä momenttijäykkä.

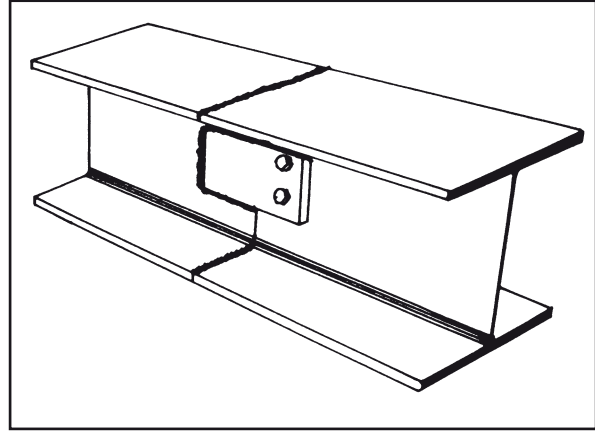
Kehärakenne mitoitetaan joko elastisuusteorian tai plastisia niveliä käsittelevän teorian mukaan. Jälkimmäisen teorian soveltaminen edellyttää muun muassa, että myötöalueen muokkautuvuus on sellainen, että plastisia niveliä voidaan tehdä. Tämä tarkoittaa, että pilarin pään liitosdetaljeista tehdään ylivahvoja, niin että plastinen nivel tehdään itse liitoksen ulkopuolelle.

Normaaliukuormituksessa kehän momenttijäykkään nurkkaan kohdistuu negatiivinen momentti eli ulkonurkkaan vetovoimaa ja sisäkulmaan puristusvoimaa. Puristusjäntystysten vuoksi vaarana voi olla kehän nurkan myötääminen, ja siksi pilarin pää voi olla tarpeen jäykistää. Jos kehän nurkka mitoitetaan elastisuusteorian mukaisesti, diagonaalinen jäykiste voi riittää estämään kehän nurkkaa vääntymästä ja lommahtamasta (ks. kuva 8.10). Kun kyse on pienistä palkeista, orret ja seinien pystytuet saattavat jäykistää riittävästi kehän nurkkaa. Plastisen nivelen yhteydessä tarvitaan täydentävää jäykistettä.

Kuvissa 8.11 ja 8.12 näkyy esimerkkejä hitsatuista ja ruuvatuista pilarinpäistä, joissa palkki ja pilari muodostuvat



Kuva 8.16 Vipuvaikutus päätylevyliitoksessa lisää ruuveihin kohdistuvia voimia.



Kuva 8.17 Yhteen liitettyjen palkkien uumassa on ruuviliitos ja laipoissa hitsiliitos.

I-tangoista. Asennuksen tapahtuessa rakennuspaikalla valitaan mieluummin ruuvattu liitos, koska hitsatun liitoksen tekeminen vie selvästi enemmän aikaa.

Kehän nurkan kuormituksen yhteydessä pilarin ja palkin laippoihin kohdistuvat voimat synnyttävät poikittaista jännitystä ulko- ja sisänurkan välille (ks. kuva 8.11 a). Uuma kestää yksin vain pieniä voimia, ja siksi pilarin päähän laitetaan vahvikkeeksi diagonaalinen jäykiste sisä- ja ulkokulman väliin. Jäykisteenä voi olla läpikulkeva levy palkin ja pilarin välillä (kuva 8.11 a) tai kaksi levyä uuman kummallakin puolella (kuva 8.11 b). On halvempaa jäykistää kehän nurka ensimmäisen vaihtoehdon mukaisesti, mutta silloin on huolehdittava erityisesti siitä, että jäykistelevy siirtää veto-voimia paksuussuunnassa. Levy, josta on kuonasulkeumat on valssattu pois, voi halkeilla hitsauksen aiheuttaman lämmön vaikutuksesta levyn poikkisuunnassa (ks. kappale 2.2). Jos levyn on siirrettävä vetovoimia paksuussuunnassa, on syytä varmistaa, ettei tällaista kerrosmurtumista pääse tapahtumaan. Näin voidaan tehdä käyttämällä ns. Z-levyä, jonka valmistaja on testannut ja dokumentoinut olevan hyvää sitkeysominaisuuksiltaan paksuussuunnassa. Levy on myös mahdollista tutkia jälkikäteen ultraäänikokeessa. BSK:sta [8] ilmenee kokeen sopiva laajuus.

Materiaalin säästämiseksi voidaan palkin päihin tehdä kulmatuki, mikä tarkoittaa palkin korkeuden lisäämistä sen päissä (ks. kuva 8.13). Kulmatuki vahvistaa palkkia sieltä, missä kuormitus on suurin. Tämän ansiosta voidaan käyttää pienempiä palkkeja sekä käyttää myös pitkissä jänneväleis-

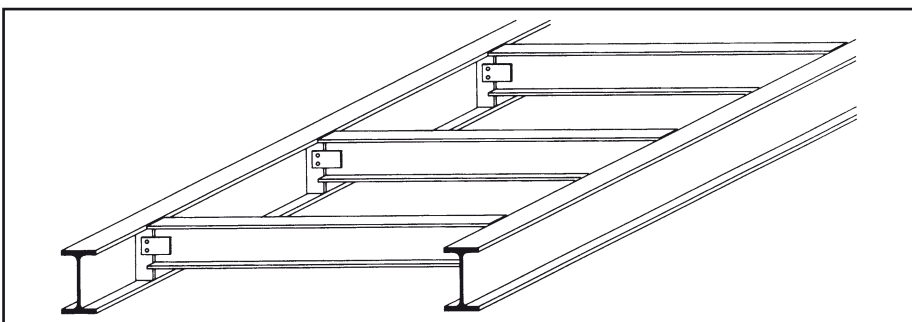
sä valssattuja tankoja. Kehänurkkia, joissa on kulmatuetut palkit, ovat tavallisempia ulkomailla kuin Ruotsissa.

Kuvassa 8.14 näkyy tavallinen pilarin pää. Se on nivelletty, ja voima siirtyy kosketuspinnan kautta pilarin sisälaippaan. Tämä synnyttää pilariin epäkeskisyyssmomentin. Ruuveja käytetään asennussyistä ja siksi, että yhdessä uuman jäykisteiden kanssa niillä toteutetaan palkin haarukkalaakerointi (ks. luku 16, Mitoitus).

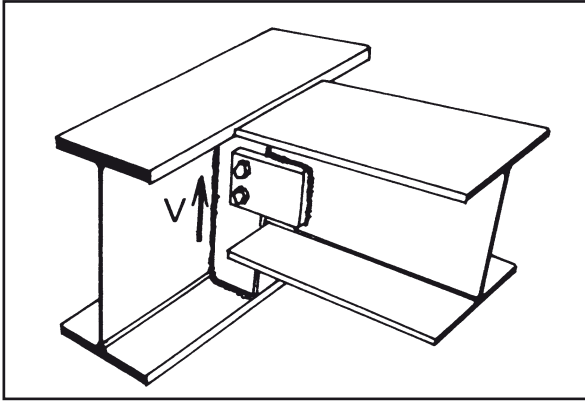
8.6 PALKKIJATKOKSET

Palkkijatkoksia käytetään ennen kaikkea jatkuissa palkeissa, kuten katto-, nosturirata-, silta- ja julkisivupalkeissa sekä katto-orsissa. Jatkokset asetetaan, jos mahdollista, taivutusmomentin nollakohtaan, eli sellaiselle etäisyydelle tuesta, joka on noin viidesosan jännevälistä. Jos liitos tehdään liian lähelle tukea, syntyy suurempi taivutusrasitus, mutta palkin asentaminen on usein helpompaa.

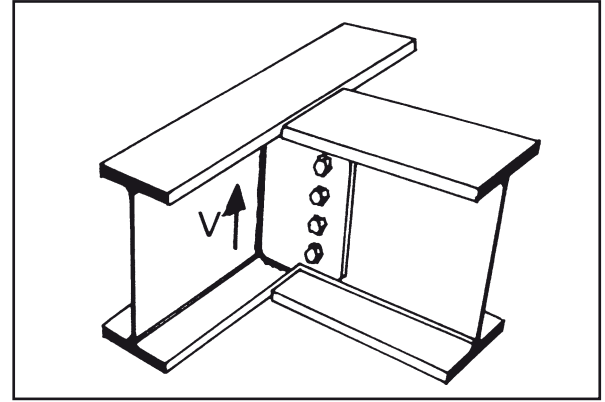
Jos palkki liitetään rakennuspaikalla, käytetään usein ruuviliitosta asentamisen nopeuttamiseksi. Jos palkkeihin laitetaan päätylevyt konepajoilla, on he helppoa ruuvata yhteen (ks. kuva 8.15). Vedettyjen laippojen vieressä olevien ruuvien oletetaan normaalisti kantavan momentin koko vetovoiman, kun taas puristuspuolella olevien ruuvien oletetaan kantavan leikkausvoiman. Vedetyt ruuvit on esikiristettävä (ruuviliitosluokka E), jolloin hyödyntämisaste kasvaa (ks. kappale 4.2.1).



Kuva 8.18 Primaari- ja sekundaaripalkeista muodostuva kantava rakenne.



Kuva 8.19 Kohtalaisia voimia kestävä ruuvattu palkki-palkkikiinnitys.



Kuva 8.20 Ruuvattu palkki-palkkikiinnitys korkeisiin palkkeihin.

Jos päätylevyjen muoto muuttuu taivutuksessa, kontaktipinnoille syntyy puristusvoimia, ja kontaktipinnat puolestaan lisäävät ruuveihin kohdistuvia voimia (ks. kuva 8.16). Ilmiötä kutsutaan vipuvaikutukseksi. Jotta ruuvit eivät kuormittuisi liikaa, on valittava riittävän paksut päätylevyt, niin ettei vipuvaikutusta synny, tai sitten on otettava huomioon myös vipuvaikutus ja mitoitettava ruuvit niin, että ne kestävät lisävoimat.

Kuvassa 8.17 näkyy palkkijatkos, jossa on hitsatut laippaliitokset ja ruuvattu uumaliitos. Uumalevyliitosta käytetään osaksi siirtämään leikkausvoima liitokseen, osaksi kiinnittämään palkinpäät laippaliitosten hitsauksen yhteydessä. Niitä ei tarvitse hitsata samaan aikaan kuin ruuviliitosten asennetaan. Hitsaus voidaan sen sijaan hyvin hoitaa järkevämmällä tavalla myöhemmässä vaiheessa. On kuitenkin varmistettava, että palkkijatkos toimii nivelenä ennen laippaliitoksen tekemistä. Railo kannattaa valmistaa niin, että hitsaus voidaan hoitaa ylhäältäpäin.

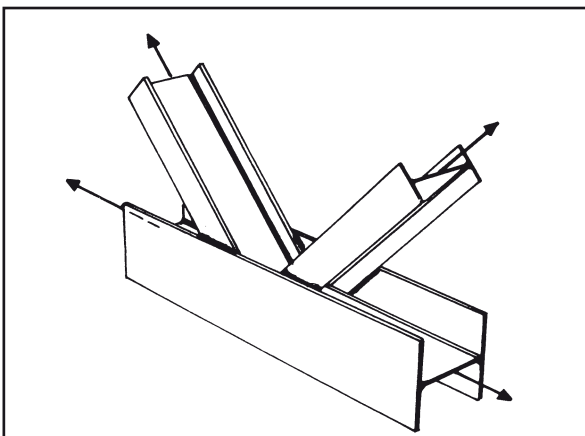
8.7 PALKKI-PALKKILIITOS

Palkki-palkkiliitoksia esiintyy muun muassa rakenteissa, joissa on ristiin meneviä palkkeja katossa ja välipohjassa (ks. kuva 8.18). Tällainen kantavan rakenteen ansiosta pääpalkkien välillä voi olla suurempi väli – ja näin myös

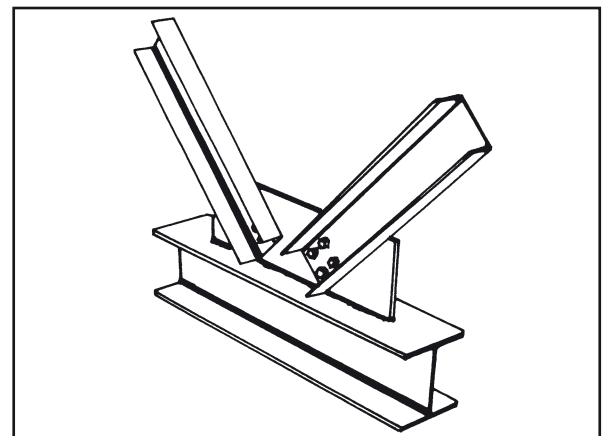
pilarien välillä – vaikka katto- ja välipohjajaelementit asetetaan suoraan pääpalkkien päälle. Näin voidaan siis tehdä, kun välipohjajaelementin maksimaalista jänneväliä hyödynnetään sekundaaripalkkien välillä pääpalkkien sijasta. Ristikkäin meneviä palkkeja ja palkki-palkkikiinnityksiä käytetään myös silloissa ja monenlaisissa muissa rakenteissa.

Sekundaaripalkit on asetettava pääpalkkien yläpuolelle, jos tila sen sallii, ja silloin kiinnityksestä tulee yksinkertainen ja halpa. Usein sekundaaripalkki on kuitenkin liitettävä pääpalkin korkeuteen. Kuvissa 8.19 ja 8.20 näkyy esimerkkejä ruuvatuista palkki-palkkikiinnityksistä, joita pidetään nivellettyinä.

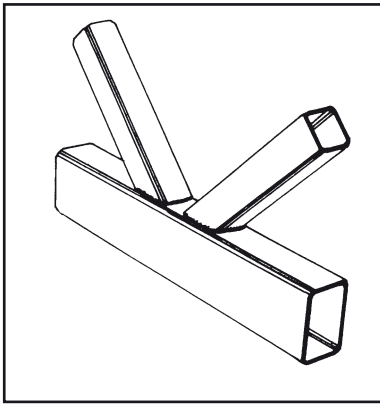
Kuvan 8.19 mukainen kiinnitys, jossa käytetään liitoslevyä ja ruuveja, on tarkoitettu mataliin palkkeihin, ja tukivoimat ovat kohtuulliset. Sen sijaan kuvan 8.20 mukaista kiinnitystä käytetään ensisijaisesti korkeissa palkkeissa. Jälkimmäisessä tapauksessa sekundaaripalkin uuma ruuvataan pääpalkissa olevaan ulkonevaan levyyn. Tällä tavoin säästetään liitoslevyä ja hitsaustyötä. Haittapuolena on kuitenkin se, että ruuvit ovat kaukana pääpalkista, jolloin niihin kohdistuu suurempi momentti. Toisaalta useimmiten liitoksessa käytetään monia ruuveja ja niiden välinen etäisyys on suurempi, mikä pienentää epäkeskisyyden kielteistä vaikutusta.



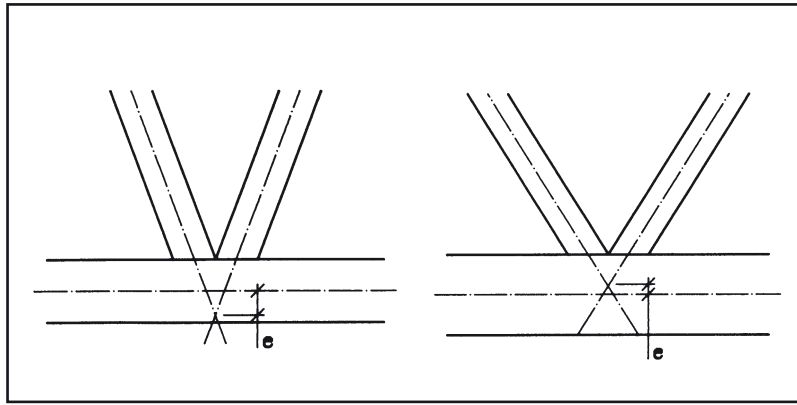
Kuva 8.21 I-tankojen hitsikiinnitys.



Kuva 8.22 Tankojen ruuvikiinnitys, jossa kiinnityslevy.



Kuva 8.23 Reikäprofileista valmistettujen tankojen välinen liitos.



Kuva 8.24 Tankojen epäkeskinen kiinnitys. Epäkeskisyyttä synnyttää momentti.

8.8 TANKOKIINNITYS

Tankokiinnityksellä tarkoitetaan sellaisten rakenneosien kiinnitystä, joihin kohdistuu pääasiassa veto- tai puristusvoimia. Tankokiinnityksiä käytetään esimerkiksi ristikkopalkkeissa, stabiloivissa seinä- ja kattoristikoidissa, aidatuissa rakenteissa sekä muiden rakennusosien jäykisteissä, jotka estävät nurjahtamisen ja kiepahtamisen

Tangon poikkileikkauksen mitat ja muoto vaikuttavat suuressa määrin siihen, millainen kiinnityksestä tulee. Usein kiinnityksen kustannukset muodostavat suuren osan koko tankorakenteen kustannuksista. Siksi on useimmiten taloudellista valita sellainen tankoprofiili, johon saadaan yksinkertainen kiinnitys, vaikka itse tangon hyödyntämisaste jäisi vähäiseksi.

On hyvä tavallisempaa, että rakennuspaikalla käytetään hitsiliitosta ruuviliitoksen sijasta pienien tankojen kiinnityksissä. Hitsiliitosta käytettäessä kiinnityksestä tulee tavallisesti pienikokoisempi, ja usein myös rakenteen mitapoikkeamat pienenevät. Ruuviliitoksen käyttäminen edellyttää pääsääntöisesti erityisiä kiinnityslevyjä, jotka ruuveille saadaan tilaa. Kuvissa 8.21 ja 8.22 näkyy esimerkkejä tankokiinnityksistä, joissa on käytetty hitsi- ja ruuviliitosta.

Ristikoissa käytetään usein rakennusputkia. Putkiin liittyy se etu, että ne ovat jäykkiä molempiin pääsuuntiin. Ristikoliitoksista (ks. kuva 8.23) on kuitenkin ollut pitkään vaikea tehdä laskelmia. Ylikuormituksessa murtuminen voi tapahtua monin eri tavoin, ja tankojen poikkileikkauksparametrit vaikuttavat siihen, millainen murtumatyyppi tai millaisten murtumatyyppien yhdistelmä on ratkaiseva. Nykyisin saatavilla on näistä tankokiinnityksistä tehtyjä laskelmasuosituksia, jotka perustuvat eri puolilla maailmaa tehtyihin kattaviin kokeisiin [8] ja [9].

Kolmen tai useamman tangon välistä solmukohtaa ei ole aina mahdollista suunnitella niin, että tankojen rakennelinjat leikkaavat toisensa – ilman että liitoksesta tulee kallias. Usein tällaisissa tapauksissa on parempi tehdä kiinnityksestä epäkeskinen ja ottaa epäkeskisyyssmomentti vastaan liitettäviin tankoihin ja paarteeseen (ks. kuva 8.24). Momentti jakautuu periaatteessa elastisuusteori-

an mukaisesti. Jos tankokiinnitysten rotaatiokapasiteetti on riittävä eli jos kyse on esimerkiksi poikkileikkauksluokkaan 1 kuuluvien tankojen tasavahvoista kiinnityksistä, solmukohdan momentti voidaan jakaa tankojen kesken edullisimmalla tavalla. Tällaisissa tapauksissa usein oletetaan, että paksumpi, jatkuva paarte ottaa vastaan koko momentin.

KIRJALLISUUTTA

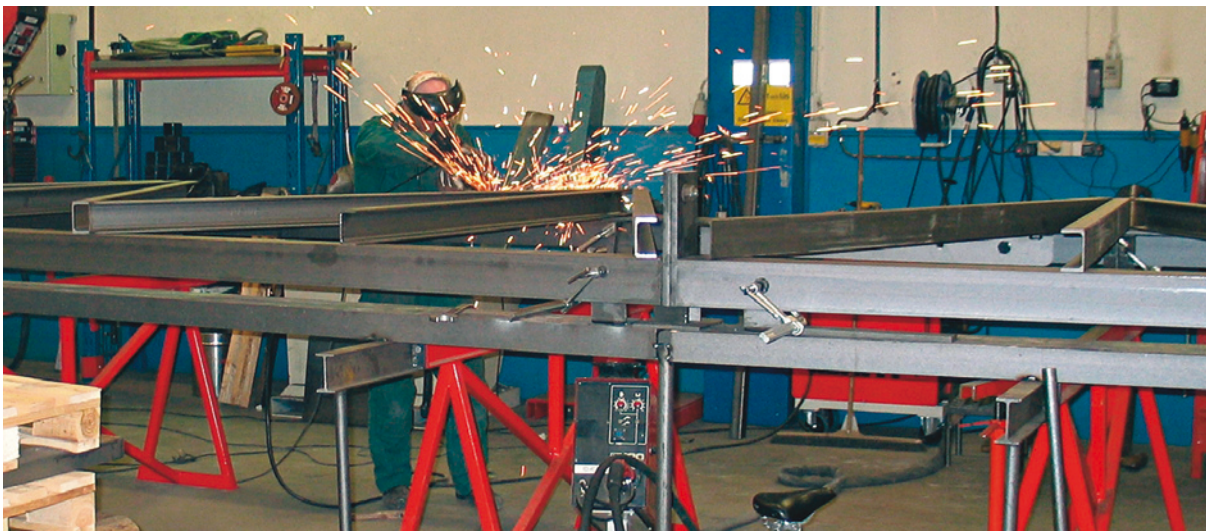
- [1] Treiberg T., Pelarfot, Publikation 101, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1987)
- [2] Treiberg T., Pelarskarv, Publikation 102, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1987)
- [3] Treiberg T., Balk/pelarinfastning, Publikation 103, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1988)
- [4] Treiberg T., Pelartopp, Publikation 104, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1988)
- [5] Treiberg T., Balkskarv, Publikation 105, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1987)
- [6] Treiberg T., Balk/balkinfästning, Publikation 106, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1987)
- [7] Treiberg T., Stånginfästning, Publikation 107, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1988)
- [8] Design guide: For rectangular hollow section (RHS) Joints under predominantly static loading (J. A. Packer, J. Wardenier, Y. Kurobane, D. Dutta, N. Yeomans), CIDECT (1996)
- [9] Design guide: For circular hollow section (CHS) joints under predominantly static loading (J. Wardenier, Y. Kurobane, J. A. Packer, D. Dutta, N. Yeomans), CIDECT (1995)
- [10] Eurokoodi 3, osa 1.9
- [11] Birgersson, B., Karlström, P., Kostnadseffektiva stälentreprenader, Stålbyggnadsinstitutet (2004)

INTERNET

www.sbi.se

TEKIJÄT

Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen on kirjoittanut Tom Treiberg. Tämän painoksen kappaleen on uudistanut Magnus Nilber (Sweco Bloco).



Teräsrakennuskonepaja.

9. VALMISTUS – ASENNUS – TARKASTUS

Teräsrakenteet on valmistettava ja asennettava siten, että valmis konstruktio on suunnitellun käyttötarkoituksen ja pysyvyyttä koskevien vaatimusten mukainen ja että se on toteutettu ammattitaidolla [1] ja [10]. Muun muassa sitkeysominaisuuksia koskevia vaatimuksia löytyy Eurokoodi 3:sta (Teräsrakenteiden suunnittelu, osa 1-1, kappale 3, Materiaali, jossa myös viitataan Ruotsin Boverketin kansalliseen liitteeseen).

Teräsrakenteet voidaan jakaa eri toteutusluokkiin (execution classes) sen mukaan, kuinka tarkkaan työ on toteutettu. Ruotsissa toteutusluokista on tähän saakka käytetty merkin­­töjä GA, GB ja GC. GA, joka on korkein toteutusluokka, on hyvin kallis toteuttaa. GA- ja GB-luokkia käytetään rakenteissa, joihin kohdistuu väsymiskuormitusta. Staattisesti kuormitetuissa rakenteissa käytetään luokkaa GC, jota kutsutaan eurokoodi 3:ssa laatutaso C:ksi. Toteutusluokka vaikuttaa hitsausluokkaan (ks. kappale 4.1.6) ja leikkausluokkaan (ks. kappale 9.1.3). Toteutusluokka vaikuttaa myös hitsien ulkomuodon ja katkosten toteuttamiseen (ks. eurokoodi 3, osa 1-8, liitokset ja solmukohdat, sekä EN 1090).

Rakenteiden valmistus perustuu kappaleen 12 mukaiseen selvitykseen. Kun kyse on kehittyneistä järjestelmistä, 3D CAD -mallinnus toimii varmana perustana valmistukselle ja myös yksinkertaistaa valmistusta.

Eurooppalaisen teräsrakenteiden suunnittelun koulutusohjelman (ESDEP) kappaleessa 3 aihetta ”valmistus, asennus ja tarkastus” on käsitelty yleiseurooppalaisesta näkökulmasta [8].

EN 1090 on teräsrakenteiden toteuttamista koskeva eurooppalainen standardi (”execution of steel structures”). Tämän standardin odotetaan valmistuvan vuoden 2008 aikana. Se tulee sisältämään yhtenäistetyn osion, jossa on CE-merkitä koskevia vaatimuksia (”Steel and aluminium structural components – General delivery conditions”, hEN 1090-1).

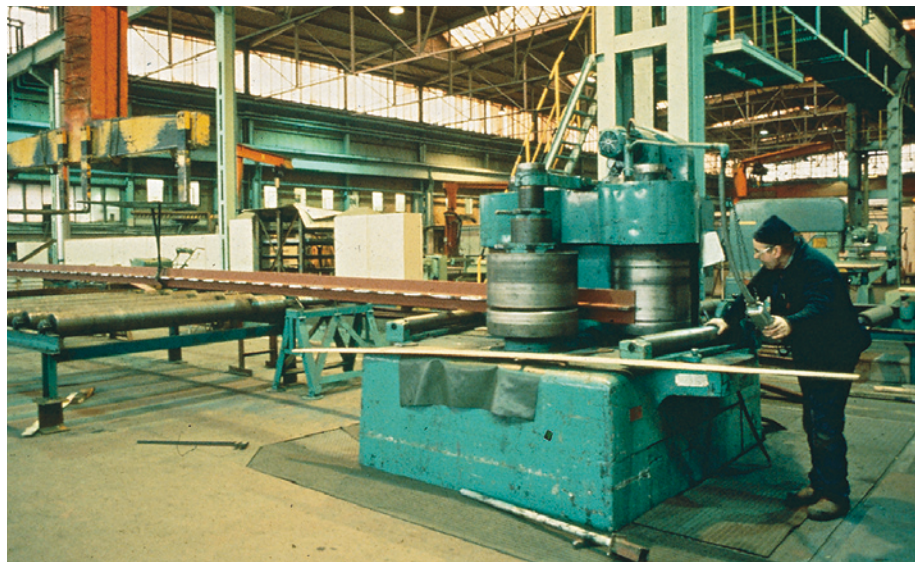
9.1 VALMISTUS

Teräsrakenteen valmistaa usein sen asennuksesta vastaava yritys. Specialistit valmistavat kuitenkin tietyt komponentit (ks. kappale 9.1.6). Jotkut teräsrakentajat ostavat nykyisin valmistustyön alihankintana ja keskittyvät itse asentamiseen [13].

Aihiomateriaali, joka toimitetaan teräsrakentajan konepajalle, voi tavallisesti olla joko varasto- tai tilaustavaraa. Tukukauppiat toimittavat nykyisin myös valmiiksi leikattuja ja suihkupuhdistettuja levyosia ja tarkkojen mittojen mukaan valmistettuja tankoja. Konepajoilla materiaalia työstetään ja muokataan niin, että asentaminen rakennuspaikalla käy nopeasti. Asennettavien yksikköjen täytyy olla käytännöllisiä, niin että niitä on helppo käsitellä. Niiden kokoon ja painoon vaikuttavat muun muassa kuljetusmuoto ja käytettävissä oleva nostolaitteisto.

Työnjohdossa täytyy olla henkilö, joka tuntee voimassa olevat materiaali-, toteutus- ja tarkastusmääräykset sekä kyseessä olevan rakenteen valmistustavan. Esimerkiksi sopivasta koulutuksesta Ruotsissa on *TR-stål*-koulutus (*Tekniska regler stål*, www.stbk.se).

Vastaava työnjohtaja johtaa ja valvoo jatkuvasti työtä, niin että se suoritetaan säädetyllä tavalla, ja varmistaa, että tarkastukset hoidetaan ja dokumentoidaan. *Hitsausvastaavalla* tai *hitsauskoordinaattorilla* on lisäksi oltava SS-EN 719 -standardia vastaavaa osaamista, eli hänellä täytyy olla esimerkiksi eurooppalaisen hitsausneuvojan (EWS) tutkinto. SS-EN 719 on hitsauksen valvontaa koskeva eurooppalainen standardi, jossa määritellään tehtävät ja vastuut. EFW (*European Welding Federation*) asettaa hitsausvastaavan koulutusta koskevat vaatimukset (esimerkiksi EWS, EWT ja EWE, ks. www.ewf.be). Viite [7] on oppikirja, jonka sisältö vastaa EWF:n eurooppalaisesta hitsauskoulutusta koskevia vaatimuksia.



Kuva 9.1 Profiilisärmän.

Teräsrakenteiden valmistukseen kuuluu pääasiassa materiaalin jakaminen, työstäminen ja yhteen liittäminen. Tangot ja levyt jaetaan osiin leikkaamalla ja sahaamalla. Työstäminen voi olla esimerkiksi rei'itystä tai railon valmistusta hitsausvarten. Valmistusvaiheessa liitosmenetelmänä käytetään normaalisti hitsausta. Muita tärkeitä vaiheita valmistuksessa ovat merkitseminen, pintakäsittely ja tarkastus.

Suuri osa teräsrakenteiden valmistustyöstä muodostuu rakenteiden nostamisesta ja kuljettamisesta. Tämä asettaa vaatimuksia, jotka koskevat konepajojen materiaalivirran huolellista suunnittelua. Rullaratojen ja nostolaitteiden – tavallisesti nosturiratapalkkien – saatavuus on tärkeää. Tuotantoaika valmistuksen yhteydessä riippuu suuresti määrin rakenteen vaikeusasteesta, konepajan varustelutasosta, työntekijöiden määrästä, konepajalla tehdyistä pintakäsittelyistä yms. Valmistusaika on tavallisesti melko lyhyt, noin 8–12 miestyötuntia tonnia kohden, kun kyse on tavallista yksinkertaisemmista rakenteista. Tavanomaisten rakenteiden kohdalla se on noin 12–20 miestyötuntia tonnia kohden, ja portaiden, kaiteiden ja siltojen kohdalla noin 20–30 miestyötuntia tonnia kohden. Toisin sanoen normaalin monikerroksisen rungon valmistaminen 100 tonnin teräsrakenteesta vie viideltä–kuudelta työmieheltä noin kuukauden. 100 tonnia vastaa noin 4 000:ttä neliometriä välipohja-alaa normaalissa monikerroksisessa rungossa.

Teräsrakentamisen alan konepajalta löytyvät tavallisesti seuraavat osastot:

- materiaalivarasto
- sahauslinja
- levyleikkauslinja
- kokoonpano-osasto
- hitsausosasto.

Usein konepajasta löytyvät myös maalaustilat.

Valmistaminen konepajalla lähtee siitä, että materiaali otetaan varastosta. Ensimmäiseksi materiaaliin tehdään valmistuspiirustusten ja katkaisulistojen mukaiset merkinnät. Sitten materiaali jaetaan osiin, työstetään ja liitetään yhteen.

9.1.1 Materiaalivarasto

Teräsrakentaja ostaa, jos mahdollista, suuriin kohteisiin käytettävän materiaalin suoramateriaalina (ks. kappale 3.9). Materiaalivarastossa tarkastetaan merkinnät sekä sertifikaatit ja laatuvaraukset. Osa levyistä (esimerkiksi pohjalevyjä varten) säilytetään varastossa tulevaa käyttöä varten. Erilaiset teräslajit varastoidaan niin, ettei sekaantumista voi tapahtua. Kun terästä leikataan osiin, niihin tehdään laatumerkinnät ja merkitään tilausnumerot sekä joissakin tapauksissa myös eränumerot. Materiaalia säilytetään ja käsitellään niin, että kyseiset ominaisuudet eivät huonone olennaisesti. Levydetaljeja, joita tarvitaan useita samankokoisia, kuten pohjalevyjä, voidaan ostaa valmiiksi leikattuina, rei'itettyinä ja suihkupuhdistettuina tukkukauppiaalta tai levyn työstämiseen erikoistuneelta yritykseltä.

9.1.2 Tangon työstäminen

Tangot katkaistaan yleensä kylmäpyörösahalla. Näin leikkauspinnasta tulee riittävän tasainen, jotta puristusvoimaa voidaan siirtää kosketuspinnan kautta. Lattatangot ja ohuemmat profiilit leikataan usein peltilevyksillä tai profiiliksilla. Profiiliksilla voidaan leikata tankoja, joiden poikkipinta-ala on jopa 1 000 mm². Tankoja voidaan leikata myös kaasui- tai plasmaleikkauksella (ks. kappale 9.1.3). Kaasuleikkauksessa tanko katkaistaan palavalla kaasuliekillä. Plasmaleikkauksessa tanko katkaistaan kaasuliekillä, joka on siirtynyt plasmafaasiin, jolloin sen lämpötila on jopa 40 000 °C (ks. viite [3]).

Levyjen ja tankojen mahdolliset hitsausliitokset tehdään ennen muita toimenpiteitä hitsauksen aiheuttamien kutistumis- ja muodonmuutosvaikutusten vähentämiseksi.

Tankomateriaalin taittamiseen käytetään profiilisärmäintä (ks. kuva 9.1) tai levyvalssainta. Tankoja voidaan myös taittaa kaasuliekillä kuumentamalla taikka kuumataivutuksella eli taivuttamalla niitä hehkuvassa tilassa. Induktioitaivutus on menetelmä, jossa profiilia kuumennetaan paikallisesti ja vähitellen hehkuvaan tilaan. Profiileja voidaan taivuttaa



Kuva 9.2 Pora-sahakone.

vastaavasti myös kylmätaivuttamalla, mikä on normaalisti halvempaa, mutta tällöin kylmätyöstön vaikutus eli myö-
törajän ja kovuuden nousu on otettava huomioon.

Ruuviliitoksia varten tehtävät reiät tehdään pääsääntöi-
sesti poraamalla, mutta toisena menetelmänä käytetään
myös stanssausta. Ruuvien asettamisen ja konstruktion
asentamisen kannalta on tärkeää, että reiät tulevat oi-
keisiin paikkoihin. Hyvä mittaustarkkuus saavutetaan
tietokoneohjatuilla yhdistelmälaitteilla, jotka sekä sa-
haavat että poraavat niihin syötettyjen mitta-arvojen
mukaisesti (ks. kuva 9.2). Pora-sahakoneet ovat korvaa-
massa vanhat porakoneet. Kun tällaista laitteistoa ei ole
käytettävissä, käytetään ruuviryhmien keskinäisiä mit-
taustarkkuusmalleja.



Kuva 9.3 Automaattinen kaasuleikkaus.

9.1.3 Levyn työstäminen

Karkea- ja medium-levy jaetaan osiin ja työstetään levy-
konepajalla. Levy jaetaan osiin pääasiassa leikkaamalla
tai termistä leikkausta (eli kaasui- tai plasmaleikkausta)
käyttämällä. Termisesti leikatut pinnat jaetaan kansallisten
sääntöjen mukaan kolmeen leikkausluokkaan, jotka
ovat Ruotsissa SK1, SK2 ja SK3. Näistä SK3 on korkein leik-
kausluokka. Vastaavat eurooppalaiset nimikkeet löytyvät
standardista prEN 1011.

Kaasuleikkaus tehdään käsin täys- tai puoliautomaattisin
leikkurein. Niissä voi olla yksi tai useampi poltin (ks. kuva
9.3). Myös plasmaleikkausta käytetään (ks. kuva 9.4), kos-
ka sillä leikkaaminen tapahtuu hyvin nopeasti ja leikkaus-
pinoista tulee hienot. 3–25 mm paksua levyä voidaan lei-
kata. Koneellisessa leikkauksessa syntyy kaunis ja tasainen
leikkauspinta, joka on hyvin tasomainen ja jossa on mität-
tömän vähän uurteita. Manuaalisessa leikkauksessa syntyy
epätasaisempi leikkauspinta, jossa on 0,6–1,0 mm syviä uur-
teita. Raitoa ei voida valmistaa (ks. kappale 4.1.4) suoraan
osiin leikkaamisen yhteydessä. Silloin käytetään kahta tai
useampaa poltinta sarjassa. Laserleikkaus valtaa jalansijaa
myös jopa 20 mm:n paksun levyn leikkaamisessa.

Leikkausta (*klippning*) käytetään, kun levyn paksuus on al-
le 25 mm. Suuntaisleikkurilla (ks. kuva 9.5) voidaan leikata
enintään 2–4 metriä pitkää ja korkeintaan 25 mm paksua
levyä. Suusaksilla voidaan leikata jopa 15-metristä levyä.
Sekä suuntaisleikkuria että suusaksia voidaan käyttää rai-
lon valmistamisessa. Leikattujen detaljien mittaustarkkuus
on huomoinnampi kuin sahattujen tai kaasuleikattujen.

Levy voidaan taivuttaa sylinterin muotoon levyntaivutus-
koneessa tai levyvalssaimessa. Eri muotoihin taittamiseen
voidaan käyttää myös särmäyspuristinta (ks. kuva 9.6).

9.1.4 Yhteenliittäminen

Rakenteet liitetään yhteen hitsaamalla. Ennen hitsausta
osat on asetettava paikoilleen ja kiinnitettävä, mihin voi-
daan käyttää puristimia, magneetteja tai pistehitsausta.



Kuva 9.4 Plasmaleikkaus.

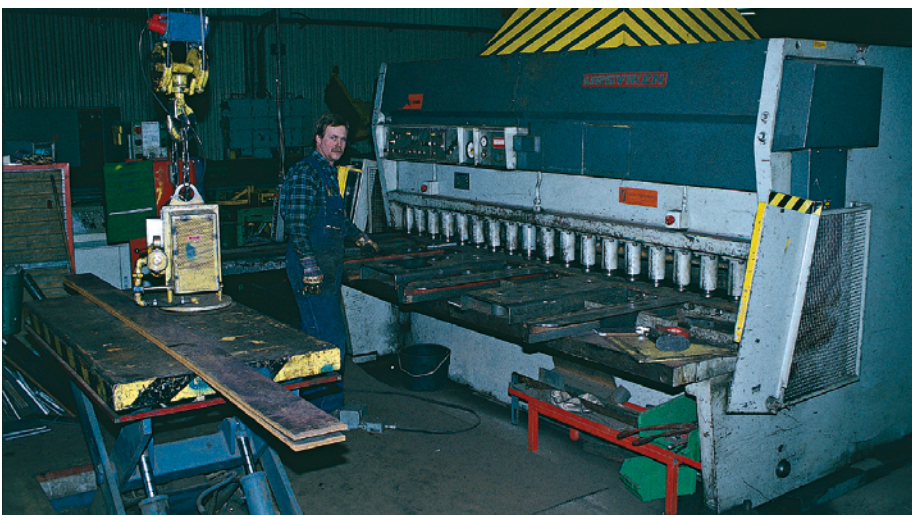
Pidemmät sarjatuotantohitsit tehdään hitsausautomaateilla (ks. kuva 9.7). Pienemmät detaljit liitetään yhteen ja hitsataan käsin metallikaari- tai puoliautomaattihitsauksella. Erilaisista hitsausmenetelmistä löytyy lisätietoa kappaleesta 4.1.1. Automaattihitsauksen käyttö on lisääntynyt voimakkaasti viime vuosina ja lisääntyy edelleen. Teräsrakenteiden valmistamiseen kuuluu kuitenkin edelleen paljon käsin tehtävää hitsaustyötä.

Suuremmat levy- ja tankorakenteet hitsataan pääsääntöisesti alustoilla. Hitsauksesta aiheutuva kutistuminen ja muodonmuutokset kompensoidaan railla, vinoon asentamisella tai levyreunojen esitaivutuksella kokemuksen tai menettelykokeen perusteella.

Reiät porataan – ja detaljit ja jäykisteet hitsataan – tavallisesti sen jälkeen, kun osa on hitsattu kiinni suurempaan levyrakenteeseen. Syynä tähän on se, että oikeaa kohtaa on vaikea määrittää tarkkaan, ennen kuin koko konstruktion on hitsattu yhteen. Yhteen hitsattuihin yksikköihin porataan reikiä yleensä magneettiporastatiivia käyttäen (ks. kuva 9.8). Detaljit hitsataan manuaalisesti.

Jälkikäsittely, kuten suoristus ja hionta, tehdään hitsaamalla. Hionta tehdään usein manuaalisesti ja tarvittaessa morkkaviimeistelykoneella, kun hitsi on esimerkiksi epätasainen tai hitsi-irtoamien yhteydessä.

Ennen ruostesuojauksenkäsittelyä profiilien reunoista on poistettava uurteet ja epätasaiset hitsit on hiottava (vähintään 110° kehän reunassa).



Kuva 9.5 Levyn leikkaus suuntaisleikkurilla.



Kuva 9.6 Levyn taivuttaminen särmäyspuristimella.

Suoristus voidaan hoitaa nosturien avulla tai kuumentamalla tasapainoisesti kaasuliekillä. Suoristus kuumennuksen avulla edellyttää runsaasti kokemusta, ja se tehdään usein tiettyjen geometrinen kuvioiden mukaisesti. Hitsauksesta johtuvat muodonmuutokset ja suoristamisen tarve riippuvat hitsausmäärästä suhteessa tavaran paksuuteen, rakenteen muodosta ja hitsin sijainnista sekä siitä, tehdäänkö hitsaus symmetrisesti. Myös kaasuleikkauksesta ja valssauksesta syntyneillä jäännösjännityksillä on vaikutusta. Hitsien ylimitoitus aiheuttaa pääsääntöisesti lisää hitsaus- ja suoristustyötä sekä suurempia jäännösjännityksiä hitsiin.

Sen jälkeen, kun konstruktio on rakennettu valmiiksi, se tarkastetaan. Samalla tehdään mittaustarkistus sekä mahdollinen radiografinen kuvaus (röntgen), ultraäänikoe tai muu rakenteita vaurioittamaton koe (ks. kappale 9.4.3). Hitsaustarkistus, röntgen mukaan luettuna, on tehtävä mahdollisimman pian valmistumisen jälkeen. Silloin mahdollisiin virheisiin ja puutteisiin voidaan puuttua varhaisessa vaiheessa. Tarkastus on tehtävä ennen pintakäsittelyä.

Tarvittaessa hitsausvastaavan tai vastaavan henkilön on tehtävä hitsaustyöstä hitsaussuunnitelma yhteistyössä rakentajan kanssa. Hitsaussuunnitelman täytyy sisältää paitsi hitsaustiedot myös hitsaustyön eri vaiheet, kuten toimenpiteet ennen hitsausta ja sen jälkeen sekä osien hitsausjärjestys. Kappaleen lopussa kuvassa 9.18 näkyy esimerkiksi hitsaussuunnitelmasta. Tietyt tiedot voidaan ilmoittaa hitsaussuunnitelmassa viittauksena suunnitelman liitteenä olevaan hitsausohjeeseen (WPS).

Hitsausta ei saa tehdä kuka tahansa. Hitsaajalla on oltava työhönsä asianmukainen koulutus ja todistus hyväksytyistä hitsaajan pätevyyskokeesta kyseisen hitsausmenetelmän osalta (esimerkiksi SS-EN 287:n mukaisesti).

9.1.5 Valmistustarkkuus

Hyvä valmistustarkkuus helpottaa sekä rungon että sen täydennysosien asentamista. Valmistuksen yhteydessä tapahtuvaa mittaustarkkuutta säännellään SBI:n julkaisussa nro 112, Toleranser [4]. Tulevaisuudessa sen korvaavat ENV 1090 -standardin vastaavanlaiset säännöt.



Kuva 9.7 Palkin hitsaus hitsausautomaatilla.

Tankojen katkaisussa, levyjen jakamisessa osiin sekä detaljien ja reikien paikan määrittämisessä mittaustarkkuus voi olla ± 1 mm. Suuremmissa hitsatuissa konstruktioissa mittaustarkkuuden voidaan normaalin konepajakäytännön mukaisesti laskea olevan ± 4 mm 20 metrin pituudella. Mikäli mittoihin kiinnitetään erityistä huomiota, myös pienemmät vaihteluvälit ovat mahdollisia. Jos mittaustarkkuuden on oltava normaalin konepajakäytännön mukaista mittaustarkkuutta parempi, sallittu mittatoleranssi on ilmoitettava piirustuksessa. Mittaustarkkuuden lisääminen kasvattaa myös kustannuksia.

Teräsrakenteiden valmistuksessa suhteellisen suurilla poikileikkaustoleransseilla, jotka voivat olla jopa ± 3 mm valsattujen tankojen kohdalla, on suuri merkitys. Ne voivat aiheuttaa häiritseviä mittapoikkeamia, kun esimerkiksi profiileja on sovitettava yhteen. Liitettäessä poikkipalkkeja ja välipohjan palkkeja yhteen yläreuna on pidettävä tasaisena.

9.2 KULJETUKSET

Kuljetus konepajalta asennuspaikalle voi tapahtua maanteitse, rautateitse tai meriteitse. Autokuljetus on nopein ja joustavin sekä usein myös halvin kuljetustapa myös silloin, kun kuljetusmatka on pitkä (ks. kuva 9.9).

Rautatiekuljetus voi olla hyvä vaihtoehto, jos on kuljetettava pitkiä konstruktioita, kuten siltapalkkeja, tai jos asennuspaikalle kulkee kiskot – esimerkiksi jos asennuspaikka sijaitsee teollisuusalueella. Myös metrokiskoja tms. voidaan käyttää. Myös laivakuljetusta voidaan käyttää, jos sekä konepaja että asennuspaikka sijaitsevat ”laiturin” läheisyydessä, niin ettei tavaraa tarvitse lastata uudelleen. Laiva- tai proomukuljetusta voidaan käyttää suuria silta-rakenteita kuljettaessa, jos rakennuspaikalle on mahdollista päästä tällä tavoin. Joissakin tapauksissa voidaan käyttää myös helikopterikuljetusta – etenkin, jos rakennuspaikalle on vaikea päästä.

Tuki- ja kiinnitysdetaljit on suunniteltava niin, etteivät ne estä järkevää lastausta tai vahingoitu käsittelyn aikana. Taipuisat, ulostyöntyvät rakenneosat voivat muuttaa muotoaan, mikä vaikeuttaa ja hidastaa asentamista kuljetuksen jälkeen. Maalattuja rakenteita on käsiteltävä varovasti.

Ruotsalaisessa tieverkostossa suurin sallittu ajoneuvopiipuuus on 24 metriä. Näin ollen asennettaviksi kuljetettavat elementit voivat olla käytännössä korkeintaan noin 20 metriä pitkiä. Peruskuorma-autoilla voidaan kuljettaa korkeintaan 18 metriä pitkiä osia. Monin paikoin ulkomailla ajoneuvojen suurin sallittu pituus on rajattu 18 metriin, jolloin kuljetettava tavara voi olla korkeintaan noin 14 metriä pitkä. Suurin sallittu ajoneuvon leveys maantiekuljetuksissa on 2,6 metriä, mikä rajaa myös kuorman leveyttä.

Vapaa korkeus Ruotsin tieverkostossa on 4,5 metriä. Kuorma-autojen lava on tavallisesti 1,5–1,6 metrin korkeudella, joten peruskuorma-autoissa kuorman enimmäiskorkeus on 2,9–3,0 metriä. Korkeampiin kuljetuksiin voidaan käyttää matalia perävaunuja.



Kuva 9.8 Magneettiporastatiivi.

Tavalliseen kuorma-auto kuljettaa normaalisti 25 tonnin kuorman. Harvat asennettavat elementit painavat kuitenkin yli 10 tonnia, ja useimmat elementit painavat alle 5 tonnia.

Suurten yksikköjen kuljettamiseen voidaan hankkia erivapaus. Tämä lisää kuitenkin kuljetuskustannuksia. Rautatiekuljetuksissa sallitaan yleensä 20 metrin mittaiset elementit, joiden leveys on 3,4 metriä ja korkeus 3,2 metriä. Kuorman korkeus ei saa kuitenkaan ylittää enimmäiskorkeuteen koko leveydeltä. Suuremmat kuormaprofiilit voidaan sallia tietyillä rataosuuksilla.

Erikoisjärjestelyjen avulla 35 metriä pitkät tai sitä pidemmät elementit voidaan kuljettaa rautateitse. Ruotsissa Banverket antaa lisätietoja mahdollisista kuljetusreiteistä.

9.3 ASENNUS

Asentaminen tarkoittaa esivalmistettujen rakennososien nostamista, paikoilleen asettamista ja kiinnittämistä perustuksiin ja ympäröiviin rakenteisiin. Asentaminen edellyttää sopivia nostolaitteita, työskentelytelineitä ja työkaluja sekä ennen kaikkea huolellista suunnittelua [11].

Asennustyötä ei saa aloittaa, ennen kuin asennussuunnitelma ja työympäristösuunnitelma on laadittu (ks. jäljempänä). Asennussuunnitelma tehdään yhteistyössä rakentajan kanssa. Se on esitettävä hyvissä ajoin tilaajalle (ks. kuva 9.10). Sen täytyy sisältää tiedot asennuskorkeudesta,



Kuva 9.9 Kattoristikon kuljetus kuorma-autolla.

tilapäisliitoksista, väliaikaisista jäykisteistä sekä ankkureista. SS–EN-standardeissa ja kansallisissa määräyksissä (ks. jäljempänä työympäristösuunnitelma) ilmoitetaan, mitä tietoja asennussuunnitelman täytyy sisältää.

Asennustyön kustannukset ja aikataulu vaihtelevat paljon tapauskohtaisesti rakenteen tyyppin ja ulkonäön mukaan. Kun kyse on hallirakennuksista ja monikerroksisista rakennuksista, teräsrakenteiden asentamiseen voidaan normaalitapauksessa laskea kuluvaan 4–10 miestyötuntia yhtä teräsrakennetonnia kohden.

Kiinnittämisessä ja liittämässä käytetään hitsi- tai ruuviliitosta (ks. kappale 8). Teollisuusrakennusten ja muiden rakennusten runkokonstruktioiden asentamisessa käytetään usein ruuviliitoksia, mutta myös muunlaiset tuet ovat mahdollisia. Monikerroksisten toimistorakennusten asentamisessa käytetään uloketukia ja ruuveja, jotta nosturilla nostaminen ei hidastaisi asennusta, mutta voimaa siirtävät liitokset tavallisesti hitsataan. Paikalleen hitsaamista varten on nykyisin saatavana erityisiä elektrodeja, jotka on tarkoitettu rakennuspaikalla tapahtuvaa hitsaamista varten. Tästä syystä monet teräsrakentajat tekevät mieluummin hitsiliitoksia. Ruostesuojaus ei ole mikään este hitsaukselle, vaikka suojauskäsittely onkin tehtävä uudelleen. Siltojen pääpalkkien liitokset on hitsattava Bronormenmääräysten [12] mukaisesti, mutta vinojäykisteessä käytetään pääsääntöisesti ruuviliitoksia, koska se on sallittua ja ruostesuojaus on kallista tehdä paikan päällä.

Ruuviliitoksia tehtäessä yksi tai useampi ruuvi voidaan laittaa ruuvireikään parissa minuutissa sillä välin, kun rakenne riippuu nosturista (ks. kuva 9.11). Tämän jälkeen nosturilaitteisto voidaan vapauttaa muita töitä varten ja liitosta täydennetään jälkepäin. Ruuviliitos tarjoaa mahdollisuuden suoristaa ja säätää konstruktioita jälkikäteen, eikä se edellytä maalipinnan parantelua.

Kun asentamisessa käytetään hitsausta (ks. kuva 9.12), nosturi lukitaan sopivaan asentoon pidemmäksi ajaksi. Yksi mahdollisuus on myös käyttää väliaikaisia ruuviliitoksia ja

tehdä varsinaiset liitokset hitsaamalla. Tämä ei sido nosturilaitteistoa pitkäksi aikaa.

Teräsrakenteiden asentamisessa käytettävät nostolaitteet ovat tavallisesti ajoneuvo- ja torninostureita. Ajoneuvonosturit ovat nykyisin tavallisimpia (ks. kuva 9.13). Eri malleja ja kokoja on saatavana suuri määrä, ja nostureiden nostokapasiteetti voi vaihdella alle 10 tonnista yli 100 tonniin.

Enimmäisnostokapasiteettia voidaan hyödyntää 3–6 metrin työskentelysäteellä, ja nostokapasiteetti pienenee selvästi työskentelysäteen kasvaessa. Torni- ja rakennusnostureita käytetään keskitetyillä korkeilla työskentelypaikoilla, joissa on tehtävä paljon nostoja. Torninosturin kaltevuus on tavallisesti suurempi ja tarkkuus huonompi kuin ajoneuvonosturissa.

Nostokustannukset eivät ole mikään merkityksetön kustannuserä. Niiden voidaan laskea muodostavan keskimäärin 3–8 prosenttia valmiiksi asennetun teräsrakenteen kustannuksista. Siksi asennustyö on tarpeen suunnitella niin, että nosturilaitteistoa käytetään tehokkaasti. Tämä on muun muassa yksi syy, jonka vuoksi asentamisessa on hyvä käyttää tukia tai ruuviliitoksia.

Asennustyössä tarvitaan usein työskentelytelineitä. Niiden on oltava turvallisia, tarjottava hyvät työskentelyolosuhteet, ja niiden pystyttämisen ja siirtämisen on käytävä nopeasti ja helposti. Turvallisuusvaatimukset ovat erittäin tärkeitä, eikä niitä saa laiminlyödä. Telineissä on oltava suojakaiteet. Kulkuteillä – niin telineiden aidoissa kuin palkin laipoissakin – on oltava kaide tai kädensija. Köydellä varustettu kaide voidaan kiinnittää palkkeihin erityisten kaidetolppien avulla. Ne kiinnitetään palkin laippaan puristimilla. Työskenneltäessä korkealla ilman turvakaidetta on käytettävä turvaköyttä. Myös liikkuvat työtasot (engl. *skylifts*) ovat tavallisia työskentelytelineitä.

Ruotsissa Arbetarskyddsstyrelsen on julkaissut teräsrakenteiden asentamista koskevat turvallisuusmääräykset [5].

Asennussuunnitelma, esivalmistettu runko, monikerroksinen rakennus

1. Asetetaan perustusruuvit / kemialliset ankkurit. Ruuvien asettamisen jälkeen on odotettava lämpötila huomioon ottaen riittävän pitkään, ennen kuin pilarit/seinäelementit asennetaan.
2. Pilarit ja seinäelementit asennetaan ja kiinnitetään säädettävillä vinotuilla suorakulmaisesti kahdesta (yhdestä suunnasta) kunkin välipohjan tasolla.
3. Tehdään laastipatja ja valetaan seinäelementtien saumat. Laastityyppi ja kuormitusta edeltävä aika on sovittava ilman lämpötilaa ja asennusosia vastaavaksi.
4. Välipohjapalkit asennetaan pilareiden ja seinäelementtien päälle.
5. Ei-toivottujen muodonmuutosten välttämiseksi tehdään väliaikainen tuenta erityisohjeiden mukaisesti.
6. Välipohjalaatat asetetaan paikoilleen. Raudoitusteräket ja sortumista ehkäisevät koukut hitsataan kiinni.
7. Laattojen välisen sauman sekä palkkien ja betoni-konstruktioiden välisen sauman laastaus samoin kuin koukulla varustettujen kanavien laastaus on hoidettava kunkin välipohjan ja asennusvaiheen osalta loppuun, ennen kuin seuraava aloitetaan. Saumalaasti sovitetaan ilman lämpötilaan ja rakennusosiin sopivaksi.
8. Rakennettaessa uutta kerrosta, jossa on pilarit, asento tarkastetaan ottaen huomioon rungolta vaadittu mitaustarkkuus.
9. Rakennustarkastajan ja tarkastajan on annettava tarkastaa konstruktio, ennen kuin se peitetään seuraavissa vaiheissa.

Kuva 9.10 Esimerkki asennussuunnitelmasta.

Jokaisen rakennusalan työnantajan täytyy tuntea rakennustyöhön sovellettavat työympäristömääräykset. Alakohdittaiset sääntöpakettit ovat saatavissa Arbetsmiljöverketin kotisivuilta osoitteesta www.av.se (ks. kohta "branschpassade regelpaket").

SIS julkaisee nostotekniikkaa koskevia käsikirjoja (Lyytteknik 1, Lyytteknik 3 ja Lyytteknik 4, ks. www.sis.se/lyftekknik).

9.3.1 Rungon asentaminen

Asentaminen alkaa perustuksesta, joka tehdään pääsääntöisesti betonista. Useimpien teräsrakenteiden asentamisessa käytetään pohjalevyjä ja upotettuja perustusruuveja (ks. kappale 8.2).

Asentamisessa voidaan myös käyttää hitsausta tai ruuviliitoksia, jotka tehdään valettuihin levyihin tai teräspenrustukseen.

Perustus ja perustusruuvit on tarkastettava ennen asentamisen aloittamista ja mieluiten niin hyvissä ajoin, että runkoon voidaan tehdä tarpeelliset muutokset konepajalla. Pohjalevyihin tehdään ylisuuret reiät kompensoimaan perustusruuvien pienet mittauserot.

Pilarit asennetaan normaalisti neljällä perustusruuvilla. Perustusruuvit ja pohjalevyt on suunniteltava niin, että pilari kestää kuormituksen asennuksen aikana ilman ylimääräisiä jäykisteitä. Suorituksen ja mahdollisen jäykistämisen jälkeen mutterit kiristetään ja pohjalevy valetaan betoniin. On tärkeää, että valaminen tehdään huolellisesti, niin että pilarin kuormitus jakautuu kunnolla pohjakonstruktioon.

Tämän jälkeen asennetaan palkit, poikittaistangot ja muut rakenneosat sopivassa järjestyksessä (ks. kuva 9.14). Asen-

tamisen helpottamiseksi ja nostureiden käyttöajan lyhentämiseksi rakenne pyritään suunnittelemaan niin, että palkit ja muut osat voidaan nostaa uloketuille ja kiinnittää väliaikaisesti asennusruuveilla.

Sitä mukaa kuin asentaminen edistyy, rakennusta suoritetaan pysyvien tuuliliitosten tai tilapäisten jäykisteiden avulla. Tuuliliitoksilla tarkoitetaan poikittaistankoja, jotka ottavat vastaan horisontaalisen kuorman. Asentaminen aloitetaan stabiloivasta rakenneosasta. Suoristus ja jäykistys tehdään sitä vasten.

Suorituksen jälkeen asennusruuvien lisäksi kaikkiin reikiin lisätään ruuvit ja liitosta vedetään niin, että kosketuspinnat ottavat kunnolla yhteen, tai se esikiristetään. Ruuvit kiristetään pääasiassa iskevällä mutterinkiristimellä tai, jos kyse on ainoastaan muutamasta ruuvista, käsikäyttöisin työkaluin.

Kattopalkit – niin hitsatut levypalkit kuin ristikkopalkitkin – asennetaan täyteen pituuteensa (ks. kuva 9.15). Ne ovat usein vapaasti tuettuja pilarin päistä. Jos orret ovat IPE- tai HEA-tankoa, ne asetetaan kattopalkkien varaan sekä kiinnitetään ruuveilla ja liitetään nivelliitoksilla. Jos kevytpalkkeja käytetään, ne asetetaan limittäin ja kiinnitetään itsekiertyvillä ruuveilla kattopalkin jäykistetyksi.

Seinien sekundaarikonstruktioit seinäelementtien, eristeiden ja julkisivumateriaalin kiinnittämistä varten asennetaan rungon jälkeen ja kiinnitetään ruuviliitoksien.

Teräsrakentaja asentaa monikerroksisiin runkoihin rungon lisäksi usein myös välipohja- ja seinäelementit sekä kattorakenteen (ks. kuva 9.16). Teräsrakentaja vastaa myös usein rungon stabiloinnista ja asentaa rappukäytävät, jos ne on esivalmistettu. Tarvittaessa teräsrakentaja vastaa normaalisti myös teräsrungon eristämisestä tulipalon varalta.



Kuva 9.11 Ruuvi-liitoksen asentaminen.

9.3.2 Väliaikainen jäykistäminen

Asennusvaiheessa on varmistettava, että konstruktio ja sen osat ovat stabiileja. Monissa tapauksissa runko itsessään on stabiili vasta, kun se on asennettu valmiiksi. Tällöin tarvitaan väliaikaisia jäykisteitä. Mikäli jäykistäminen on riittämätöntä, tuulen aiheuttama kuormitus tai vinoon asentamisesta aiheutuvat voimat saattavat aiheuttaa sortumisen. Väliaikaisen jäykisteen laajuus riippuu asennusjärjestyksestä ja siitä, kuinka valmis konstruktio stabiloidaan.

Väliaikaisessa jäykistämässä käytetään pääsääntöisesti seuraavia:

- vaijerituki
- vinotuki
- poikittaiset tangot ja ristiliitokset
- holvituet ja -palkit

Tuetut pilarit ja kehät (ks. kappale 5.2.2) vähintäänkin samassa suunnassa, ja kukin niistä on stabiloitu, minkä vuoksi asentaminen ja pintaelementtien kiinnittäminen voidaan hoitaa normaalisti mielivaltaisessa järjestyksessä.

Pilareita, joita pidetään laskennallisesti nivellettyinä, ei voida kuormittaa, ellei niitä jäykistetä. Pilarit voidaan jäykistää vaijerituilla tai vinotuilla (ks. kuva 9.17). Kun jäykistäminen tehdään vaijerituilla, on varmistettava, että tuet ovat riittävän jännitetyt ja että ne pysyvät paikoillaan.

Korkeat, vapaasti tuetut palkit, kuten kattopalkit, on normaalisti jäykistettävä niin, etteivät ne heilu, ennen kuin ne jäykistetään pysyvästi kattorakenteella. Yksi tai useampi kattopalkki voidaan jäykistää väliaikaisesti vaijerituilla.

Rakennukseen, joka stabiloidaan poikittaisliitoksien avulla, ei saa asentaa seiniä, ennen kuin runko on stabiloitu. Seiniin kohdistuu tuulen aiheuttamaa kuormitusta, ja ellei runko ole stabiloitu, tuuli voi puhaltaa sen kumoon. Rungon asennettuun osaan on toki mahdollista tehdä väliaikaisia liitoksia. Usein tällaisten väliaikaisliitosten annetaan jäädä paikoilleen. Kun rakennus stabiloidaan katon levyvaikutuksen avulla, koko kattolevyn on oltava asennettu, ennen kuin seinien asentaminen voidaan aloittaa.



Kuva 9.12 Liitoksen hitsaaminen.



Kuva 9.13 Ajoneuvonosturi.

Useimmat teräskonstruktiioihin liittyvät vahingot johtuvat siitä, ettei rakenteita ole jäykistetty asennuksen yhteydessä tai että jäykistäminen on ollut puutteellista. Jäykistämistä asentamisen aikana vastaa ensisijaisesti paikalla oleva vastaava työnjohtaja. Asennussuunnitelman on sisällettävä soveltuvia tietoja väliaikaisesta jäykistämisestä.

9.3.3 Hitsaaminen rakennuspaikalla

Hitsaustyö on tehtävä hitsaussuunnitelman mukaisesti (ks. kappale 9.1.4 ja esimerkki kuvassa 9.18). Kun rakennuspaikalla tai jo olemassa olevissa rakenteissa tehdään hitsaus- tai kaasuleikkaustöitä, syttymisen ja tulipalon ehkäisemiseksi on toteutettava tarpeelliset turvallisuustoimenpiteet. Ennen kuin vanhoja konstruktiota aletaan hitsata peruskorjaus- ja vahvistustöiden yhteydessä, on tarkistettava, onko vanha materiaali hitsauskelpoista. Viitteestä [6] löytyy ohjeita tällaisen teräksen hitsattavuuden arvioimiseen.

Hitsattaessa tai leikattaessa konstruktiota, joihin kohdistuu kuormitusta, on noudatettava varovaisuutta, jotta rakenteen kantokyky ei heikkene liikaa kuumentumisen tai poikkipinta-alan pienenemisen takia. Lämpötilaa voidaan valvoa termoelementin tai lämpöliitujen avulla. Liidun väri muuttuu lämpötilan mukaan. Varovaisesti arvioiden myötörajan katsotaan alkavan laskea 200 °C:n lämpötilassa ja laskevan puoleen noin 450 °C:n lämpötilassa.

Ulkona hitsattaessa railon kylkien on oltava täysin kuivat. Ulkona hitsattaessa ei tarvitse määritellä mitään lämpötilan alarajaa. (Ks. myös AFS 1992:9 *Smältsvetsning och termisk skärning*.) Hitsaajan on tärkeää suojata hitsiä mahdolliselta sateelta ja huonolta säältä.

9.4 TARKASTUS

On tarkastettava, että teräsrakenne tehdään voimassa olevien määräysten ja rakennusselvityksen mukaisesti (ks. kappale 12).



Kuva 9.14 Rakenteilla oleva teräsrunko, asennustyöt kesken.



Kuva 9.15 Suuren kattorakenteen nostaminen.

Tarkastukset voidaan jakaa materiaalia ja työn toteutusta koskeviin tarkastuksiin.

BKR 7:ssä mainitaan käsite ”rakennustuotteet, joiden ominaisuudet on vahvistettu”. Tällaisten tuotteiden kohdalla voidaan tehdä yksinkertaistettu vastaanottotarkastus. Ominaisuudet voidaan vahvistaa neljällä eri tavalla. Ne ovat

- a) tyyppihyväksyntä / valmistuksen tarkastus
- b) CE-merkintä
- c) tuotesertifiointi
- d) valmistuksen ja tuotannon sertifioitu valvonta.

Rakennustuotteiden ominaisuuksien vahvistaminen tarkoittaa sitä, että ainoastaan valmistajan ilmoittamat ominaisuudet on vahvistettu. Se ei siis ole minkäänlainen tae siitä, että tuote soveltuu suunniteltuun käyttötarkoitukseen.

Tarkastuksen toteuttamisesta ja selvityksestä vastaa vastaava työnjohtaja. Tarkastuksista on pidettävä kirjaa.

9.4.1 Materiaalin tarkastaminen

Materiaalin tarkastaminen suoritetaan suurelta osin valmistajan itse tekemien tarkastusten muodossa.

Materiaali/rakennustuote on tarkastettava b)-vaihtoehdon (CE-merkintä) yhteydessä. Monet ovat kuitenkin yhä epävarmoja siitä, mitä CE-merkinnät todella tarkoittavat, koska EU-maat ovat arvioineet, että on asetettava laajaja lisävaatimuksia, jotta CE-merkityt tuotteita voidaan käyttää kantavissa rakenteissa.

BKR-vaatimusten mukaisesti materiaalin mukana toimitettava asiakirja on tarkistettava sen varmistamiseksi, että toimitettujen materiaalien tiedot vastaavat sitä, mitä on tilattu. On myös tarkastettava, että tuote soveltuu suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Tämä on tehtävä osittain ennen materiaalin tilausta, osittain vastaanottotarkastuksen yhteydessä.



Kuva 9.16 Välipohjaelementtien asentaminen.



Kuva 9.17 Pilareiden jäykistäminen ankkurointituilla.

9.4.2 Työn toteutuksen tarkastaminen

Työn toteutus on tarkastettava sekä konepajalla että rakennuspaikalla.

Työn toteutus konepajalla ja muu rakennuspaikan ulkopuolella tapahtunut valmistus on tarkastettava osapuilleen seuraavalla tavalla:

Jos valmistajat kuuluvat SBS:ään tai muuhun vastaavaan elimeen, joka hoitaa tuotesertifiointia tai tuotannon tarkastamista koskevia kysymyksiä, niiden on suoritettava itse tarkastuksia SBS:n sääntöjen tai muiden vastaavien sääntöjen mukaisesti (ks. www.nordcert.se). Tarkastus perustuu laatujärjestelmään, ja sertifiointielin valvoo sitä tekemällä tarkastuskäyntejä. Toimituksen yhteydessä konstruktion merkinnöistä ja toimitusasiakirjoista on käytävä selvästi ilmi, että tuotteen valmistusta on valvottu.

Rakennuttajan valitseman, riippumattoman asiantuntijan suorittama valmistuksen ja asentamisen jatkuva valvonta. Kansallisesta liitteestä (*nationellt annex*) ilmenee, millaista pätevyyttä asiantuntijalta edellytetään. Tarkastuksen yhteydessä arvioidaan urakoitsijan edellytyksiä valmistaa kyseinen konstruktio (muun muassa konepajan konekantaa, valmistus- ja valvontarutiineja ja henkilökunnan osaamistasoa). Riippumattoman asiantuntijan on tehtävä tarkastuksesta kattava raportti.

Työn toteutuksen tarkastukseen kuuluu perustarkastus, joka muodostuu yleisistä tarkastustoimista, jotka eivät kohdistu mihinkään tiettyyn tuotteeseen, sekä lisätarkastus, joka muodostuu yksittäistä konstruktiota koskevista erityistarkastustoimista. Tätä varten rakentajan on laadittava lisätarkastussuunnitelma (ks. esimerkki kuvassa 9.19).

Perus- ja lisätarkastuksen laajuutta koskevat yleisohjeet ilmenevät kansallisesta liitteestä.

Tarkastusten määrää voidaan vähentää minimiin, jos tuotteiden mukana toimitetaan sertifikaatti, jossa vahvistetaan tuotteen soveltuvuus (esimerkiksi SBS-merkinnällä, ks. www.nordcert.se).

Sellaisten tuotteiden mukana, joiden ominaisuuksia ei ole vahvistettu, toimitetaan SS-EN 10204 -standardin mukaisesti 3.2-tyyppin tarkastustodistus, jolloin valmistaja on testannut tavaran erityistarkastajan läsnä ollessa. Tarvittaessa valmistajan kokeita on täydennettävä kokeilla, joissa käytetään satumanvaraisesti valittuja näytteitä. Näin varmistetaan, että toimitetut tuotteet vastaavat 3.2-tyyppin todistusta.

Materiaalin, jota ei ole tarkastettu edellä mainitulla tavalla, on käytävä läpi kokonaisvaltainen vastaanottotarkastus hyväksytyin näytteenottosuunnitelman mukaisesti.

Kun tuotteiden sopivuutta suunniteltuun käyttötarkoitukseen ei ole vahvistettu, rakennuttajan valitsema riippumaton asiantuntija voi vahvistaa niiden soveltuvuuden jälkikäteen.

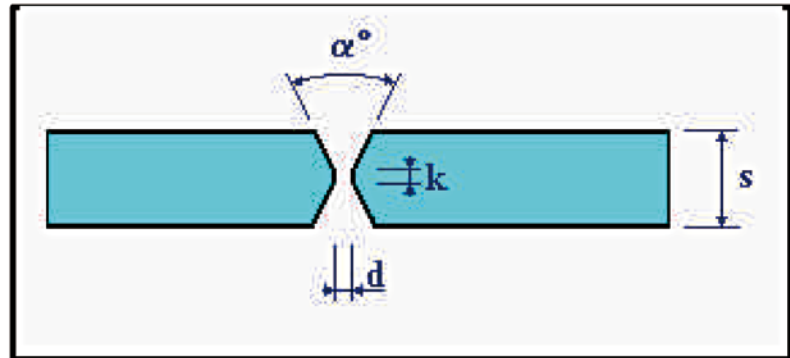
HITSAUSSUUNNITELMA HE-PALKIN LIITOKSEN TEKEMINEN

Materiaali: HEA- tai HEB-tyyppinen palkki (teräs: S275 JR tai S355 Jo. Opt. 5,7)

Hitsausmenetelmä: Metallikaarihitsaus käsin (MMA)

Railotyyppi ja railon valmistus: ks. alla oleva kuva ja taulukko

Silloitus: Sillat tehdään elektrodilla, jonka halkaisija on 2,5 mm, minimipituus 40 mm.



| | Uumalevy | | Laippalevy | |
|--------------------------|-----------|------------|------------|------------|
| Materiaalin paksuus | 5 - 10 mm | 11 - 19 mm | 8 - 24 mm | 25 - 36 mm |
| Hitsauspintojen alkuväli | 2 mm | 2 mm | 2 mm | 2 mm |
| Kohtisuora kylki | 1 mm | 2 mm | 2 mm | 3 mm |
| Railokulma | 40° | 50° | 50° | 50° |

Hitsaussarja: Hitsausjärjestys kuvan mukaisesti

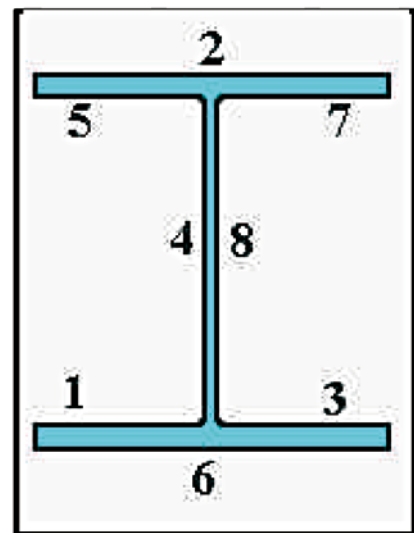
Hitsausasento: Horisontaalinen, vertikaalinen

Elektrodityyppi: EN499 E42 4 BHS, esim. OK48.05

Elektrodin koko: halkaisija 3,25 mm / pohjapalkko;
halkaisija 4,0 mm / muut palot

Tarpeelliset toimenpiteet ennen hitsausta, hitsauksen aikana ja sen jälkeen:

Railon kyljet puhdistetaan ennen hitsausta ja sen jälkeen. Maalipintaa parannellaan tarvittaessa hitsauksen jälkeen. Hionta ennen esim. palkoa nro 6.



Työskentelylämpötila:

Kasvanutta työskentelylämpötilaa on SS 06 40 25 -standardin mukaisesti valvottava vain, jos teräksen paksuus on yli 25 mm. Materiaali S355JO.

Kuva 9.18 Esimerkki hitsaussuunnitelmasta.

9.4.3 Tarkastusmenetelmät

Kiinnitysosien valmistajalla on oltava ISO 9001 -standardin mukainen tai sitä vastaava laadunvarmistusjärjestelmä. Jokainen valmistusyksikkö on testattava ja dokumentoitava SS-EN 10204 -standardin mukaisesti 3.1B-todistuksella. Kvalitatiivisen mittaustuloksen on käytävä ilmi todistuksesta. Jäljitettävyyden varmistettava. Sinkityistä 10.9-ruuveista on toimitettava myös vedynpoistoa koskeva todistus.

Rakennuspaikalla on tarkastettava, että on asennettu oikea määrä ruuveja ja että mutterit on kiristetty (ks. kapale 4.2). Kun konstruktiossa on käytetty voimakkaasti esijännitetyjä ruuveja, kiristysmenetelmä on varmistettava vääntökulman merkinnän osalta on tehtävä pisto-koetarkastus.

Hitsit tarkastetaan etupäässä seuraavin menetelmin:

- SS-EN 970 -standardin mukainen visuaalinen tarkastus (käsittää myös mittaustarkastuksen)
- SS-EN 1435 -standardin mukainen päittäishitsien radiografinen kuvaus
- SS-EN 1714 -standardin mukainen perusmetallin ja päittäishitsien ultraäänikoe
- SS-EN 1290 -standardin mukainen pienahitsien magneettijauhetaarkastus
- SS-EN 571 -standardin mukainen tunkeumanestetaarkastus.

Testauksen yhteydessä sovellettavat laatuvaatimukset ilmoitetaan SS-ISO 5817 -standardissa, ks. myös eurokoodi 3:n osa 1-8 ja kansallinen liite. Viitteen [1] kansallisissa säännöissä ilmoitetaan SS-ISO 5817 -standardia täydentävät lisävaatimukset, jotka koskevat kehäreunoja hitsausluokassa (W)C, jotka sittemmin lisätään ENV 1090-1 -standardin kansalliseen liitteeseen. Tietoa hitsausvirheiden luokittelusta löytyy standardista SS-ISO 6520.

Visuaalinen tarkastus, jonka tekee kokenut tarkastaja tai työnjohtaja, on tärkein tarkastusmenetelmä. Siihen kuuluu rakenteen järjestelmällinen läpikäyminen sekä sen varmistaminen, että kaikki osat ovat paikoillaan ja että kaikki on tehty piirustusten mukaisesti. On myös tarkastettava, että työ on tehty asiamukaisesti oikeassa asentamisjärjestyksessä ja että asentamisen aikana on käytetty väliaikaisia rakenteita ja jäykisteitä.

Radiografisella kuvauksella eli ns. röntgentarkastuksella varmistetaan, ettei hitseissä ole sisäisiä virheitä. Röntgentarkistus tehdään pääsääntöisesti sattumanvaraisia näytteitä käyttäen. Tavallisesti tarkastetaan 10 prosenttia hitsin pituudesta, mutta prosentuaalista osuutta voidaan nostaa, jos virheitä löytyy paljon. Tärkeät hitsit voidaan tarkastaa kokonaan (sataprosenttisesti) radiografisella kuvauksella. Menetelmällä on kuitenkin rajoituksensa vakavien virheiden, kuten halkeamien ja liitosvirheiden havaitsemisen suhteen, ja siksi se korvataan usein ultraäänikokeella.

Ultraäänikokeessa tarkastetaan myös perusmateriaali, joka siirtää hitsiliitosten kautta vetovoimia paksuussuunnassa.

Magneettijauhetaarkastus tarkoittaa, että testattava kohde magnetisoidaan ja sen pintaan levitetään magneettista pulveria, joka voi olla kuivaa tai nesteeseen sekoitettua. Halkeamat ja vastaavat pinnan epätasaisuudet aiheuttavat magneettikentän häiriöitä, ja magneettijauhe kerääntyy näihin kohtiin. Menetelmää käytetään myös sen tarkistamiseksi, onko pienahitsien pinnassa halkeamia. Sitä voidaan käyttää maalaamattomaan tai ohuesti maalattuun pintaan.

Tunkeumanestetaarkastus tarkoittaa, että tarkastettavan kohteen pinnalle levitetään nestettä. Neste tunkeutuu avoimiin halkeamiin ja paljastaa ne. Menetelmä on nopea, mutta se edellyttää maalaamatonta, puhdistettua hitsauspintaa.

KIRJALLISUUTTA

- [1] Boverkets Konstruktionsregler, BKR, Karlskrona 2003 (ks. Internet-linkit)
- [2] BSK 99 – Bestämmelser för stålkonstruktioner, Boverket och AB Svensk Byggtjänst, Tukholma
- [3] Lundqvist B., Sandvik Welding Handbook, Sandvik publ So,34SWE, Sandvik AB (1980)
- [4] Toleranser för stålkonstruktioner, Publikation 112, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1992)
- [5] Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om byggnads- och anläggningsarbete (AFS 1999:3) Montering av stål, Arbetskyddsstyrelsen (1978)
- [6] Stenbacka N., Bedömning av svetsbarhet – speciellt hos äldre konstruktionsstål, Publikation 83, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1983)
- [7] Weman Klas. Svetshandbok. Karlebo-Serien. Liber förlag, Tukholma (2002)
- [8] ESDEP, kappale 3 Construction: 3.1.1 General Fabrication of Steel Structures I. 3.1.2 General Fabrication of Steel structures II. 3.2.1 Erection I. 3.2.2 Erection II. 3.2.3 Erection III. 3.3 Principles of Welding. 3.4 Welding Process. 3.5 Fabrication/Erection of Buildings. 3.6 Inspection/Quality Assurance. Tekstit ovat myös saatavissa ruotsinkielisinä SBI:stä.
- [9] Lukuun ottamatta osaa 1 (ENV 1090 – Del 1) saatavana on osat 2, 3, 4, 5 ja 6, jotka ovat seuraavat:
SS – ENV 1090 – 2, Execution of steel structures – Part 2. Supplementary rules for cold formed thin gauge components and sheeting.
Stålkonstruktioner – Utförande – Del 2: Tilläggsregler för tunna kallformade element och plåt.
SS – ENV 1090 – 3: Execution of steel structures – Part 3: Supplementary rules for high yield strength steels. Stålkonstruktioner – Utförande – Del 3: Tilläggsregler för höghållfast stål.
SS – ENV 1090 – 4, Execution of steel structures – Part 4: Supplementary rules for hollow section structures. Stålkonstruktioner – Utförande Del 4: Tilläggsregler för hålsektioner.
SS – ENV 1090 – 5, Execution of steel structures – Part 5: Supplementary rules for bridges. Stålkonstruktioner – Utförande Del 5: Tilläggsregler för broar.
SS – ENV 1090 – 6, Execution of steel structures – Part 6: Supplementary rules for stainless steel. Stålkonstruktioner – Utförande Del 6: Tilläggsregler för konstruktioner av rostfritt stål.
- [10] Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Osa 1-8: Liitokset ja solmukohtat, sekä kansallinen liite (*Nationellt Annex do*).
- [11] Bra arbetsmiljö vid stål- och betongelementmontering, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1995)
- [12] Vägverket, Bro 2004, Vägverket, Borlänge (2004)
- [13] Birgersson, B., Karlström, P., Kostnadseffektiva Stålentreprenader, Stålbyggnadsinstitutet (2004)

INTERNET

[www.boverket.se/publikationer/
boverketskonstruktio.htm](http://www.boverket.se/publikationer/boverketskonstruktio.htm)
www.nordcert.se
www.stbk.se
www.ewf.be
www.eurokoder.se
www.av.se
www.sis.se

TEKIJÄT

Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen on kirjoittanut Bengt Sehlå. Hän on myös uudistanut tämän painoksen kappaleen.



10. PALOTURVALLISUUS

Paloturvallisuustoimenpiteillä pyritään ennen kaikkea estämään tulipaloa aiheuttamasta henkilövahinkoja mutta myös pienentämään omaisuusvahinkoja ja rakennuksen käyttöön kohdistuvia vaikutuksia. Viranomaiset laativat paloturvallisuusmääräykset, mutta myös tilaajat ja käyttäjät voivat asettaa omia vaatimuksiaan.

Myös vakuutusyhtiöt vaativat toimenpiteitä, joilla voidaan rajoittaa omaisuusvahinkoja ja rakennuksen käyttöön kohdistuvia vaikutuksia. Vakuutusmaksuun vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa paloturvallisuustoimenpiteet, vakuutuksenottajan kiinteistökatanta, vakuutusyhtiön markkinastrategia, jälleenvakuutusmarkkinat, vakuutusyhtiön aikaisempi vakuutuskanta ja riskiluokitus.

Viranomaisten, tilaajien ja vakuutusyhtiöiden asettamat vaatimukset ovat paloturvallisuussuunnittelun perustana.

10.1 PALOTURVALLISUUS-SUUNNITTELU

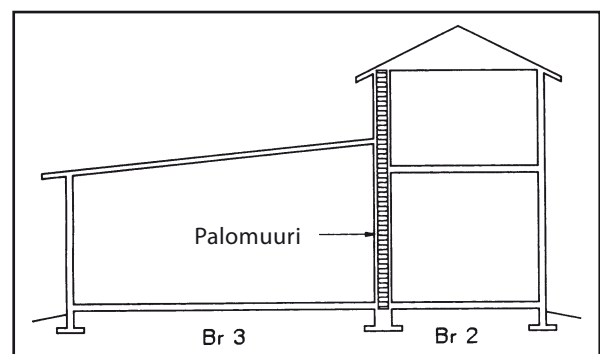
Tässä kappaleessa käsitellään yleisesti paloturvallisuussuunnittelua. Lisätietoja löytyy SBI:n paloturvallisuutta koskevista julkaisuista [1, 2, 3 ja 4].

Yksikerroksisen hallirakennuksen rungon kantavia rakenteita ei tarvitse yleensä eristää tulipalon varalta, koska paloturvallisuutta koskeva vaatimustaso on usein matala. Sitä vastoin monikerroksiset rakenteet vaativat yleensä paloeristyksen. Hyvän ja taloudellisen ratkaisun löytämiseksi on tärkeää, että paloturvallisuusasioihin kiinnitetään huomiota suunnittelun varhaisessa vaiheessa.

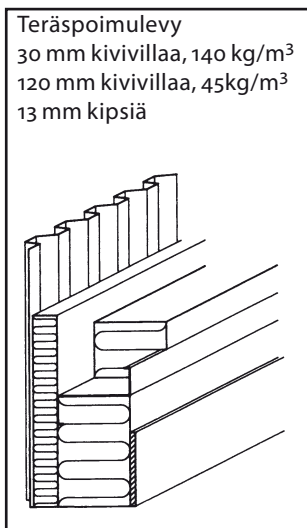
10.1.1 Paloturvallisuusluokitus

Vaadittava palosuojaus riippuu rakennuksen paloluokituksesta. Paloluokka määräytyy muun muassa kerrosmäärän, palokuorman, rakennuksen sisäisten jakojen ja tilojen käyttötarkoituksen perusteella. Luokat vastaavat eri vaatimustasoja. Nykyisten rakennusmääräysten mukaan luokkia on kolme: BR1, BR2 ja BR3. Kovimmat vaatimukset kohdistuvat BR1-luokan rakennuksiin. Normaalisti koko rakennuksen on kuuluttava samaan luokkaan, mutta jos rakennuksen matalampi osa on erotettu paloteknisesti korkeammasta osasta, osilla voi olla eri luokitus (ks. kuva 10.1).

Rakennuksen eri osille asetetaan eri vaatimukset niiden luokituksen perusteella. Vaatimuksia voidaan asettaa erottaville ja/tai kantaville rakenteille. Luokat on merkitty kirjaimilla R (kantavuus), E (tiiviyys) ja I (eristävyys). Merkintöjen R, RE, E, EI ja REI jälkeen ilmoitetaan vaadittava palonkestävyyssika, joka voi olla 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 tai 360 minuuttia. Luokkiin voidaan yhdistää myös lisämer-



Kuva 10.1 Palomuri voi jakaa eri paloteknisiin luokkiin palomuurin avulla.



Kuva 10.2 Muuri, jonka palonkestävyysaika on 90 minuuttia.

kintä M, kun mekaanisiin vaikutuksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota, tai C, kun ovet on varustettava automaattisella sulkeutumisjärjestelmällä.

Tämän lisäksi käytetään materiaaliin, päällysteeseen ja pintakerrokseen liittyviä luokitusmerkintöjä. Vaatimukset ilmoitetaan luokitusnimikkeillä A1, A2, B, C, D ja E ja lisäluokien erityisinä yhdistelminä. Luokassa A1 vaatimukset ovat tiukimmat: konstruktiossa on käytettävä palamattomia materiaaleja. Sen sijaan luokassa E vaatimustaso on matalin, ja konstruktiossa voidaan käyttää palavia materiaaleja. Esimerkkinä A1-luokan rakenteesta, joka on valmistettu pääasiassa palamattomista materiaaleista, voidaan mainita kivivillalla eristetty teräslevyseinä. Seinä toimii erottavana rakennusosana ja kestää palamista 90 minuuttia (ks. kuva 10.2). Myös lattianpäällysteille, kattopinnoille, putkien eristeille yms. voidaan asettaa vaatimuksia.

Näiden luokkien lisäksi on olemassa lisäluokkia, jotka liittyvät palokaasujen ja palavien pisaroiden määrään (ks. taulukko 10.1). Luokat A2, B, C ja D yhdistetään aina johonkin lisäluokkaan (esimerkiksi A2-s1, do). A1-luokassa vaatimustaso on korkein, eikä sitä voida yhdistää mihinkään lisäluokkaan.

| Palokaasut | Palavat pisarat |
|-----------------------------|------------------------------|
| s1 (hyvin rajallinen määrä) | do (ei lainkaan pisarointia) |
| s2 (rajallinen määrä) | d1 (rajallinen määrä) |
| s3 (ei rajoitusta) | d2 (ei rajoitusta) |

Taulukko 10.1 Palokaasujen ja palavien pisaroiden määrään perustuvat lisäluokat.

Palon leviäminen ja savuntuotto huoneessa riippuu suuressa määrin katon ja seinien pintakerroksen paloteknisistä ominaisuuksista. Pintakerroksella tarkoitetaan useimmiten tapettia tai katto- tai seinäpäällysteiden väriä eli rakennuksen sellaisen osan pintaa, joka altistuu varhaisessa vaiheessa palon vaikutukselle. Mikäli pintakerrosta ei ole, pintalevyn ominaisuuksilla on ratkaiseva merkitys. Pintakerros jaetaan kolmeen luokkaan, jotka ovat B-s1, do; C-s2, do ja D-s2, do.

Luokitusjärjestelmä viittaa myös vanhoihin pintakerrosluokkiin I, II ja III (ks. taulukko 10.2).

| Luokitusmerkintä | Aikaisempi nimike |
|------------------|--|
| A1 tai A2-s1, do | Palamaton materiaali |
| B-s1, do | Pintakerrosluokka I |
| C-s2, do | Pintakerrosluokka II |
| D-s2, do | Pintakerrosluokka III |
| E | Luokassa E vaatimustaso on matalin, ja se voidaan yhdistää vain d2:een. Vapaa E merkitse, että tietyt pisarointivaatimukset täyttyvät. |

Taulukko 10.2 Vastaavuustaulukko: uudet luokitusmerkinnät ja aikaisemmat nimitykset.

10.2 TULIPALO

Tulipalon kehittyminen edellyttää kolmea yhdessä toimivaa tekijää: happea, lämpöä ja polttoainetta (ks. kuva 10.3). Palon sammuttamiseksi ainakin yksi tekijä on poistettava. Tulipalon sammuttaminen vedellä perustuu palon jäähdyttämiseen. Sen sijaan esimerkiksi vaahtosammutus perustuu siihen, ettei tuli saa happea.



Kuva 10.3 Tulipalon edellytykset.

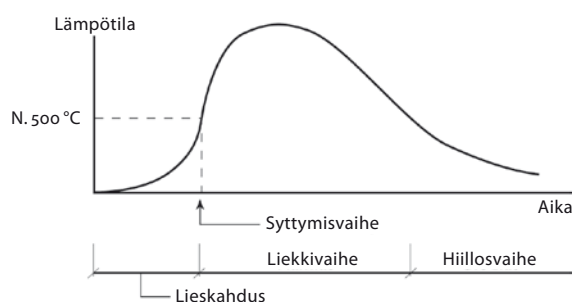
10.2.1 Tulipalon eteneminen

Kontrolloimattomassa tulipalossa (eli palossa, joka saa palaa vapaasti, ilman että sitä yritetään sammuttaa) lämpötilan kehitys voidaan jakaa kuumenemis- ja jäähdytysvaiheeseen. Liekin kehittymisen osalta palo voidaan jakaa syttymisvaiheeseen, liekkivaiheeseen ja hiillosvaiheeseen (ks. kuva 10.4).

Syttymisvaihe

Tulipalo voi alkaa esimerkiksi niin, että roskakori, verho tai vuode syttyy. Sanomalehtipaperi syttyy noin 185 °C:n lämpötilassa ja puu normaalisti 250–300 °C:n lämpötilassa. Kun palaminen alkaa, lämpötila nousee ja palavasta materiaalista alkaa vapautua palokaasuja.

Syttymisvaiheessa huone tai rakennus on mahdollista tyhjentää. Pelastuspalvelulla on tuolloin hyvät mahdollisuudet sammuttaa palo. Kuitenkin jo varhaisessa vaiheessa,



Kuva 10.4 Kontrolloimattoman tulipalon eteneminen.

ennen kuin lämpötila nousee hengenvaaralliseksi, savun ja myrkyllisten kaasujen pitoisuus huoneessa kasvaa vaaralliseksi. Savu ja kaasut aiheuttavatkin eniten kuolemantapauksia tulipaloissa. Sen sijaan rakennuskonstruktioiden kannalta tämä vaihe ei ole vielä kriittinen.

Liekkivaihe

Palokaasut kerääntyvät kattoon, ja kaasukerros kasvaa vähitellen. Palokaasut syttyvät nopeasti, ja koko huone täyttyy hetkessä liekeillä. Tätä kutsutaan lieskahdukseksi. Asuinhuoneistossa lieskahtaminen tapahtuu normaalisti 5–10 minuuttia syttymisen jälkeen. Lyhyt aika johtuu siitä, että asuinhuoneistossa on paljon synteettisiä materiaaleja, kuten huonekaluja, mattoja ja verhoja.

Tulipalo voi laantua tai sammua pienessä huoneessa hapen loppuessa. Jos tuli saa kuitenkin happea esimerkiksi niin, että ikkunaruuutu särkyä, palamattomat palokaasut voivat syttyä ja voi tapahtua ns. palokaasuräjähdyks.

Liekkivaiheessa tulipalon lämpötila on tavallisesti 900–1000 °C. Jos palo jatkuu pitkään, rakennuskonstruktion lämpötila kasvaa. Tämä vähentää rakenteiden lujuutta, ja näin ollen rakenteiden kantavuus voi vähentyä riittämättömälle tasolle.

Hiillosvaihe

Jos palopesäke saa vapaasti happea, palon kesto ja voimakkuus riippuu siitä, kuinka paljon huoneessa ja sitä ympäröivissä rakenteissa on palavaa materiaalia. Lopuksi palo laantuu jäähtymisvaiheeseen. Hiilijäämissä jatkuu hehku-palo, jonka lämpösäteily voi olla voimakasta.

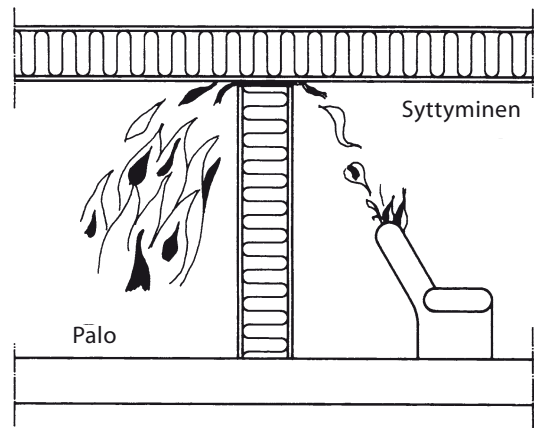
10.2.2 Tulipalon leviäminen

Tulipalon leviämistä pyritään ehkäisemään jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Tämä tehdään palonehkäisyn keinoin (ks. kappale 10.3).

Tulipalo voi levitä nopeasti, kun palavat tai kuumat, syttymättömät palokaasut virtaavat rakennuksessa. Tulipaloo voidaan estää leviämistä tällä tavalla käyttämällä palo-osastojen välillä erottavia seiniä, välipohjia ja palo-ovia. On tärkeää ottaa huomioon se, että palo voi myös levitä ilmastointikanavien ja kuilujen kautta. Mikä rakennusta ei suunnitella tai rakenneta asianmukaisesti, palokaasut voivat levitä nopeasti muihin palo-osastoihin ilmastointikanavien ja kuilujen kautta. Esimerkkejä palo-osastoista näkyy kuvassa 10.8. Palo voi myös levitä pystysuoraan julkisivua pitkin niin, että syttymättömät kaasut virtaavat ulos ikkunasta ja syttyvät, kun ne pääsevät kosketuksiin hapen kanssa.

Palo-osastoja erottavia konstruktioita rakennettaessa on tärkeää tehdä rakenteiden välisistä liitoksista sellaiset, että ne kestävät paloa yhtä hyvin kuin itse rakenne. Monien suurpalojen yhteydessä on huomattu, että palon leviäminen on johtunut liitosten detaljeissa olleista puutteista (ks. kuva 10.5).

Kun osa rakennuksesta on lieskahtanut, ei paloa ole usein enää mahdollista sammuttaa. Silloin pelastuspalvelu pyr-



Kuva 10.5 Konstruktioiden väliset liitokset on suunniteltava tulipalon mahdollisuus huomioon ottaen.

kii estämään palon leviämisen rakennuksen muihin osiin tai läheisiin rakennuksiin esimerkiksi päästämällä palokaasuja ulos rakennuksesta ja suihkuttamalla rakennukseen vettä. Lähellä oleva rakennus voi myös syttyä lämpösäteilyn vaikutuksesta.

10.3 PALONEHKÄISY

Palonehkäisyn tarkoituksena on estää tulipaloo leviämistä, pelastaa ihmishenkiä ja suojata omaisuutta. Palontorjunta rakennuksessa voi käsittää aktiivisia ja passiivisia toimia. Niihin vaikuttavat monet seikat:

- kerrosten määrä
- rakennuksessa käyttötarkoitus
- rakennuksen suunnittelu
- materiaalivalinnat
- taloudelliset näkökohdat
- toimien yhteisvaikutus muiden palontorjuntatoimien kanssa
- etäisyys naapurirakennuksiin.

Aktiivisiin laitteisiin ja aktiiviseen toimintaan kuuluvat esimerkiksi

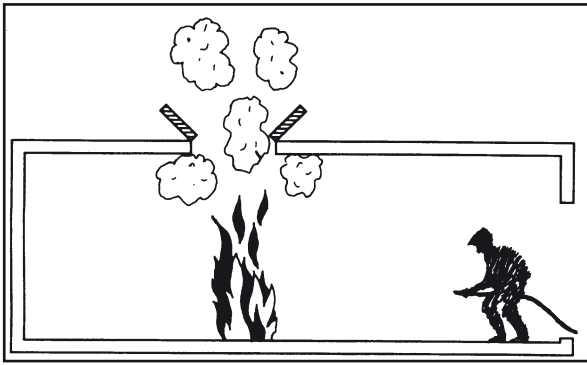
- sprinkleri
- palokaasujen tuuletus
- palohälytin
- pelastuspalvelun toimenpiteet.

Passiivisiin laitteisiin ja passiivisiin toimiin kuuluvat esimerkiksi

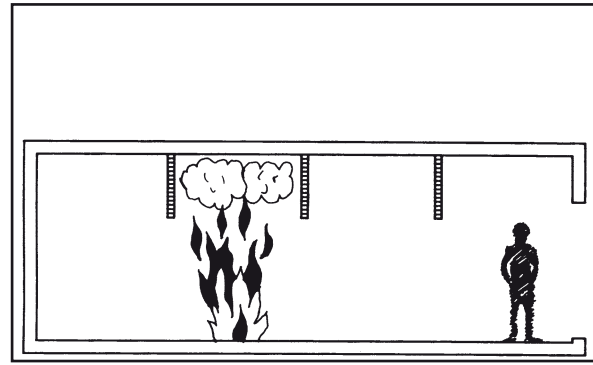
- varauloskäynnit
- erottavat konstruktiot
- kantavan rakenteen eristäminen tulipalolta.

10.3.1 Sprinkleri

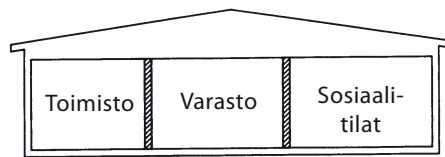
Automaattinen vesisprinklerijärjestelmä sammuttaa palon tai rajoittaa sen etenemistä. Pääsääntöisesti sprinklerijärjestelmä muodostuu putkistosta, joka on jatkuvasti täynnä vettä. Putkistossa olevat sprinklerit alkavat suihkuttaa toisistaan riippumatta vettä tietyssä lämpötilassa.



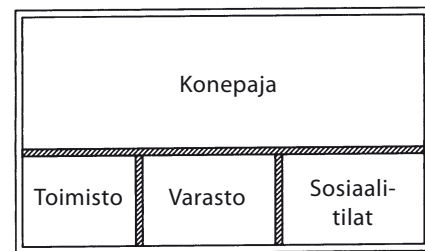
Kuva 10.6 Palokaasuja tuulettamalla voidaan vähentää niiden määrää ja viivästyttää lieskahdusta.



Kuva 10.7 Tulisuojat estävät palokaasuja leviämistä sivusuunnassa.



Kuva 10.8 Eri toiminnot jakautuvat eri palo-osastoihin.



Sprinklerien käyttö parantaa selvästi mahdollisuuksia estää vakavat tulipalot. Useissa tapauksissa myös rakennuksen rungon palonkestävyydelle asetetut vaatimukset voivat lieventyä, jos järjestelmän voidaan osoittaa olevan riittävän luotettava. Vaatimustasosta voidaan tinkiä siinä määrin kuin se on sallittu.

10.3.2 Savunpoisto

Palokaasut tuuletetaan useimmiten rakennuksen yläosissa olevien luukkujen tms. kautta Tulipalon syttyessä ne avautuvat niin, että savu ja palokaasut pääsevät ulos. Tämä helpottaa sammutustyötä ja rakennuksen tyhjentämistä sekä estää savua leviämistä rakennuksessa. Lisäksi se voi estää lieskahduksen syntymisen tai viivästyttää sitä (ks. kuva 10.6). Palokaasujen tuuletus voidaan myös järjestää mekaanisesti esimerkiksi puhaltimien avulla.

Tulireunukset estävät palokaasuja leviämistä sivusuunnassa ja tehostavat palokaasujen tuuletusta (ks. kuva 10.7).

10.3.3 Varauuskäynnit

Myös varauuskäyntien rakentamiselle ja sille, kuinka kaukana ne saavat olla, on asetettu vaatimuksia. Normaalisti hissejä ei saa laskea varauuskäynneiksi, koska tulipalon aikana ne voivat täytyä nopeasti savusta tai niiden virransaanti voi katketa.

10.3.4 Erottavat konstruktiot

Palomuurit

Palomuurin tarkoituksena on estää paloa leviämistä rakennusten välillä tai suuren rakennuksen eri osien välillä. Muurin vakauden ja kantokyvyn on oltava sitä luokkaa, et-

tä rakennus voi luhistua toisesta päästä ilman, että tämä vaikuttaa merkittävästi palomuurin ominaisuuksiin. Muurin täytyy kestää todennäköiset mekaaniset vaikutukset, joita rakennuksen toisen pään romahtaminen voi aiheuttaa, ja se täytyy suunnitella niin, että pelastuspalvelun on helppo paikantaa se.

Teollisuus- ja hallirakennuksista saatujen kokemusten perusteella teräsrakenteet kestävät hyvin mekaanista kuormitusta, koska teräs on sitkeää.

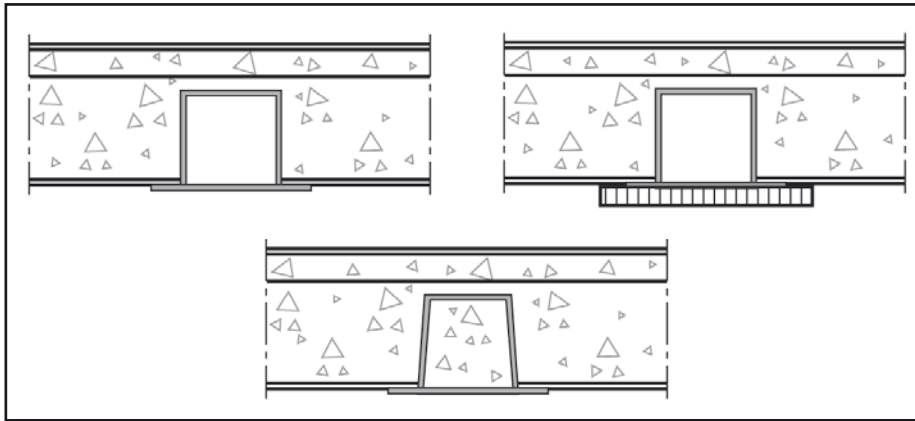
Palo-osastot toisistaan erottavat rakenneosat

Palon leviämisen estämiseksi rakennus jaetaan palo-osastoihin. Palo-osasto on rakennuksen osa, jonka sisällä tulipalo voi riehua ilman, että se pääsee leviämään tietyn vähimmäisajan aikana rakennuksen muihin osiin. Samankaltaiset tilat voivat muodostaa osaston. Esimerkkinä tällaisesta osastosta voidaan mainita asunto. Teollisuusrakennuksessa esimerkiksi toimistotilat ja tuotantotilat voivat muodostaa omat palo-osastonsa. Rakennus, jonka eri osia käytetään eri tarkoituksiin, voidaan jakaa eri osastoihin. Osastoivat rakenneosat erottavat palo-osastot toisistaan (ks. kuva 10.8).

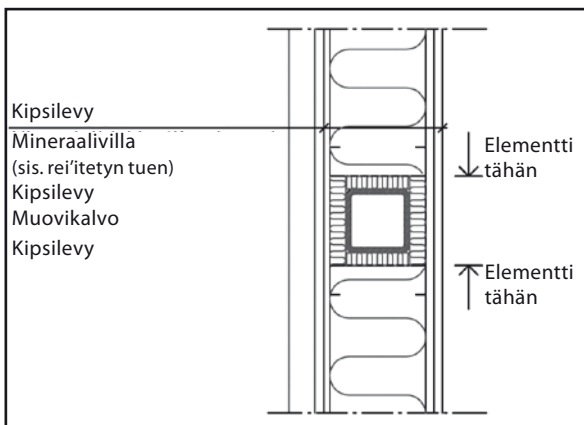
10.3.5 Kantavien runkojen paloturvallisuus

Sisäänrakennetut konstruktiot

Nykyaikaisella teräsrakennustekniikalla pilarit ja palkit voidaan useimmiten rakentaa seinien ja välipohjien sisään. Tällä tavoin seinä- ja välipohjarakenteet tarjoavat integroidun palosuojan ja myös muita merkittäviä hyötyjä rungolle (ks. kappale 6). Jos betoniset välipohjajaelementit asetetaan teräspalkkien alalaidalle, ne suojaavat teräspalkkeja tulipalolta ja ainoastaan alalaidalla on eristettävä palon varalta (ks. kuva 10.9). Alalaidalla voidaan



Kuva 10.9 Välipohjapalkin integroitu palosuojaus.



Kuva 10.10 Pileri eristetään palolta seinän sisälle.

tarvittaessa eristää tulipalolta helposti esimerkiksi palosuojaamaalauksella tai käyttämällä palolta suojaavia levyjä. Jos palonkestävyyttä koskeva vaatimustaso ei ole korkea (palonkestävyytsaika alle 30 minuuttia), voi riittää, että alalaipasta tehdään paksumpi.

Ulkoseinien sisään rakennettavien pilareiden paloeristys muodostuu seinän mineraalivillaeristyksestä. Sisäpuolelta ja pilarin puolelta paloeristystä voidaan täydentää esimerkiksi levymateriaalilla, jotta paloturvallisuusluokituksen mukaiset vaatimukset täyttyvät (ks. kuva 10.10).

Mitoitus palorasituksen varalta

Kun teräksen enimmäislämpötila tunnetaan, voidaan laskea teräsrakenteen kantokyky kyseisessä lämpötilassa. Teräksen lämpötilaan vaikuttavat ympäröivät rakenteet

ja mahdollinen palosuojaeristys. Kun konstruktiota mitoitettaessa käytetään pienempiä arvoja lujuusparametrien kohdalla, voidaan vähentää paloeristyksen tarvetta tai joissakin tapauksissa poistaa tämä tarve kokonaan. Konstruktioiden, joissa palonkestävyytsaikaa koskeva vaatimustaso on matala, 15 tai 30 minuuttia, tämä voi olla helppo ja halpa tapa täyttää vaatimukset [1] [3].



Kuva 10.11
Teräs-betoniliittopilari.

Liittorakenteet

Teräksen ja betonin liittovaikutusta hyödynnetään kantavissa rakenteissa (ks. kappale 14). Liittopilareita (ks. kuva 10.11) käyttämällä saadaan normaalilämpötilassa parempi kantokyky, ja lisäksi niiden ominaisuudet tulipalon yhteydessä ovat paremmat. On myös havaittu, että välipohjarakenteet, joissa hyödynnetään teräksen ja betonin liittovaikutusta, kestävät hyvin paloa. Palokokeet ja todellisten tulipalojen tutkinta on osoittanut, että teräsrunko, jossa on käytetty betonista ja teräspoimulevystä tehtyä liittovälipohjaa, kestää selvästi paremmin palamista kuin yksittäiset komponentit, joita on käytetty standardoiduissa palokokeissa. Kun välipohjapalkit menettävät kantokykynsä, konstruktion kohdistuvat voimat jakautuvat uudelleen niin, että kuormitus kohdistuu kalvoaikutuksen kautta betoniin [1].

Palonestomaalaus

Palonestomaalia levitetään yksi tai useampi kerros. Yhden kerroksen paksuus on 0,5–1 mm. Tulipalossa maali turpoo voimakkaasti noin 30 mm:n paksuiseksi lämpöä eristäväksi vaahtokerrokseksi. Siksi on tärkeää, varmistaa, että maalilla on tilaa turvota maalatun rakenteen ympärillä tulipalon sattuessa.

Palonestomaalauksen päälle lisätään usein erityinen peiteväri. Tavallisesti rakenne maalataan palonestomaalilla vasta asentamisen jälkeen, mutta pilarit ja palkit kantaa ruiskumaalata konepajalla (ks. kuva 10.12).

Ruiskutettu eristys

Paloeristys voidaan tehdä myös esimerkiksi kipsi- tai sementtipohjaisen ruiskueristyksen avulla. Rakenteen päälle ruiskutetaan 10–70 mm paksu eristekerros. Kerroksen paksuus riippuu siitä, mikä paloturvallisuusluokka halutaan saavuttaa.

Kivivillalevyt

Kun paloeristämiseen käytetään mineraalivillaa, tavallisin ratkaisu on käyttää erilaisia kivivillalevyjä. Levyt kiinnitetään lukkopikoilla nauloihin, jotka hitsataan teräsprofiiliin (ks. kuva 10.13). Kun rakenne muodostuu I-profiileista, eristys tehdään usein kotelon muotoon. Profiilikorkeuden ollessa suuri levyt kiinnitetään kuitenkin suoraan uunaa vasten.



Kuva 10.12 Palonesto-
maalin levittäminen ennen
asentamista.

Kipsilevyt

Kipsi sisältää runsaasti sekä vapaassa muodossa olevaa että kiteisiin sitoutunutta vettä. Tulipalon yhteydessä vesi muuttuu olomuotoaan ja höyrystyy, mihin kuluu suuri määrä energiaa. Tämä hidastaa teräsrakenteen lämpötilan nousua. Lasikuituvahvisteisilla kipsilevyillä saavutetaan parempi palonkestävyys, koska ne eivät romahda yhtä nopeasti kuin tavalliset kipsilevyt veden höyrystyttyä. Paloeristämiseen käytetään yhtä tai useampaa kipsilevykerrosta (ks. kuva 10.14). On myös mahdollista käyttää kipsipohjaisia päällyste-elementtejä, jotka valmistetaan usein kerroksen korkuisina (ks. kuva 10.15).

Silikaattikuitulevyt

Silikaattikuitulevyt kestävät hyvin korkeita lämpötiloja. Koska silikaattilevyt kestävät hyvin paloa, suhteellisen ohuella levykerroksella voidaan saavuttaa korkea palonkestävyys. 25 mm paksu levy kestää palamista jopa kaksi tuntia.

10.4 PALOTURVALLISUUS- SUUNNITTELU

Se, millainen palosuojaus erottaviin ja kantaviin rakenteisiin tarvitaan, voidaan määrittellä joko luokituksen perusteella taikka tulipalon luonnollista etenemistä koskevaan malliin perustuvan mitoituksen perusteella.

Mikäli määrittely tehdään luokitusten perusteella, rakenteen eristämiseen käytetään luokiteltuja eli testattuja tuotteita. Paloeristysmateriaalin valmistajat julkaisevat esitteitä ja ohjeita, ja siksi paloeristystarve kannattaa mitoittaa niiden mukaisesti. Luokitukseen perustuva mitoitus liittyy läheisesti standardipalokäyrään (ks. kappale 10.5).

Kun mitoitus perustuu malliin palon luonnolliseen kehitykseen, on määritettävä, kuinka palo kehittyi luonnollisesti kyseisissä olosuhteissa, ja tehtävä mitoitukset tältä pohjalta (ks. kappale 10.6).

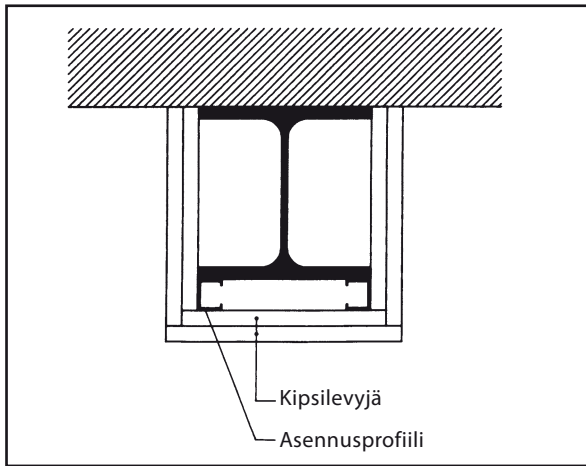
10.5 LUOKITUKSEEN PERUSTUVA MITOITUS

Luokiteltujen tuotteiden käyttöön perustuvan mitoituksen perustana ovat palotestit, joissa palo vastaa standardipalokäyrää. Standardipalokäyrä on määritelty standardeissa SS-EN 1363 (*Fire resistance tests, osa 1, General requirements*) ja ISO 834.

Todellisuudessa tulipalo voi kuitenkin poiketa suuresti standardipalokäyrästä. Palonkestävyysaika ei siksi kerro täysin, kuinka kauan konstruktio kestää tulipaloa todellisessa tilanteessa, vaan sitä on pidettävä palonkestävyydestä kertovana suhteellisena mittana. Kantavien



Kuva 10.13 Kivivillalevyjen
kiinnittäminen.



Kuva 10.14 Kipsilevyjen kiinnittäminen.

rakenneosien paloturvallisuustesteissä rakenteen on kestävä tietty kuormitus tietyn ajanjakson ajan. Erottaville rakenneosille on asetettu vaatimuksia, jotka koskevat korkeinta pintalämpötilaa palosta poispäin olevalla puolella sekä tiivyyttä palokaasujen leviämisen suhteen.

ISO 834 -standardin mukaan standardipalokäyrä on palon lämpötila-aikakäyrä:

$$T_g - T_0 = 345 \log_{10} (8t + 1) ^\circ\text{C} \quad (10-1)$$

jossa

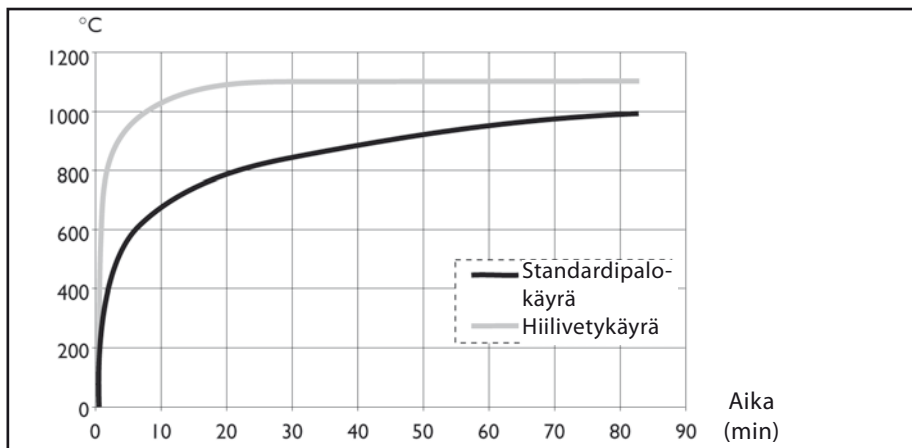
- T_g on kaasun lämpötila ajankohtana t [$^\circ\text{C}$]
- T_0 on kaasun lämpötila, kun $t = 0$ (normaalisti 20 $^\circ\text{C}$) [$^\circ\text{C}$]
- t on kuumenemisen alkamisajankohdasta kulunut aika [min].

Petrokemian teollisuuden konstruktioissa ja offshore-konstruktioissa lämpötila nousee tulipalon yhteydessä huomattavasti standardipalokäyrää nopeammin.

Siksi näiden ympäristöjen konstruktioihin sovelletaan toista lämpötila-aikakäyrää, hiilivetykäyrää.

Hiilivetykäyrä kuvaa lämpötilaa ja aikaa seuraavasti:

$$T_g - T_0 = 1080 \cdot (1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,657e^{-2,5t}) ^\circ\text{C} \quad (10-2)$$



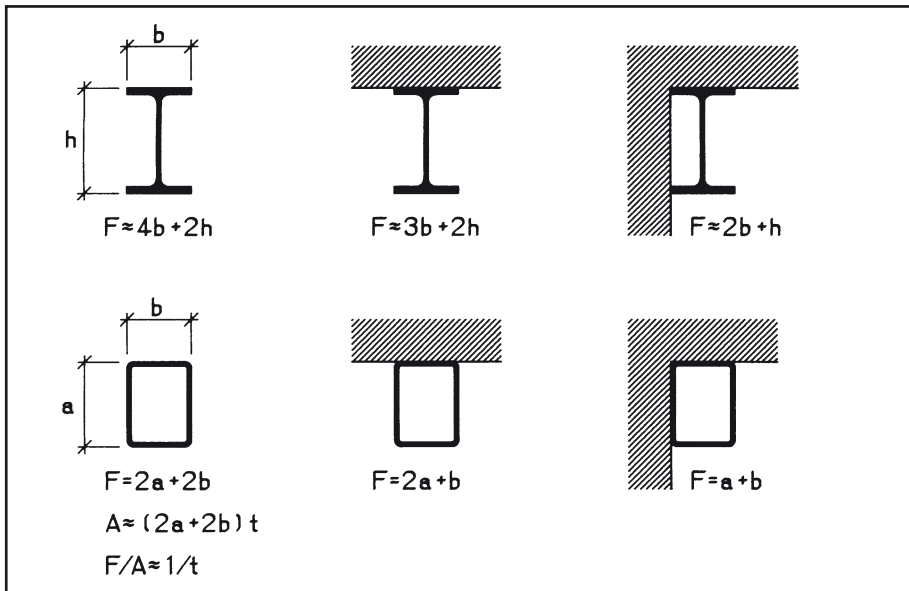
Kuva 10.16 Standardipalokäyrä ja hiilivetykäyrä.



Kuva 10.15 Valmiiden kipsielementtien kiinnittäminen.

10.5.1 Lämmönsiirtymiskertoimen määrittäminen

Luokitukseen perustuvan mitoituksen yhteydessä on määritettävä, missä määrin teräsprofiili altistuu tulipalolle eli kuinka profiilin muoto, mahdollinen paloeristys ja siihen liittyvät rakenneosat hidastavat teräksen kuumenemistä. Tätä suuretta kutsutaan lämmönsiirtymiskertoimeksi (A_m/V), ja sen yksikkö on [m^{-1}]. A_m merkitsee tulipalolle altistuvaa pinta-alaa. Teräsprofiiliin kohdistuvan lämpövirran oletetaan olevan suhteellinen tähän pintaan nähden. Mitä suurempi tilavuusmäärä terästä kuumentuu, sitä enemmän tarvitaan lämpöenergiaa tietyn lämpötilan saavuttamiseksi. Tilavuutta kuvataan kirjaimella V . Tästä seuraa, että mitä pienempi arvo lämmönsiirtymiskertoimella on, sitä suotuisimmat ovat olosuhteet profiilin kuumentumisaikojen suhteen.

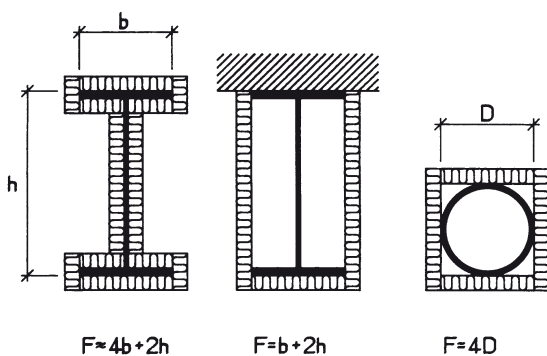


Kuva 10.17 Eristämättömän teräskonstruktion lämmönsiirtymiskertoimen (profiilikertoimen) laskeminen.

Vaihtoehtoisesti lämmönsiirtymiskertoimen voidaan kuvata olevan F/A [m^{-1}], jossa F on palolle altistuva pinta-ala ja A on poikkipinta-ala suhteessa F :ään. Lämmönsiirtymiskerrointa kutsutaan myös profiilikertoimeksi (ks. kuva 10.17).

Paloeristettyjen konstruktioiden pinta-alaa laskettaessa (ks. kuva 10.18) käytetään eristyksen sisäympärysmittaa. Kun paloeriste myötäilee palkin laippoja ja uumaa, ala on sama kuin eristämättömän profiilin pinta-ala, mutta kun paloeriste tehdään kotelomuotoon, alasta tulee pienempi ja lämmönsiirtymiskertoimesta parempi. Eristettyä poikkileikkausta varten lämmönsiirtymiskerroin lasketaan altistuvan pinta-alan (A_p) ja poikkileikkauksen tilavuuden (V) välisenä suhteena.

Kun teräs on rakennettu seinän tai välipohjan sisään, sekä palolle altistuva pinta-ala että tilavuus pienenee (ks. kuva 10.19). Teräksen hyvän lämmönjohtokyvyn vuoksi voidaan tietyin edellytyksin myös laskea, että lämpöä vastaanottava tilavuus on suurempi suhteessa altistuvaan pinta-alaan. Tämä edellyttää kuitenkin erityisselvitystä. Lämmönsiirtymiskertoimen määrittämistä varten tarvittavat arvot saadaan sopivasti taulukosta.



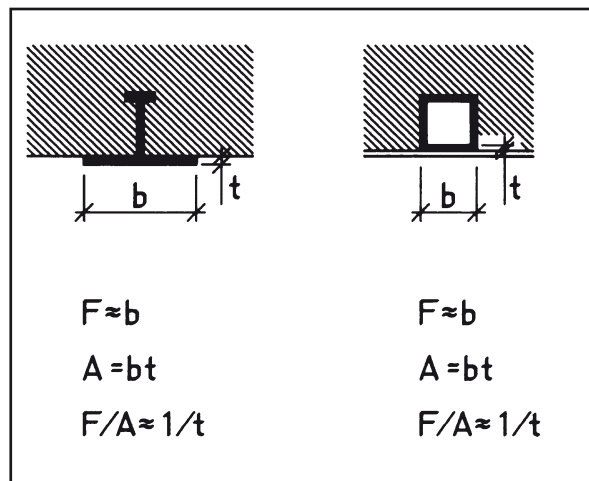
Kuva 10.18 Eristetyn teräskonstruktion lämmönsiirtymiskertoimen (profiilikertoimen) laskeminen.

10.5.2 Kuormitusten mitoittaminen tulipalon yhteydessä

Tulipalo merkitsee onnettomuuskuormaa. Sellaisten rakenteiden kohdalla, joka on mitoitettu täyttämään juuri normaaleja kuormituksia koskevat vaatimukset, on mitoitettu kuorma palon yhteydessä pääsääntöisesti noin 60–65 prosenttia murtorajatilan kuormasta. Tietyissä tapauksissa – esimerkiksi kun kyse on monikerroksisen rakennuksen pohjakerroksessa olevasta pilarista – suhde voi olla jopa 80 prosenttia mitoitetusta staattisesta kuormasta.

10.5.3 Mitoittaminen

Teräksen lujuus ja kimmokerroin pienenevät lämpötilan noustessa. Tavallisen rakenneteräksen kantokyky pienenee vähitellen, ja kutistumista voidaan alkaa havaita noin 450 °C:n lämpötilassa. Teräsrakenteen kantokyky tietyssä lämpötilassa on mahdollista määrittää lämpötilan ja myötörajan välisen yhteyden samoin kuin lämpötilan ja kimmokertoimen välisen yhteyden perusteella.



Kuva 10.19 Sisäänrakennetun teräsrakenteen lämmönsiirtymiskertoimen (profiilikertoimen) laskeminen.

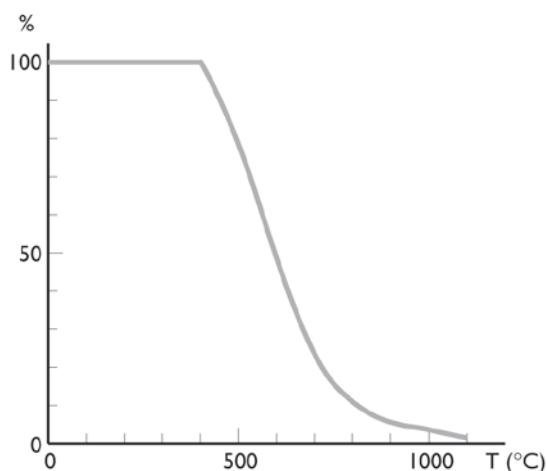
Toisin kuin normaalilämpötilassa olevalla rakenneteräksellä korkeille lämpötiloille altistetulla rakenneteräksellä ei ole mitään myötörajaa. Sen sijaan käytetään kuvitteellista myötörajaa, joka perustuu määriteltyyn suurimpaan sallittuun tai jäljelle jäävään venymään.

Eurokoodi 3:n osassa 1-2 [5] määritetään teräksen tehollisen myötörajan kokonaisvenymän ollessa 2 prosenttia. Tätä määritelmää voidaan käyttää sellaisten konstruktoiden kohdalla, joissa instabiliteetti ei ole ratkaiseva kantokyvyn kannalta. Rakenteet, joita kuormitetaan niin, että instabiliteetti on ratkaiseva kantokyvyn kannalta, pitää mitoittaa siten, että sallittu jäljelle jäävä venymä on 0,2 prosenttia.

Taulukosta 10.3 ja kuvasta 10.20 ilmenee tavallisten rakenneterästen myötörajan ja lämpötilan välinen suhde sekä vastaava myötöraja-arvo. $k_{2,0}$ ja $k_{0,2}$ ilmaisevat pienennyskertoimen 2 prosentin suurimman venymän ja 0,2 prosentin jäljelle jäävän venymän suhteen. $k_{E, \theta}$ ilmaisee kimmoisuuden pienennyskertoimen.

| Teräksen lämpötila | | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| θ a °C | $k_{E, \theta}$ | $k_{y, \theta}$ | $k_{p, \theta}$ |
| 20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 100 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 200 | 0,90 | 1,00 | 0,89 |
| 300 | 0,80 | 1,00 | 0,78 |
| 400 | 0,70 | 1,00 | 0,65 |
| 500 | 0,60 | 0,78 | 0,53 |
| 600 | 0,31 | 0,47 | 0,30 |
| 700 | 0,13 | 0,23 | 0,13 |
| 800 | 0,09 | 0,11 | 0,07 |
| 900 | 0,07 | 0,06 | 0,05 |
| 1000 | 0,04 | 0,04 | 0,03 |
| 1100 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 1200 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Taulukko 10.3 Jännitys-venymäsuhteiden pienennyskertoimet lämpötilan kasvaessa.



Kuva 10.20 Tavallisen rakenneteräksen myötörajan ja lämpötilan välinen periaatteellinen suhde, joka perustuu 2 prosentin venymäarvoon

Kriittinen lämpötila

Teräsrakenteen kriittisen lämpötilan voidaan määrittää olevan teräsrakenteen lämpötila silloin, kun poikkileikkauksen kantokykyä hyödynnetään täysin. Hyödyntämisaste on 100 prosenttia, ja sen määritetään olevan palokuormatapausten kuormitustehon ja huoneenlämmössä vallitsevan ominaiskantokyvyn välinen suhde.

Taulukoista 10.4 ja 10.5 näkyy kriittinen lämpötila ja poikkileikkauksen kuormituksen hyödyntämisen enimmäisaste, kun venymäarvot ovat 2 prosenttia ja 0,2 prosenttia.

| f_{yT}/f_y | T_s | f_{yT}/t_y | T_s | f_{yT}/t_y | T_s |
|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| 0,22 | 711 | 0,42 | 612 | 0,62 | 549 |
| 0,24 | 698 | 0,44 | 605 | 0,64 | 543 |
| 0,26 | 685 | 0,46 | 598 | 0,66 | 537 |
| 0,28 | 674 | 0,48 | 591 | 0,68 | 531 |
| 0,30 | 664 | 0,50 | 585 | 0,70 | 526 |
| 0,32 | 654 | 0,52 | 578 | 0,72 | 520 |
| 0,34 | 645 | 0,54 | 572 | 0,74 | 514 |
| 0,36 | 636 | 0,56 | 566 | 0,76 | 508 |
| 0,38 | 628 | 0,58 | 560 | 0,78 | 502 |
| 0,40 | 620 | 0,60 | 554 | 0,80 | 496 |

Taulukko 10.4 Rakenneteräksen maksimaalinen hyödyntämisaste, jos 2 prosentin sallittu venymä voidaan hyväksyä (taivutetut ja vedetyt konstruktio, joissa ei ilmene instabiliteettia).

| f_{yT}/t_y | T_s | f_{yT}/t_y | cr | f_{yT}/t_y | cr |
|--------------|-------|--------------|-----|--------------|-----|
| 0,30 | 600 | 0,50 | 530 | 0,70 | 380 |
| 0,35 | 585 | 0,55 | 500 | 0,75 | 340 |
| 0,40 | 570 | 0,60 | 475 | 0,80 | 300 |
| 0,45 | 550 | 0,65 | 425 | 0,85 | 250 |

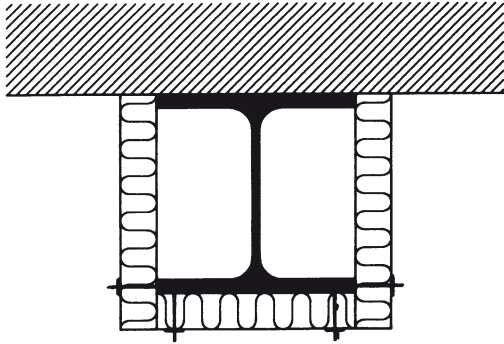
Taulukko 10.5 Rakenneteräksen maksimaalinen hyödyntämisaste, jos 0,2 prosentin jäljelle jäävä venymä voidaan hyväksyä (kun instabiliteetti on ratkaiseva kantokyvyn kannalta).

10.5.4 Mitoitus-esimerkkejä

Seuraavassa esitetään kaksi esimerkkiä luokitukseen perustuvasta mitoituksesta. On syytä panna merkille, että molemmassa esimerkeissä mitoituskaaviot (kuvat 10.22 ja 10.23) kuvaavat vain mitoitusmenetelmää. Yksityiskohtaisista mitoituskaavioista saa tietoa valmistajilta.

Esimerkki 10-1

Betoniväli-pohjan alla oleva palkki (HEA220-S3-55N) päällystetään kivivillalla, jotta kantava rakenne (R90) kestävä tulipaloo 90 minuuttia (ks. kuva 10.21). Palkkia hyödynnetään 60-prosenttisesti palokuormatapauksessa. Koska väli-pohja jäykistää palkin puristuksessa olevan laipan, ei heilumisriskiä ole. Näin kriittinen lämpötila on noin 554 °C, jos taulukon 10.4 mukaisesti sallitaan 2 prosentin enimmäisvenymä.



Kuva 10.21 Esimerkki 10-1. HEA220 betonivälipohjan alla.

Ratkaisu

HEA220:n lämmönsiirtymiskerroin:

$$A_m/V = 640/6434 = 99 \text{ m}^{-1} \quad (10-3)$$

Palkin poikkileikkausluokka tarkastetaan kuumassa tilassa. Palkin uuma:

$$c/t = 152/7 = 21,7 \quad (10-4)$$

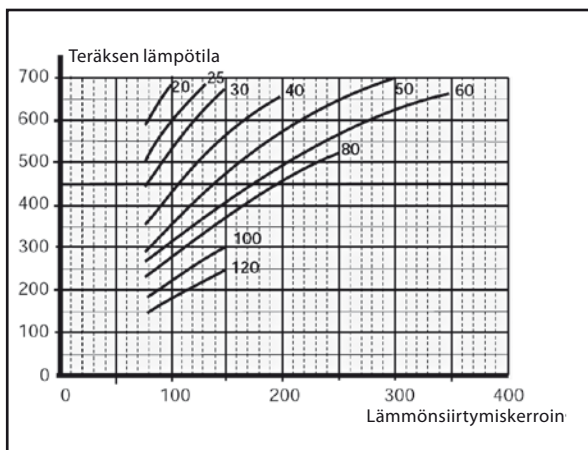
Poikkileikkausluokkaan 1 pätee seuraava [5, 6]:

$$\begin{aligned} c/t &\leq 72\varepsilon \\ &= 0,85\sqrt{235/f_y} \end{aligned} \quad (10-5)$$

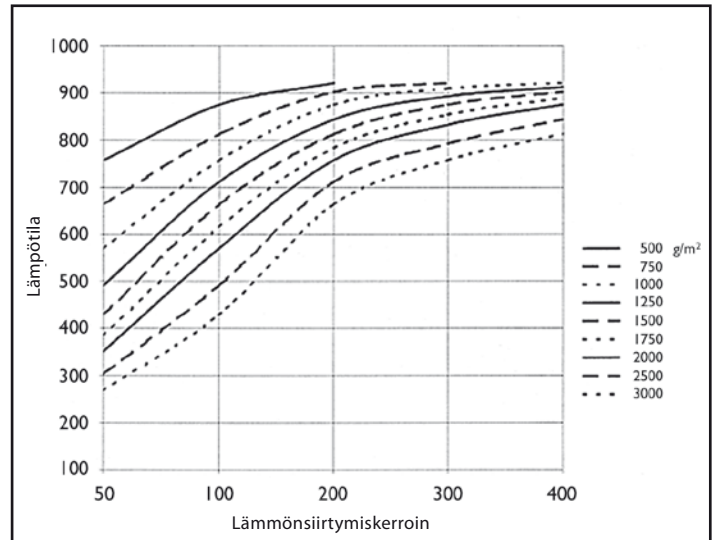
$$21,7 < 49,6 \quad (10-6)$$

Ehdon (10-5) mukaan palkki kuuluu poikkileikkausluokkaan 1, mikä tarkoittaa, että taulukon 10.3 mukaisesti myötöraja-arvon 2 prosentin rajaa voidaan käyttää ilman muuta selvitystä.

Tutustutaan valmistajan1 mitoitusohjeisiin (ks. kuva 10.22), joissa $A_m/V = 99 \text{ m}^{-1}$ ja kriittinen lämpötila on $550 \text{ }^\circ\text{C}$. Tuloks: paloturvallisuusluokkaa R90 varten tarvitaan 30 mm:n levy kivivillaa. On syytä huomata, että tällä yksinkertaisella laskelmalla eristämistarvetta vähennetään 40 mm:stä 30 mm:iin, koska teräksen sallituksi lämpötilaksi lasketaan totunnaisesti $450 \text{ }^\circ\text{C}$.



Kuva 10.22 Esimerkki kivivillan (90 minuutin palonkestävyyssäika) mitoituskaaviosta.



Kuva 10.23 Esimerkki palonestomaalin (60 minuutin palonkestävyyssäika) mitoituskaaviosta.

Esimerkki 10-2

Nelikulmaisesta putkesta (VKR 200 x 200 x 10) valmistettu tukematon pilari on maalattava palonestomaalilla, jotta sen palonkesto-olisi 60 minuuttia (R60). Rakennetta hyödynnetään 55-prosenttisesti palokuormatapauksessa. Puristuksessa olevien konstruktoiden, kuten pilareiden kohdalla pitää käyttää 0,2 prosentin sallitun jäljelle jäävän venymän myötöraja-arvoa, jos mikään muu ei näytä pitävän paremmin paikkaansa. Tämä tarkoittaa, että pilarin kriittinen lämpötila on taulukon 10.5 mukaan noin $500 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ratkaisu

$$A_m/V = 1/t = 100 \text{ m}^{-1}$$

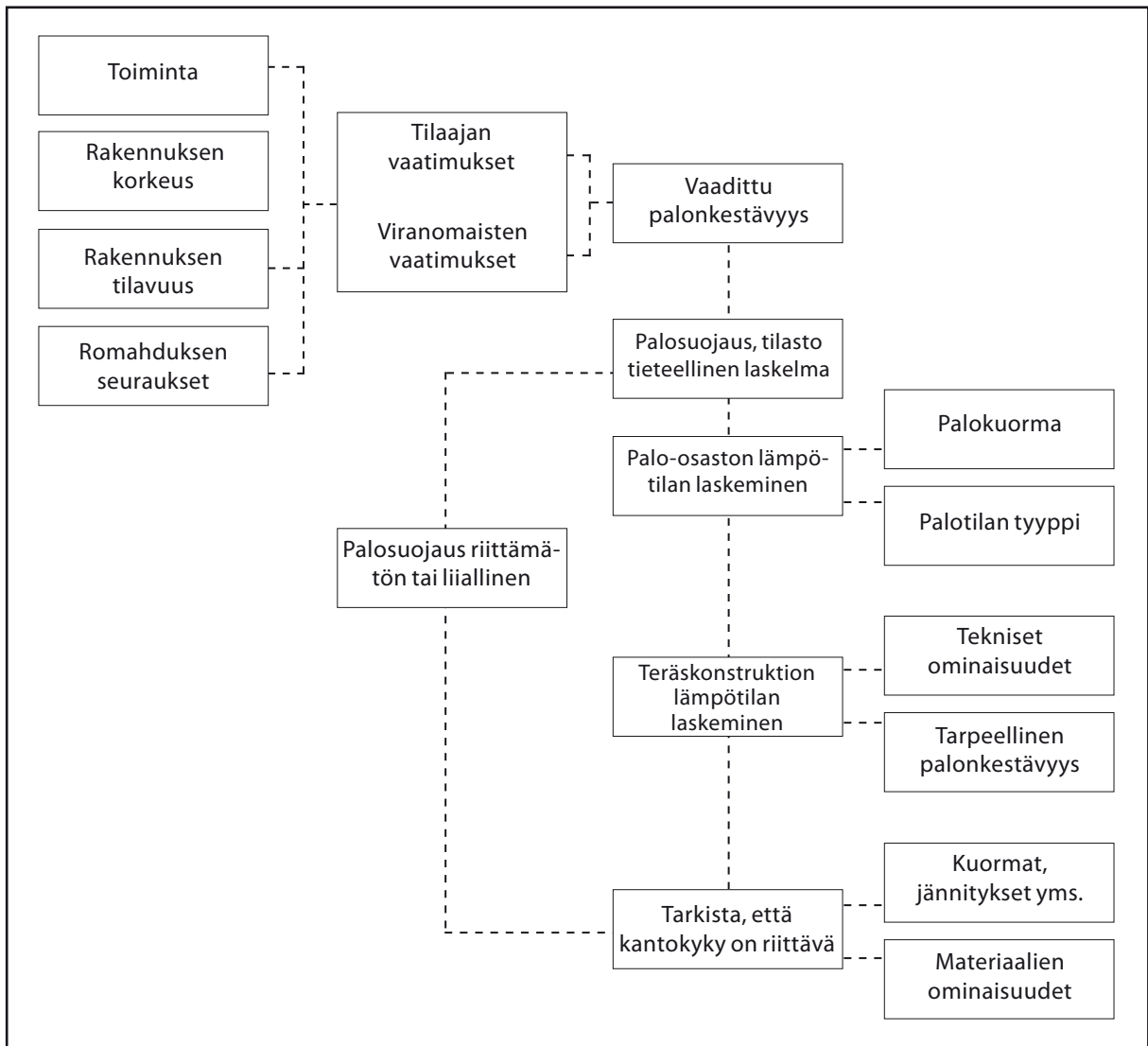
Valmistajan mitoituskaaviosta ilmenee, että pilarin maalauksessa on käytettävä palonestomaalia 2500 g/m^2 (ks. kuva 10.23).

10.6 LUONNOLLISEEN PALONKEHITYKSEEN PERUSTUVA MITOITUS

Luokitukseen perustuvaan mitoitukseen liittyy tiettyjä rajoituksia. Suuriin tiloihin taikka tiloihin, joiden palokuorma on tavallista suurempi tai pienempi tai jotka poikkeavat muulla tavalla olennaisesti normaalista, ei voida soveltaa teoriaa, johon valmistajien materiaalin käyttöön perustuva mitoitus perustuu. Monipuolisemman arvioon saamiseksi mitoituksen on perustuttava laskelmiin. Myös muissa tapauksissa laskelmien kautta voi löytyä taloudellisempi ratkaisu.

Kantavan rakenteen mitoitus tapahtuu pääpiirteissään kuvan 10.24 kaavion mukaisesti. Kun lähtökohdaksi otetaan palorasitus, joka riippuu tilojen suunnittelusta ja niiden palokuormasta (huoneen suhteellisesta polttoainemäärästä), voidaan määrittää palonkehitys.

Näin saadaan selville kaasulämpötila, joka ympäröi teräsrakennetta ja vaikuttaa siihen.



Kuva 10.24 Mitoitus / luonnollista palonkehitystä kuvaava malli.

Teräsprofiilin altistumisen ja mahdollisen ympäröivän paloeristeen perusteella voidaan määrittää teräksen lämpötila. Konstruktion kantokyky teräksen enimmäislämpötilassa määritetään, ja sitä verrataan rasitukseen, jota mitoitettu kuorma aiheuttaa palon aikana.

10.6.1 Kaasun lämpötilan määrittäminen

Energiatasapainomenetelmä

Mitoitetun palorasituksen määrittämiseen voidaan käyttää eri menetelmiä tietyn lämpötila-aikasuhteen kuvaamiseksi (esimerkiksi energiatasapainomenetelmää).

Energiatasapainomenetelmä perustuu rakennuksen tai tilan todellisiin palo-olosuhteisiin. Näin mitoituksesta saadaan monipuolisempi, kun siinä otetaan huomioon palokuorman palamiskäyrä, tilan tuuletus sekä tilaa ympäröivien tai tilassa olevien osien termiset ominaisuudet.

Aikaan ja lämpötilaan vaikuttavia tekijöitä tilassa ovat etupäässä hapen saatavuus ja palokuorma. Hapen saata-

vuuteen vaikuttaa tilan aukkoeroin, ja sitä voidaan kuvata seuraavasti:

$$O = \frac{A_v \sqrt{h}}{A_t} m^{1/2} \quad (10-7)$$

jossa

A on ikkunoiden ja muiden aukkojen pinta-ala [m²]

A_t on palo-osaston kokonaisalueen pinta-ala [m²]

h on kaikkien aukkojen painotettu keskikorkeus [m].

Palokuormaa voidaan kuvata seuraavasti:

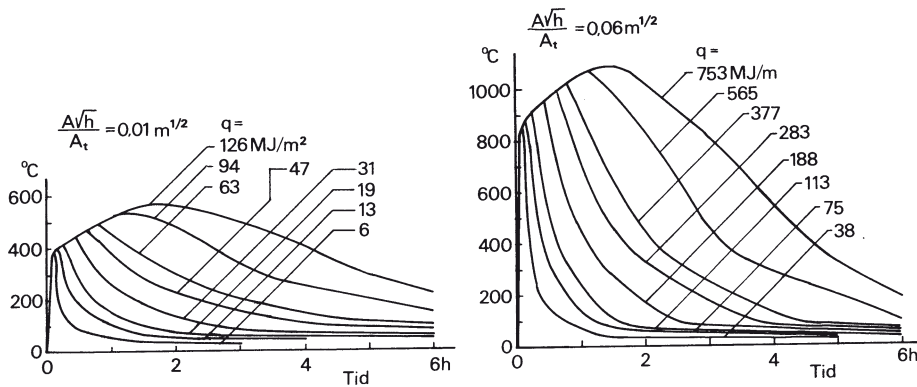
$$f = \frac{Q}{A_{tot}} MJ / m^2 \quad (10-8)$$

jossa

Q on yhteenlaskettu lämpömäärä, joka vapautuu palo-osaston kaiken palavan materiaalin jatkuvasta palamisesta [MJ]

A_{tot} on palo-osaston kokonaisalueen pinta-ala [m²].

Menetelmää voidaan soveltaa vain melko pienten tilojen tulipaloihin, kuten asuinhuoneistojen ja toimistotilojen paloihin. Suuremmissa tiloissa on otettava huomioon myös esimerkiksi muut ilmvirtaukset.



Kuva 10.25 Lämpötilan kehitys eri palokuormien yhteydessä, kun aukkeroin on 0,01 ja 0,06 m^{1/2}.

Kuvasta 10.25 ilmenee lämpötilan kehitys eri palokuormien yhteydessä, kun aukkeroin on 0,01 ja 0,06 m^{1/2}.

Parametrien mukaan määräytyvä palonkehitys

Parametrien mukaan määräytyvässä palonkehityksessä voidaan ottaa yksinkertaisesti huomioon ne tekijät, jotka vaikuttavat palon kehittymiseen. Parametrien mukaan määräytyvä palonkehitys kuvaa palon kehittymistä paremmin kuin palon standardikehitys, koska siinä huomioidaan palon kestoon ja kehitykseen vaikuttavat seikat. Myös ympäröivän konstruktion termiset ominaisuudet vaikuttavat palon kehittymiseen. Parametrien mukaan määräytyvää palonkehitystä kuvataan viitteessä [7].

Paikallinen palo

Suurissa tiloissa ja/tai paikoissa, joissa palokuorma on tavallista matalampi, palo etenee suotuisammalla tavalla, minkä vuoksi palokaasujen lämpötilat ovat matalammat. Esimerkkejä tällaisista tiloista ovat näyttelytilat, lasikatetut pihat, suuret myymälähallit, ajoneuvojen säilytshallit tai konepajahallit. Tämäntyyppisissä tiloissa palokuorma ei kasva niin suureksi, että ilman lämpötila saavuttaa kriittisen tason. Siksi paikallisen palon teho on otettava huomioon.

Paikallisen palon osalta arvioidaan palon tehonkehitys arvioitu paloalue huomioon ottaen. Koska energia [MJ] merkitsee tehoa [W] tietyssä ajassa [s], palon kesto voidaan määrittää. Palokaasujen tuulettaminen, savuluukut tai erityiset tuulettimet toimivat tehokkaasti tämäntyy-

pisissä tiloissa, ja niitä on harkittava huolella. Nämä paloturvallisuuslaitteet helpottavat myös tilojen tyhjentämistä ja omaisuuden suojelua. Suunniteltaessa kattorakenteita on katon korkeudella, etäisyydellä palopesäkkeestä ja varsinaisella konstruktiolla suuri merkitys. Paikallista paloa kuvataan viitteessä [7].

10.6.2 Teräksen lämpötilan määrittäminen

Kun lämpötila jakaantuu tasaisesti koko poikkileikkaukseen, lämpötilan nousua aikana t eristämättömässä poikkileikkauksessa voidaan kuvata seuraavasti:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{A_m}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t \quad (10-9)$$

jossa

A_m/V on teräselementin lämmönsiirtymiskerroin (ei saa olla alle 10) [m⁻¹]

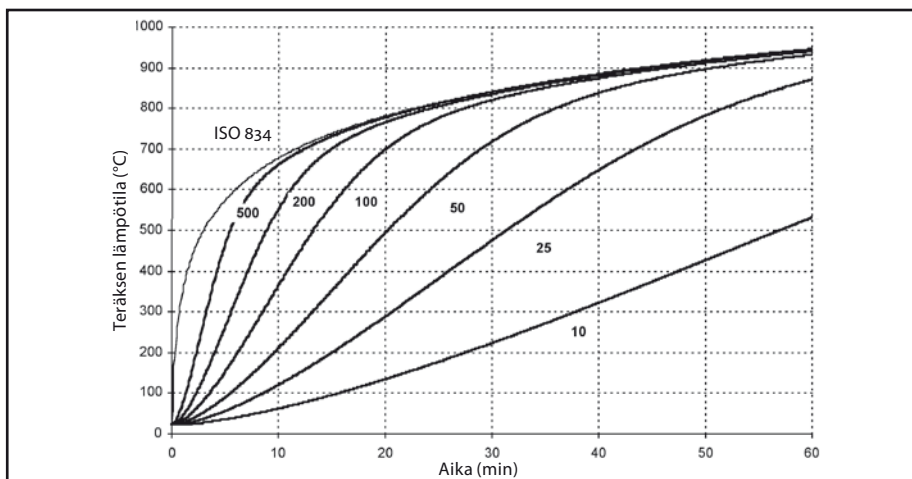
c_a on teräksen ominaislämpökapasiteetti [J/kgK]

$h_{net,d}$ on lämmön siirtyminen pintayksikköä kohden, joka saadaan yhtälöstä (10-15) [W/m²]

Δt on ajanjakso sekunneissa (ei saa olla yli 5) [s]

$\Delta\theta$ on teräksen tiheys (7 850) [kg/m³].

Teräksen ominaislämpökapasiteetti (kyky sitoa lämpöä) voidaan määrittää seuraavasti:



Kuva 10.26 Eristämättömän teräsrakenteen lämpötilan nousu standardipalossa, kun lämmönsiirtymiskerroin on 10–500 m⁻¹. Tästä syntyvä emissiivisyys on 0,7 ja teräksen ominaislämpökapasiteetti on vakio, 600 J/kgK.

kun $20^\circ\text{C} \leq a < 600^\circ\text{C}$

$$c_a = 425 + 0,773\theta_a - 1,69 \cdot 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \cdot 10^{-6} \theta_a^3, \quad (10-10)$$

kun $20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 600^\circ\text{C}$

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a}, \quad (10-11)$$

kun $600^\circ\text{C} \leq \theta_a < 735^\circ\text{C}$

$$c_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731}, \quad (10-12)$$

kun $735^\circ\text{C} \leq \theta_a < 900^\circ\text{C}$

$$c_a = 650, \quad (10-13)$$

kun $900^\circ\text{C} \leq \theta_a < 1200^\circ\text{C}$

Yksinkertaistetussa laskentamallissa teräksen ominaislämmön oletetaan pysyvän vakiona lämpötilasta riippumatta ja asetetaan seuraavasti:

$$c_a = 600 \text{ J/kgK} \quad (10-14)$$

Lämmön siirtyminen konvektion ja säteilyn avulla määritetään seuraavasti:

$$h_{\text{net.d}} = h_{\text{net.c}} + h_{\text{net.r}} \text{ J/m}^2 \quad (10-15)$$

jossa

$h_{\text{net.d}}$ on lämmön siirtyminen konvektion avulla kohdan (10-16) mukaisesti [W/m^2]

$h_{\text{net.r}}$ on lämmön siirtyminen säteilyn avulla kohdan (10-17) mukaisesti [W/m^2]

$$h_{\text{net.c}} = \alpha_c (\theta_g + \theta_m) \text{ W/m}^2 \quad (10-16)$$

jossa α_c on lämmönsiirtokerroin konvektiossa [$\text{W/m}^2\text{K}$]
 θ_g on kaasun lämpötila altistuvan profiilin ympärillä [$^\circ\text{C}$]

θ_m on teräsprofiilin pintalämpötila [$^\circ\text{C}$]

$$h_{\text{net.r}} = \Phi \varepsilon_{\text{res}} 5,67 \cdot 10^{-8} [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \text{ W/m}^2 \quad (10-17)$$

jossa

Φ on konfigurointikerroin EN 1991-1-2 -standardin mukaisesti [-] (arvoksi voidaan asettaa 1,0 ilman lisäselvitystä)

ε_{res} on syntyvä emissioluku kohdan (10-18) mukaisesti
 θ_r on teräsprofiiliin kohdistuvan säteilyn lämpötila (oletettavasti sama kuin T_g) [$^\circ\text{C}$]

θ_m on rakenneosan pintalämpötila [$^\circ\text{C}$]

$5,67 \cdot 10^{-8}$ on Stefan Boltzmannin vakio [$\text{W/m}^2\text{K}^4$]

$$\varepsilon_{\text{res}} = \varepsilon_f \varepsilon_m \quad (10-18)$$

jossa

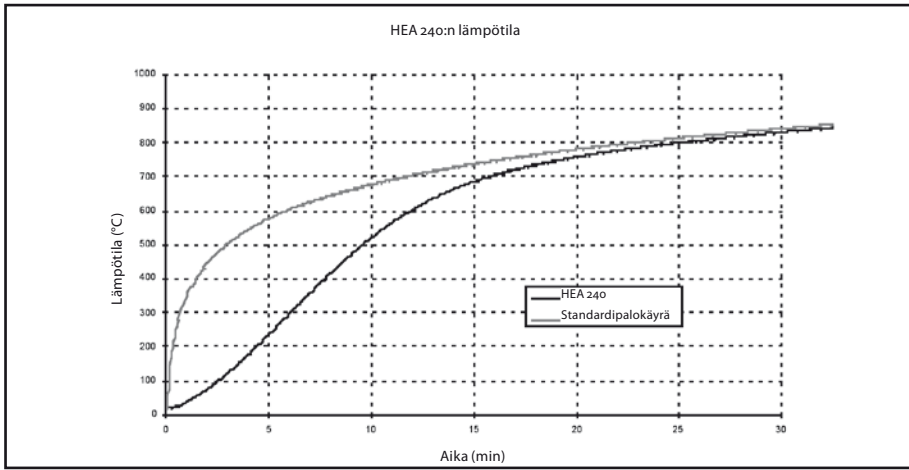
ε_f on palon emissioluku (tavallisesti 1,0) [-]

ε_m on pintamateriaalin emissioluku (hiiliteräksellä tavallisesti 0,7) [-]

ε_{res} 0,5, kun $\varepsilon_f = 0,8$ ja $\varepsilon_m = 0,625$

| Aika (sekunteina) | Kaasun lämpötila ($^\circ\text{C}$) | Teräksen lämpötila ($^\circ\text{C}$) | $h_{\text{net.c}}$ | $h_{\text{net.r}}$ | $h_{\text{net.d}}$ | $\Delta\theta$ |
|-------------------|---------------------------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| 0 | 20 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 5 | 97 | 20 | 1913 | 448 | 2361 | 0,45 |
| 10 | 147 | 20 | 3163 | 940 | 4103 | 0,78 |
| 15 | 185 | 21 | 4085 | 1443 | 5528 | 1,04 |
| 20 | 215 | 22 | 4810 | 1943 | 6753 | 1,28 |
| 25 | 240 | 24 | 5404 | 2436 | 7840 | 1,48 |
| 30 | 261 | 25 | 5903 | 2918 | 8821 | 1,67 |
| 35 | 280 | 27 | 6330 | 3389 | 9719 | 1,84 |
| 40 | 297 | 29 | 6701 | 3849 | 10550 | 1,99 |
| 45 | 312 | 31 | 7026 | 4298 | 11324 | 2,14 |
| 50 | 325 | 33 | 7313 | 4736 | 12049 | 2,28 |
| 55 | 338 | 35 | 7569 | 5163 | 12732 | 2,41 |
| 60 | 349 | 37 | 7797 | 5581 | 13378 | 2,53 |
| 65 | 360 | 40 | 8001 | 5989 | 13990 | 2,64 |
| 70 | 370 | 43 | 8185 | 6388 | 14573 | 2,75 |
| 75 | 379 | 45 | 8350 | 6778 | 15128 | 2,86 |
| 80 | 388 | 48 | 8499 | 7159 | 15658 | 2,96 |
| 85 | 396 | 51 | 8633 | 7533 | 16166 | 3,05 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1770 | 839 | 829 | 257 | 2212 | 2469 | 0,47 |
| 1775 | 840 | 829 | 256 | 2205 | 2461 | 0,46 |
| 1780 | 840 | 830 | 254 | 2198 | 2453 | 0,46 |
| 1785 | 841 | 830 | 253 | 2191 | 2444 | 0,46 |
| 1790 | 841 | 831 | 252 | 2184 | 2436 | 0,46 |
| 1795 | 841 | 831 | 251 | 2177 | 2428 | 0,46 |
| 1800 | 842 | 832 | 250 | 2170 | 2420 | 0,46 |

Taulukko 10.6 Esimerkin 10.3 tulostaulukko.



Kuva 10.27 Esimerkki 10-3. Eristämättömän HEA240-pilarin lämpötilan nousu standardipalossa.

Esimerkki 10-3

On määritettävä teräksen lämpötila tukemattomassa, eristämättömässä HEA240-pilarissa. Mitoituspalo on standardipalokäyrän mukainen, $A_m/V = 178 \text{ m}^{-1}$, ja aikaväliksi valitaan $t = 5 \text{ s}$.

Ratkaisu

Tällöin teräksen enimmäislämpötila, 832 °C , saavutetaan 30 minuutissa (ks. kuva 10.27).

Eristetty teräs

Paloeristettyyn teräskonstruktion pätee yksinkertaistetuissa olosuhteissa se, että teräksen lämpötila $\Delta\theta$ ajankohtana t voidaan laskea seuraavasti:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \frac{A_m}{V} \theta_{g,t} + \theta_{a,t}}{d_a c_a \rho_a \left(1 + \frac{\phi}{3}\right)} \Delta t - \left(e^{\phi/10} - 1\right) \Delta\theta_{g,t} \geq 0 \text{ °C} \quad (10-19)$$

jossa

- A_p/V on paloeristetyin teräselementin lämmön-siirtymiskerroin [m^{-1}]
 d_p on paloeristeen paksuus [m^{-1}]
 Δt on ajanjakso sekunneissa (ei saa olla yli 30) [s]
 $\theta_{a,t}$ on teräksen lämpötila ajankohtana t [$^{\circ}\text{C}$]
 $\theta_{g,t}$ on ympäröivän kaasun lämpötila ajankohtana t [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta\theta_{g,t}$ on ympäröivän kaasun lämpötilan nousu aikavälillä t [$^{\circ}\text{C}$]
 λ_p on paloeristeen lämmönjohtokyky [W/mK]
 ρ_a on kerroin, jossa otetaan huomioon paloeristeen ominaislämpökapasiteetti ja tiheys [-]
 Φ

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V} \quad (10-20)$$

jossa

- c_p on palosuojamateriaalin lämpötilasta riippuva ominaislämpökapasiteetti [J/kgK]
 Φ on teräksen lämpötilasta riippuva ominaislämpökapasiteetti kohtien (10-10–10-13) mukaisesti [J/kgK]
 ρ_p on palosuojamateriaalin tiheys [kg/m^3].

Kipsilevyistä, jotka sisältävät suhteellisesti paljon vettä, vesi poistuu vesihöyryn muodossa tulipalon yhteydessä. Veden höyrystyminen vaatii paljon energiaa, mikä hidastaa lämpötilan nousua. Nämä vaikutukset on vaikea ottaa yksinkertaisella ja oikealla tavalla huomioon, ja siksi tarvitaan useimmiten tietokonelaskentamalli.

Tehtäessä eristettyä teräsrakennetta koskevia laskelmia on otettava huomioon, että eristeen lämmönjohtamiskyky λ_p voi vaihdella lämpötilan mukaan.

10.7 KANTOKYKY TULIPALON YHTEYDESSÄ

Tulipalolle altistuvat teräsrakenteet voidaan mitoittaa eurokoodin 3 osan 1.2 mukaisesti. Mitoitukseen liittyviä paloturvavaihtoehtoja löytyy myös viitteistä [1] ja [3].

KIRJALLISUUTTA

- [1] P. Karlström, Flervåningsbyggnader med stålstomme – egenskaper vid brand, SBI Publikation 171, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma, 2002
- [2] L. Twilt et al., Dimensioneringsregler – Pelare av konstruktionsrör bärförmåga vid brand, SBI Publikation 150, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma, 1995
- [3] A. Ranby, T. Inha, J. Myllymäki, Structural Steel Fire Design, SBI Publikation 134, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma, 2000
- [4] J. Andersson, A. Ranby et al., Brandpärmen, Publikationsserie, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma, 1991–1994
- [5] Eurokoodi 3, osa 1.2
- [6] Eurokoodi 3, osa 1.1
- [7] Eurokoodi 1, osa 1.2

INTERNET

www.sbi.se

TEKIJÄT

Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen on kirjoittanut Johan Anderson. Tämän painoksen kappaleen on uudistanut Peter Karlström (Stålbyggnadsinstitutet).



Varastointisäiliö on maalattu ulkoapäin uusimmalla maalityypillä, akryylimodifoidulla polysiloksaanilla.

II. RUOSTESUOJAUS

Teräksen korrosio tai ruostuminen on elektrokemiallinen prosessi, jonka toteutuminen edellyttää vettä ja happea. Ilman vettä ja happea ei myöskään synny korroosiota. Vesi voi esimerkiksi jäädä metallipinnalle ohueksi kosteaksi kerrokseksi.

Korroosiota ei synny käytännössä alle 60 prosentin suhteellisessa ilmankosteudessa. Tästä syystä teräs ei ruostu kuivissa sisätiloissa. Korrosio lisääntyy kosteuspitoisuuden kasvaessa ja nopeutuu lämpötilan kohotessa. Rikki-diksidin ja kloridien käyttö saattaa moninkertaisesti nopeuttaa korroosion muodostumista (ks. kuva 11.1). Mikäli metallipinta on hyvin likainen, saattaa korrosio edetä jo alle 60 prosentin suhteellisessa kosteudessa liian itseensä sitoman kosteuden vuoksi.

Kaikkien kemiallisten prosessien tavoin myös korroosion eteneminen on hitaampaa matalissa lämpötiloissa. Korroosiota ei käytännössä tapahdu puhtaassa ilmanalassa, jos ilman lämpötila on alle 0 °C. Metallipinnan epäpuhtaudet ja suolat voivat kuitenkin aiheuttaa korroosion muodostumista, kun lämpötila on alle nollan.

Vedessä tapahtuva korrosio riippuu monista tekijöistä, kuten veden suolapitoisuudesta, epäpuhtauksista, veden pH:sta jne. Suolapitoisuus vaikuttaa merkittävästi, ja merivesi aiheuttaaakin korroosiota huomattavasti enemmän kuin makea vesi. Myös vapaan hapen pitoisuudella on ratkaiseva merkitys. Kun happea ei ole, korroosioprosessi pysähtyy. Veteen upotettu teräs ruostuu eniten, kun happikonsentraatio on korkeimmillaan, eli juuri ja juuri vedenpinnan alapuolella.

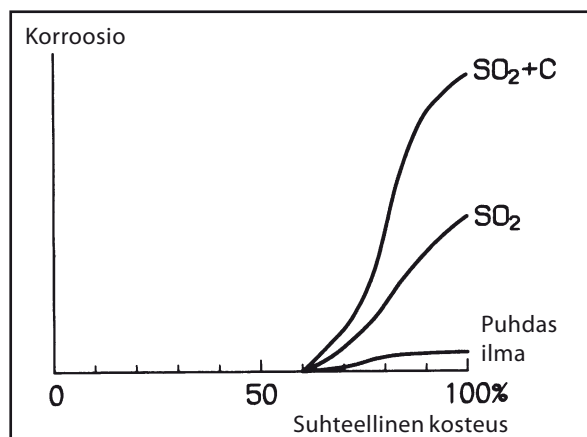
Maassa ja vedessä tapahtuva korrosio on voimakkainta lähellä maan pintaa, jossa happea on eniten saatavilla. Maassa tapahtuva korrosio on voimakasta myös niillä alueilla, missä happipitoisuuksissa on suuria eroja. Esimerkinä voidaan mainita pohjavesikerros savi- ja hiekkamaan välissä. Kuivassa maassa, esimerkiksi hiekkassa, korrosio

on vähäistä. Myös savimaassa korrosio on vähäistä huonon hapensaannin vuoksi.

Teräspinta voidaan ruostesuojata esimerkiksi maalaamalla tai sinkitsemällä, ja näin voidaan ehkäistä korroosion muodostumista. Teräspinta voidaan maalata myös esteettisistä syistä. Ruostesuojausta käytetään ensisijaisesti ulkorakenteisiin, kuten siltoihin, mastoihin, säiliöihin yms., sekä teollisuusrakennusten korrosioherkän ympäristön rakenteisiin. Tässä kappaleessa kerrotaan erilaisista ruostesuojausmenetelmistä ja niiden soveltamisesta.

II.1 OLOSUHTEET KORROOSIOLLE JA KORROOSIOLUOKAT

Rakennetta ympäröivillä olosuhteilla on huomattava merkitys korroosion etenemiseen ja nopeuteen. Myös pinnan sijainti vaikuttaa korroosioon. Usein rakenteen alapinta ruostuu yläpintaa enemmän. Kosteus jää pidempään alapinnalle, kun taas yläpinnalta sade huuhtelee suolat ja muut epäpuhtaudet pois.



Kuva 11.1 Ilmastosta johtuva korrosio suhteellisen kosteuden funktiona.

| Rasitusluokka | Esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä lauhkeassa ilmastossa (vain opastava) | |
|-----------------------------------|--|--|
| | Sisällä | Ulkona |
| C1 hyvin lievä | - | Lämmitetyt rakennukset, joissa puhtaat ilmatilat, esim. toimistot, kaupat, koulut, hotellit. |
| C2 lievä | Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä on alhainen. Enimmäkseen maaseutualueita. | Lämmittämättömät rakennukset, joissa voi esiintyä kondensoitumista, esim. varastot, urheiluhallit. |
| C3 kohtalainen | Kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus. | Tuotantotilat, joissa korkea kosteuspitoisuus ja jossain määrin epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit. |
| C4 ankara | Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus on kohtalainen. | Kemianteollisuuden tuotantolaitokset, uima-altaat, rannikolla sijaitsevat telakat ja veneveistämöt. |
| C5-I hyvin ankara (teollisuus) | Teollisuusalueet, joilla kosteus on korkea ja ilmatila on syövyttävä. | Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea. |
| C5-M hyvin ankara (meri) | Rannikkoalueet ja rannikon ulkopuoliset alueet, joilla suolapitoisuus on korkea. | Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea. |

Kuva 11.2 SSEN ISO 12944-2 -standardin mukaiset korroosioluokat, joihin ruostesuojauksen valinta perustuu.

Standardissa SS-EN ISO 12944-2 [8] on johdanto korroosioluokista C1–C5-M, sekä veteen ja maahan sijoitettavien rakenteiden (*immersed*, upotettujen) korroosioluokista Im I–Im 3.

Korroosioluokat ilmenevät kuvasta 11.2. Luokkia voidaan pitää lähtökohtana ruostesuojan valinnassa.

Uudessa kansainvälisessä ruostesuojastandardissa SS-EN ISO 12944, joka on hyväksytty myös eurooppalaiseksi ja ruotsalaiseksi standardiksi, on huomioitu uuden ISO-standardin mukaiset korroosioluokitukset.

Olosuhteiden luokittelukseksi käytetään ns. korroosioluokkia (C2, C3 jne.) vanhojen ympäristöluokkien (esimerkiksi M1, M2 jne.) sijasta.

Maalausmenetelmän kestävyysluokka valitaan kahdesta tarjolla olevasta: keskipitkä = 5–15 vuotta, pitkä = yli 15 vuotta. Kestävyysaikaa ei pidä sekoittaa takuuajakaan, vaan ruostesuojauksikäsitellyn pinnan laadun alenemista ruosteste 3:een seurataan huolellisesti (Ri 39 SS 184203 -standardin (ISO 4628-3) määritelmän mukaisesti).

11.2 RUOSTESUOJAMAALAUUS

Tavallisin teräsrakenteiden ruostesuojausmenetelmä on maalaus. Moderneilla maaleilla saavutetaan pitkä käyttöikä. On tärkeää valita juuri oikean tyyppinen maali ja tehdä maalaus oikein. Ruostesuojausmenetelmän valinta on taloudellisesti merkittävää sekä aloituskustannusten, odotetun käyttöiän että tulevan kunnossapidon kannalta. Esimerkiksi sillan oikein tehdyn ruostesuojauksen käyttöikä voi olla 30 vuotta.

Teräspinnan ruostumisaste, pintojen epäpuhtaudet (esimerkiksi suolat, pöly, öljy, rasva), pinnan esikäsitellyn huolellisuus, teräksen pinnan profiili ja karkeus, maalilaadun valinta, maalipinnan lopullinen kerrospaksuus sekä ympäristösäännökset itse maalauksessa ovat kaikki muuttujia, jotka vaikuttavat ruostesuojauksen laatuun ja kestoikään.

11.2.1 Ruostesuojamaalien suojamekanismi

Ruostesuojamaalit voivat vähentää korroosion muodostumista kolmella tavalla:

- Eristävä suojaus. Korroosio estetään paksulla ja tiiviillä pinnoitekerroksella, joka estää kosteutta, happea ja muita kaasuja pääsemästä kosketuksiin teräksen pinnan kanssa. Suojakerros tehdään useimmiten epoksi-pinnoitteella (ks. luku 11.2.4).



Kuva 11.3 Vapaapuhallusvarusteisiin pukeutunut henkilö.

- Katodinen suojaus. Teräspinta päällystetään metallilla, joka on terästä epäjalompaa (useimmiten sinkki). Näin torjutaan korroosion syntyminen teräkseen. Yksi tapa on käsitellä teräspinta sinkkipitoisella maalilla. Tämä suojaustapa yhdistetään usein eristävään suojaukseen.
- Passivoiva suojaus. Teräksen pinta muutetaan vähemmän korrosioherkäksi passivoivalla pigmentillä. Tällaisena pigmenttinä käytetään sinkkifosfaattia. Passivoiva suojaus yhdistetään miltei aina eristävään suojaukseen.

11.2.2 Esikäsitteily

Esikäsitteilyllä on ratkaiseva merkitys hyvässä ruostesuojauksessa. Puutteellinen tai virheellinen esikäsitteily aiheuttaa sen, että jopa parhaat suojamateriaalit ja -menetelmät suojaavat huonosti ruosteelta. Esikäsitteilyllä tarkoitetaan, että teräspinnasta puhdistetaan ruoste, oksidikerros, rasva, öljy, kosteus, suolat ja muut epäpuhtaudet. Esikäsitteily poistaa korroosiota aiheuttavat epäpuhtaudet ja antaa hyvän tartuntapinnan terästä suojaavalle maalille. Teräspinnan kunto ennen esikäsitteilyä, valittava esikäsitteilymenetelmä ja suoritustapa sekä pinnan puhtaus ja profiili esikäsitteilyn jälkeen ovat ratkaisevia tekijöitä ruostesuojausten keston kannalta.

Kansainvälisen ISO 8501-1:1988 (SS 055900) -standardin mukaan teräspinnan ulkonäkö arvioidaan (valokuvista) ennen esikäsitteilyä, jolloin todetaan ruosteaste, sekä esikäsitteilyn jälkeen, jolloin todetaan käsitteilyn lopputulos. Myös muita esikäsitteilystandardeja on olemassa, kuten NACE ja SSPC, mutta yleisimmin Ruotsissa käytetään aiemmin mainittua ISO-standardia.

Teräspinnan ruosteaste arvioidaan A-, B-, C-, tai D-arvosanalla ulkonäön perusteella, ja mieluiten vain A- ja B-arvosanan pinnat hyväksytään. Niiden pintaan jää esikäsitteilyn jälkeen vähiten epäpuhtauksia, mikä pidentää maalauksen kestoikää. Useimpien standardien mukaan ruosteaste D:n terästä ei pidä käyttää kantaviin rakenteisiin.

Manuaaliseen/koneelliseen työstöön, ts. hiontaan ja teräsharjaukseen, nimetään esikäsitteilyvaiheet ISO 8501-1:n mukaan, St 2 tai St 3. Korkeampi luku viittaa puhtaampaan ja hienompaan pintaan esikäsitteilyn päätteeksi. Puhaltamiseen käytetään em. standardin mukaan luokkia Sa 1, Sa 2 tai Sa 3. Teräspintaan puhalletaan kovalla voimalla pieniä rakeita, esimerkiksi teräskuulia. Kuvassa 11.3 henkilö on vapaapuhallusvarusteissa. Puhallus voidaan toteuttaa jopa erityisessä laitteessa, jossa rakenne-elementti, esimerkiksi pilari, viedään hitaasti puhallussuihkun läpi. Tätä kutsutaan sinkkopuhdistukseksi.



Kuva 11.4 Levitys korkeapaineruiskutuksella. Tämä on tavallisin ruostesuojamaalin levitysmenetelmä.

Esikäsitteilymenetelmä tulee valita rakenteen käyttökohteen mukaan, ja samalla tulee myös huomioida valittu maalausmenetelmä. Mitä huolellisemmin eri tekijät huomioidaan jo esikäsitteilyvaiheessa, sitä pidempi käyttöikä teräsrakenteelle saavutetaan, erityisesti vaativissa olosuhteissa. Useimmissa tapauksissa suositellaan puhallusta, ja Sa 2 1/2 on yleisin ja mielekkäin esikäsitteilyaste. SS-EN ISO 12944 -standardissa ja monissa muissa standardeissa annetaan esikäsitteilyasteen valintaa koskevia ohjeita.

Esikäsitteilyltä vaaditaan tarkkuutta, ja myös puhallettavan teräspinnan pintaprofiilille ja karkeudelle on asetettu kriteerit. (Joissakin tapauksissa vaatimuksia on asetettu myös manuaaliseen/koneelliseen työstämiseen, ks. muun muassa SSPC-SP11.) Useimmiten Ruotsissa käytetään kansainvälisen SS-EN ISO 8503-1 -standardin skaalasta: hieno, keskiahio tai karkea. Profiilien määrittämiseen on olemassa myös muita standardeja, mutta niitä käytetään Ruotsissa harvoin.

Esikäsitteilyä keskusteltaessa on hyvä perehtyä tarkemmin SS-ISO 8502 -standardiin (testit epäpuhtauksien kontrollointiin), SS-ISO 8504 -standardiin (esikäsitteilymenetelmät) sekä SS-EN ISO 12944-4 -standardiin.

Esikäsitteilyvaiheen tärkeät kohdat ovat seuraavat.

- Ennen puhallusta tai manuaalista/koneellista työstöä öljy, rasva ja muut epäpuhtaudet poistetaan. Asianmukaisinta on pestä pinta rasvaemulgoivalla pesuaineella ja tämän jälkeen huuhdella teräspinta makealla vedellä korkean paineen avulla, jotta puhdistusaineen sekä kloridien jäämät lähtevät pois.
- Hitsauksesta naputellaan mahdollinen kuona pois. Hitsauksen taskut ja raot täytetään. Hitsauksen roiskeet eli hitsauskipinät sekä huokoiset kohdat poistetaan.
- Reunat pyöristetään ennen esikäsitteilyä (ks. SS-EN ISO 12944-3).
- Esikäsitteily tehdään kuivalla säällä tai sisätiloissa. Teräksen lämpötilan tulee olla 3 °C korkeampi kuin kastepiste.
- Esikäsitteilylle varataan aikaa niin runsaasti, että kohde voidaan maalata välittömästi esikäsitteilyn jälkeen. Puhallettu pinta ruostuu nopeasti uudelleen.

- Esikäsitteilyn jälkeen pinta pyyhitään puhtaaksi.
- Aiemmin maalattu pinta, myös luvussa 11.2.4 kuvattu esikäsitteily maalattava teräs, puhdistetaan rasvasta, pölystä, noesta, suolasta jne. Tämä käy tehokkaimmin korkeapainepesulla. Hitsauksen jäljet, vauriot jne. on tärkeä esikäsitellä asianmukaisella tavalla ennen maalauksen siirtymistä.

11.2.3 Pintakäsittely – Maalaus

Teräsrakenne pintakäsitellään korroosiosuojan aikaansaamiseksi. Käsitteilyn tarkoituksena voi olla myös miellyttävän näköisen pinnan luominen. Ruostesuojauksen onnistuminen riippuu muun muassa maalikerrosten paksuudesta, maalausmenetelmästä ja maalausolosuhteista.

Kerrospaksuus

Maalisoija muodostuu useista maalauskerroksista. Oikea maalikerroksen paksuuden valinta on edellytys toivotunlaiselle suojalle. Liian ohuella suojakerroksella saavutetaan lyhyt suojakesto, toisaalta liian paksun suojakerroksen sisään voi jäädä liuotinaineita, jotka voivat huonontaa maalin tarttuvuutta kerrosten välillä. Tämä aiheuttaa suojaavan maalikerroksen halkeilemisen. Useimmille maalausmenetelmille hyväksytyt kerrospaksuusrajat ovat suhteellisen laveat, ja käytännöt vaihtelevat tilanteen mukaan. Suojakerroksen valinta riippuu rakenteen käyttötarkoituksesta, korroosioluokasta, suojattavan kohteen rakenteesta sekä ulkonäkövaatimuksista. Suositellut suojakerrospaksuudet eri maalausmenetelmiin löytyvät muun muassa standardista SS-EN ISO 12944-5.

Saavutetun suojakerrospaksuuden tarkastamiseen jälkikäteen on olemassa monia eri tapoja. Kuiva suojakerros tarkastetaan Ruotsissa useimmiten SS 184160 -standardin mukaisesti. Kuivan maalikerroksen tarkastuksessa tavallisesti käytetyt ohjeistot ovat ISO 2808 ja SSPC-PA2.

Suojamaalin levitystavat

Tavallisimmat levitysmenetelmät ovat pensseli- ja telamaalaus, perinteinen ruiskumaalaus sekä korkeapaineruiskutus.

Pensselillä maalaaminen vie aikaa, mutta tätä menetelmää käytetään paljon. Se on erityisen sopiva tapa sellaisiin pintoihin, jotka ovat ruiskumaalauksen ulottumattomissa, tai pintoihin, joiden ruiskumaalaamisessa maalin hävikki olisi merkittävä. Modernien maalien viskositeetti soveltuu hyvin korkeapaineruiskutukseen, mutta pensselimaalauksessa näillä maaleilla saavutetaan vain ohuempi kerrospaksuus. Pensselimaalaus vaatii yleensä kahdesta kolmeen kerrosta, kun yhdellä korkeapaineruiskutuskerroksella saadaan aikaan yhtä paksu lopputulos.

Telalla maalaaminen on pensselillä maalaamista nopeampaa, ja telamaalauksella voidaan käyttää useimmille tasaisille pinnoille. Kerroksen paksuutta on tällöin kuitenkin vaikea säädellä. Samoin kuin pensselimaalauksessa, telamaalauksessa on vaikea saavuttaa kerralla tarpeeksi paksua maalikerrosta. On tärkeää valita oikeanlainen tela parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Telamaalauksessa paras

lopputuloks saavutetaan usein viimeistelemällä maalaus-pinta notkealla pensselillä.

Tela- ja pensselimaalausta käytetään usein täydentämään ruiskumaalausta. Tällaista täydennysmaalausta käytetään esimerkiksi reunojen ja särmien lisämaalauksessa, tai maalattaessa rakenteen osia, jotka eivät sovellu ruiskumaalaukseen (esimerkiksi reunat, särmät, sisäpuoliset kulmat, erilaiset lovet, pykälät)

Perinteinen ruiskumaalaus on yleisesti hyväksytty, nopea maalaustapa pinnoille, joiden ulkonäölle asetetaan korkeita vaatimuksia. Ruiskutettava maali saadaan tasaiseksi ilmapirran avulla. Lopputuloksen kannalta on tärkeää, että ilmanpaine, maalin koostumus ja juoksevuus sekä ruiskun suukappale ovat juuri oikeanlaiset. Perinteistä ruiskumaalausta käytetään harvoin ruostesuojamaalauksessa, koska ruiskumaalauksella saavutettavan kerroksen paksuutta on vaikea säädellä.

Korkeapaineruiskutus (ks. kuva 11.4) eroaa perinteisestä ruiskumaalauksesta siten, että ilmaa ja maalia ei sekoiteta ruiskutusvaiheessa. Hienojakoisuus saadaan aikaan viemällä maali korkealla paineella erikoissuokappaleen läpi, mikä saa aikaan värin hienojakoisen leviämisen. Korkeapaineruiskutus on oivallinen menetelmä isokokoisissa kohteissa, joissa halutaan nopeasti saavuttaa tarpeeksi paksu suojakerros jo yhdellä maalauskerroksella, eikä niiden ulkonäön viimeistelylle aseteta korkeita kriteereitä. Korkeapaineruiskutus on tavallisin menetelmä ruostesuojamaalauksessa.

Maalausolosuhteet

Maalaus tehdään kuivalla säällä tai sisätiloissa. Kostealla säällä, tai jos teräksen lämpötila on kastepistettä alhaisempi (toisin sanoen teräksen pintaan jää kosteutta), maalaaminen on täysin hyödytöntä. Maalattaessa tällaisissa olosuhteissa saavutetaan huono ruostesuoja.

11.2.4 Ruostesuojamaalit

Täydellinen suojaus syntyy kahdesta tai useammasta maalikerroksesta, jotka täydentävät toisiaan. Pohja- ja peitemaalit ovat erikseen. Joskus käytetään jopa välikerrosmaalia.

Pohjamaalin tehtävänä on

- kostuttaa rakenteen pohja ja luoda tartuntapinta antaa passivoiva tai katodinen suoja
- yhdessä peitemaalin kanssa eristää teräs ympäröivien olosuhteiden vaikutukselta.

Tästä lopputuloksena nähdään puhallusprofiili.

Välikerrosmaalin tehtävänä on

- vahvistaa kerrospaksuutta
- muodostaa parempi tartuntapinta pohja- ja peitevärin välille
- parantaa suojauksen eristävyttä kosteutta ja epäpuhtauksia vastaan.
- Välikerrosmaali sisältää usein suojavaikutusta vahvistavaa pigmenttiä.

Välikerrosmaalina käytetään usein toista kerrosta pohjamaalia. Välikerrosmaalia voidaan käyttää myös korvaamaan yhtä peitemaalikerrosta.

Peitemaalin tehtävänä on

- antaa toivottu värisävy, kiilto ja kestävyys ulkotilojen suojuetuille pinnoille
- suojata pohjamaalia ulkoapäin tulevilta haitoilta
- yhdessä pohja- ja välikerrosmaalin kanssa eristää teräspinta.
- Tasainen ja kiiltävä pinta on helpoin pitää puhtaana, eikä lika tartu siihen niin helposti kiinni.

Maali koostuu neljästä pääkomponentista, joiden yhteisvaikutuksesta maaliaine saa ominaisuutensa. Nämä komponentit ovat pigmentti, sideaineet, täyteaineet ja lisäaineet. Maali sisältää myös liuotainetta tai vettä.

Pigmentin päätehtävä on antaa väriä ja peittoa pohjapinnalle. Pigmentti antaa yhdessä niin sanottujen täyte- eli jatkeaineiden kanssa lujuutta ja paremman tartuntapinnan maalikerrokselle.

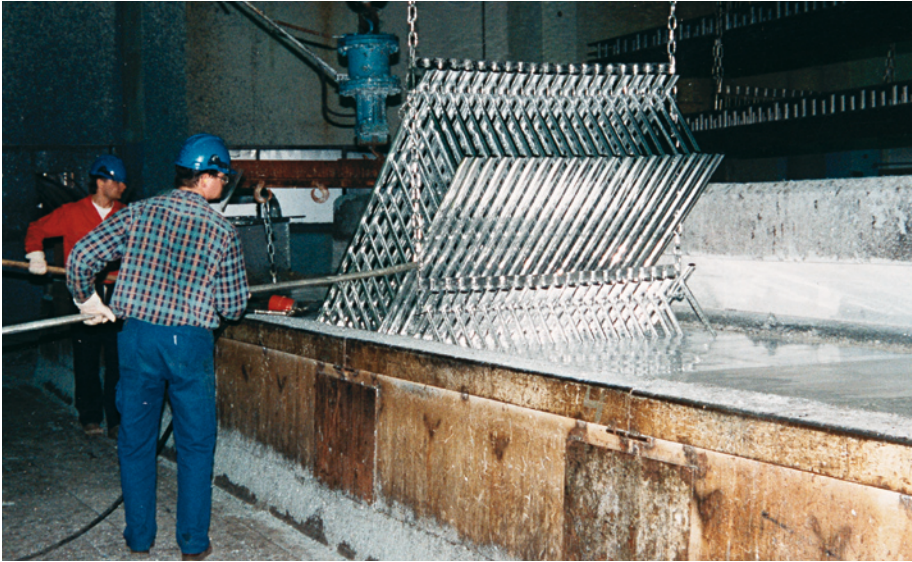
Sideaine antaa maalille sen tunnusomaiset ominaisuudet. Sideaine antaa usein nimen maalityypille, esimerkiksi epoksimaalille. Sideaine voidaan jaotella kolmeen ryhmään kuivumisajan perusteella.

Hapettumalla kuivuvat maalit, kuten öljy- ja alkydimaalit, uretaaniakrydimaalit ja epoksiesterimaalit muodostavat kestävä maalin pinnan siten, että reagoitessaan ilman hapen kanssa maalin liuotainne tai vesi haihtuu. Yhteistä tälle ryhmälle on alkaliherkkyys, toisin sanoen ne saippuoiutuvat joutuessaan kosketuksiin emäksen kanssa. Tämän takia nämä maalit eivät sovellu käytettäväksi emäksiseen pohjaan, kuten esimerkiksi sinkitylle teräkselle.

Fysikaalisesti kuivuviin maaleihin eli kloorikautsu-, pvc-, akrylaatti-, bitumi- ja lateksimaaleihin maalipinta muodostuu liuotainne haihtuessa pois. Yhteinen ominaisuus on lämpömuovautuvuus. Nämä maalit eivät pysy muuttumattomina lämpötilanvaihteluissa, siksi ne eivät sovi kuumille pinnoille. Maalit kuivuvat suhteellisen nopeasti matalissa lämpötiloissa.

Kemiallisesti kuivuvat maalit, epoksi-, polyuretaani-, oksiraaniesteri- ja etyyliisilikaattimaalit sekä uusi akryylimodifioitu maalityyppi polysiloksaani muodostavat maalipinnan kahden aineen kemiallisen reaktion kautta (2-komponentti). Yhteistä näille on, että reaktio riippuu lämpötilasta. Maali saavuttaa tyydyttävän kovuusasteen usein vasta yli 10 °C:n lämpötilassa, mutta myös matalissa lämpötiloissa kovettuvia maaleja on nykyisin olemassa. Näille maaleille ominaista on korkea veden ja kemikaalien sietokyky, ja niiden mekaanisen kulutuksen kestävyys on erinomainen.

Mainitsemisen arvoinen on myös uusi maalityyppi akryylimodifioitu polysiloksaani. Sen UV-kestävyys on ylivoimainen verrattuna tämän hetken polyuretaanipeitemaaleihin, jotka tähän asti ovat olleet parhaita markkinoilla olevia



Kuva 11.5 Teräsrakenteen kuumasinkitys.

tämän kategorian maaleja. Näillä maaleilla voidaan saavuttaa jopa C5-M-korroosioluokka vain kahdella, yhteensä 200 µm:n kerroksella (NORSOK M-501 -testi). Suojauksen kokonaiskustannukset pienenevät, ja samalla tuottavuus kasvaa paremman kestävyuden tai paremman korroosiosuojan muodossa. Akryylimodifioitu polysiloksaani ei sisällä pieni- tai suurimolekyylisiä epoksia eikä esipolymerisoituja tai vapaita isosyanaatteja, mistä johtuen tuotteessa ei ole työsuojavaltuutetun kovamuoviohjeistusta (AFS 1996:4).

Liutinaine tekee maalin koostumuksesta juoksevamman eli alentaa viskositeettia, mikä vaikuttaa suotuisasti maalautusominaisuuksiin. Liutinaine voi olla orgaanista (esimerkiksi lakkabensiini, ksyleeni, alkoholit) tai epäorgaanista (esimerkiksi vesi).

Lisäaineet antavat maalille sen erityisominaisuudet. Näihin aineisiin lasketaan esimerkiksi nesteaines, koostumukseen vaikuttavat aineet ja alkydimaaleissa kuiva-aineet.

Teräsrakenteisiin tarkoitetut ensisijaiset maalityypit on ilmoitettu SS-EN ISO 12944-5 -standardissa.

Esikäsitelty teräs tai niin sanottu *shopprimer*-maalattu teräs pintakäsitellään teräksen tuottajan tai tukkuliikkeen automaatiolinjassa. Teräs käsitellään ohuesti pohjamaalilla, joka muodostaa korroosiosuojan. Jos teräs tämän jälkeen maalataan, voidaan pohjakerros useimpien standardien mukaan laskea mukaan kokonaiskerrospaksuuteen. Jos rungon halutaan olevan korroosiosuojattu jo rakennusvaiheessa, on järkevää valita esikäsitelty teräs (ks. luku 11.5).

11.2.5 Työympäristö

Ruostesuojamaalit sisältävät aineita, jotka aiheuttavat terveysriskejä. Siksi on tärkeää, että maalauksessa huomioidaan tarpeenmukaiset suojoitoimenpiteet. Teräsrakennetehtaan maalauksosaston tulee olla erillään tehtaan muista osista, ja se täytyy varustaa kunnollisella ilmanvaihdoilla. Maaliriskeistä pitää tiedottaa tuotteen turvallisuustiedotteessa

sekä tuotteen pakkauksen etiketissä. Tuotteen turvallisuustiedotteen pitää aina olla saatavilla, kun maalia käytetään.

11.3 SINKITYS

11.3.1 Kuumasinkitys

Ruostesuojamaalauksen rinnalla käytetty kuumasinkitys on tavallisin teräksen korroosiosuojausmenetelmä. Rakenne upotetaan sinkkialtaaseen, jossa se saa suojaavan sinkkikerroksen (ks. kuva 11.5). Sinkin korroosionopeus useimmissa olosuhteissa ja ympäristöissä on paljon pidempi kuin teräksen. Ruostesuojaus perustuu pääasiassa siihen, että sinkki muodostaa suojakerroksen teräksen ja ympäristön välille. Näin aggressiivisten epäpuhtauksien pääsy teräksen pintaan estyy. Mikäli sinkkikerros vaurioituu paikallisesti, esimerkiksi peltilevyn leikkausreunasta, sinkki suojaa terästä katodisesti, koska sinkki on elektrokemiallisesti epäjalompi.

Useista pienistä osista koostuvat rakenteet, joita on vaikea tai jopa mahdoton ruiskusuojata tai maalata, voidaan suojata sinkityksellä. Kuumasinkitys valitaan usein myös silloin, kun rakenteen aktiivinen kunnossapito on vaikeaa, kallista tai vaarallista. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi korkeat mastot ja korkeille paikoille pystytettävät rakenteet. Putkien kuumasinkitys on hyvä ruosteenestomenetelmä, koska tällöin saadaan suoja-pinnoite automaattisesti myös sisäpintaan. Tämä pätee myös rakenteisiin, joissa on vaikeasti tavoitettavia lovia. Kuumasinkitystä käytetään ensisijaisesti ristikkorakenteissa, mastoissa, tolppissa ja vaativissa teollisuusympäristön rakenteissa. Kuumasinkittyjä tuotteita käytetään laajalti myös tiestössä, esimerkiksi kaiteissa, lyhtypylväissä, riista-aidoissa, opasteiden tolppina jne.

Kuten muissakin pintakäsittelymenetelmissä, myös kuumasinkityksessä teräspinnan tulee olla asianmukaisesti puhdistettu. Esikäsitelyssä rasva poistetaan ja pinta happopeitataan. Jotkut epäpuhtaudet, kuten liitumerkinnyt



Kuva 11.6 Liittopalkkisillan teräksinen kotelopalkki on hyvä esimerkki tasaisesta ja sileästä pinnasta.

hitsauksen jäljet, täytyy poistaa mekaanisesti, esimerkiksi paineilmapuhalluksella.

Suurimmat sinkkikattilat Ruotsissa ovat 10–13 metriä pitkiä, 1,4–1,8 metriä leveitä ja 2,0–3,0 metriä syviä. Tämä asettaa rajat sille, minkä kokoisia rakenteita voidaan sinkkitä. Isokokoisemmat rakenteet voidaan sinkkitä kaksoisupotuksella, toisin sanoen sinkkialtaaseen upotetaan puolet rakenteesta kerrallaan.

Kuumasinkityksessä saavutetaan tavallisesti 70–200 µm:n paksuinen sinkkikerros. Sinkityksen paksuus määräytyy ensisijaisesti teräksen kokoonpanon ja käyttökohteen mukaan. Materiaalin tilauksen yhteydessä on siis tärkeä kertoa, millaiseen käyttökohteeseen kuumasinkitty teräs tulee, ja varmistaa, että analyysi sopivimmasta kuumasinkityspaksuudesta on tehty. Teräksen käyttötarkoitus, materiaalin paksuus ja upotusaika sinkkialtaaseen vaikuttavat muodostuvan suojakerroksen paksuuteen. Kerrospaksuusvaatimukset ja muu ohjeistus löytyvät SS-EN ISO 1461 -standardista. Sinkin ympäröivästä ilmanlaadusta johtuva korrosio on viime vuosina vähentynyt rikkipitoisten päästöjen vähenemisen myötä. Nykyisin korrosion määrä vaihtelee vuositasolla 0,5 µm:stä noin 2 µm:iin, riippuen siitä, ollaanko sisämaassa vai meren äärellä. Kuumasinkityksellä tehtävän suojakerroksen paksuus valitaan sen mukaan, millainen ilmasto käyttökohteessa on, millaisille epäpuhtauksille ja muille tekijöille rakenne altistuu sekä kuinka pitkä käyttöikätaivoite (jopa 50 vuotta tai enemmän) rakenteelle asetetaan.

Umpinaisiin rakenteisiin tehdään tuuletusaukkoja, muutoin ne kelluvat sinkkialtaassa. Jos umpinainen rakenne upotetaan kuumaan sinkkisulaan (460 °C), seurauksena voi olla muun muassa räjähdyksiä, rakenteen voimakkaita epämuodostumia ja vääntymiä. Aukkojen tulee olla niin suuria, että sula sinkki pääsee helposti valumaan rakenteen sisään ja ulos.

Myös hitsatut rakenteet voidaan kuumasinkitä. Monimutkaisemmat hitsatut rakenteet, joissa on korkea ominaisjännitys, voivat kärsiä muotovaurioita, ja niihin saattaa tulla

myös halkeamia, kun rakenne kuumenee sinkkialtaassa. Pitkät ja kapeat rakenteet saattavat mennä keroon kuumennusvaiheessa. Kun kuumasinkitystä ei voida soveltaa rakenteeseen, on ruiskusinkitys sopiva menetelmä (ks. luku 11.3.2). Kun sinkittyä rakennetta hitsataan, varmistetaan hyvä ilmanvaihto ja muodostuvien sinkkioksidihukkasten poisto; muuten hitsaaja voi saada sinkki-kuumeen, joka muistuttaa oireiltaan hyvin voimakasta akuuttia influenssaa.

Kuumasinkitys antaa hyvän ja pitkään kestävä ruostesuojan. Eriyisen vaativassa ympäristössä tai kun pintaa ei haluta jättää sinkinharmaaksi, kannattaa kuumasinkitty teräs maalata (ks. luku 11.3.3). Sinkityn ja maalatun kohteen kestoikä on yli puolet pidempi kuin pelkästään maalatun tai sinkityn kohteen. Kuumasinkityksen kustannukset ovat samaa luokkaa kuin laadukkaan maalausruostesuojausten.

Vastasinkitty pinta on kiiltävä ja vaaleanharmaa tai harmaansininen. Sinkitty pinta muuttuu mattamaiseksi ja tummuu altistuttuaan ulkoilmalle muutaman vuoden ajan. Sinkin väri ja metallimainen kiilto riippuu teräksen koostumuksesta. Eri teräslaaduista muodostuvan ja täten eri piipitoisuuksia sisältävän rakenteen väri saattaa vaihdella huomattavasti paikoittain. Piipitoinen teräs saattaa muuttaman vuoden säälle altistumisen jälkeen muuttua ruskeaksi, mutta värinmuutos on vaaratonta.

Esimerkki kohteesta, jota ei voida kuumasinkitä, on teräksestä ja ei-rautametallista tehty yhdistelmä rakenne.

11.3.2 Ruiskusinkitys

Ruiskusinkitystä käytetään ruostesuojauskäsittelynä niille rakenteille, jotka ovat liian suuria mahtuakseen sinkkialtaisiin tai joita jostain muusta syystä ei voida kuumasinkitä. Menetelmä on hyvin tavallinen myös kuumasinkittyjen rakenteiden hitsauskohtien parantamisessa. Ruiskusinkitty pinta on väriltään harmaa, mattapintainen ja karkea.

Ruiskusinkitys tehdään SS-EN 22 063 -standardin kriteerien mukaisesti. Ennen metallointia pinta tulee puhdistaa puhalluksella. Ruiskusinkityksen kerrospaksuusvaatimukseksi määritellään usein 80–100 µm. Suojakerroksen paksuutta on vaikea arvioida kesken ruiskusinkityksen, joten suoja-kerroksen muodostuminen on sopivinta tarkastaa magneettisella kerrosvahvuusmittarilla työn edetessä.

Ruiskusinkitystä on vaikea tehdä jo pystytettyihin rakenteisiin. Ruiskusinkitys on suhteellisen kallis ruostesuojausmenetelmä. Ruiskusinkityksen vaihtoehtona hitsauskohtien parantamisessa voidaan käyttää haluttujen kohtien käsittelemistä sinkkipitoisella maalilla.

11.3.3 Sinkkipinnan maalaaminen

Sinkkipinnat on hyvä maalata. Lopputuloksena saadaan hyvä ruostesuoja. Sinkin katodinen suojavaikutus ehkäisee ruostumiselta, jos maalipinta vaurioituu. Maalipinnan vaurioituminen on tavallisin syy maalipinnan murtumiseen.

Kuten kaikki pinnat, sinkkipintakin puhdistetaan ennen maalausta. Kuumasinkitty teräs pestään ja sen karhea pinta kevytpuhalletaan sileäksi ennen maalausta SS-EN ISO 8503-2 -standardin mukaisesti. Puhalluksessa käytetään hienojakoista teräväreunaista puhallusainetta, esimerkiksi alumiinisilikaattia tai oliviinihiekkää, ja rakeen tulee olla kooltaan 0,2–0,5 mm. Suokappaleen paineen tulee olla korkeintaan 0,2 MPa. Puhallusetäisyyden tulee olla noin 500 mm ja puhalluskulman 30–60°, jotta kuumasinkitty pinta ei vaurioidu.

Pohjamaalaus tehdään tunnin sisällä puhalluksesta. Tarkista aina maalinvalmistajalta, että sekä pohja- että peiteväri soveltuvat kyseessä olevaan käyttökohteeseen. Öljy- ja alkydipohjaisia maaleja ei tule käyttää sinkityille pinnoille. Epoksi- ja polyuretaanimaaleja sitä vastoin suositellaan, mutta myös fysikaalisesti kuivuvilla väreillä saavutetaan normaalisti riittävä tarttuvuus.

Ruiskusinkittyjen pintojen maalaaminen pohjan huokoisuuden vuoksi on hankalampaa. Tässäkin pätee jälleen sääntö, että pinnan tulee olla niin puhdas kuin mahdollista. Käytännössä tämä tarkoittaa, että maalaus tulee mieluiten tehdä samana päivänä kuin teräs on metallipinoitettu.

11.4 RAKENTEIDEN SUUNNITTELU

Teräsrakenteen suunnittelulla on suuri merkitys rakenteen korroosionvastustuskykyyn. Perusteellisessa suunnittelussa huomioidaan ruostesuojauksen tekeminen ja rakenteen huolto ja ylläpito tulevaisuudessa. Hyvä suunnittelu vähentää myös korroosiovaikutusta rakenteeseen. Seuraavassa muutama yksinkertainen sääntö rakenteiden suunnitteluun.

Rakenne pyritään saamaan sileäksi ja tasaiseksi (ks. kuva 11.6). Sileä ja tasainen rakenne on helpompi ruostesuojata kuin rakenne, jossa on hitsattuja osia ja muita epäsäännöllisyyksiä. Ruostesuojakäsittely pysyy huomattavasti

pidempään sileässä pinnassa. Jäykisteitä ja muita päällehitsattuja paloja pitäisi välttää, mikäli mahdollista. Usein parempi ja halvempi vaihtoehto on lisätä rakenteen seinämäpaksuutta.

Likaa ja kosteutta kerääviä ahtaita liitospaikoita, nurkkia, kulmia ja rakoja tulee välttää. Näihin kohtiin alkaa ensimmäisenä muodostua korroosiota. Vältä myös teräviä kulmia ja reunoja. Ruostesuojavaalauksen kerrospaksuus on usein ohuempi näissä kohdissa, joten ruoste näkyy niissä ensimmäiseksi. Valssatuissa profiileissa käytetty kaarevuus on usein hyvä vaihtoehto teräville kulmille.

Monista elementeistä koostuvan rakenteen ruostumisalttiit pinnat ja raot tiivistetään hitsaamalla tai ne ruostesuojakäsitellään niin huolellisesti, että rakojen korroosiota ja mahdollista korroosionestopinnan murtumista ei tapahdu.

Betoniset valutuotteet ruostesuojakäsitellään ennen valua, ja ruostesuojan tulee ulottua vähintään 50 mm betonin sisään.

Vettä tai kosteutta kerääviä pintoja tulee välttää, tai ne täytyy varustaa suuremmilla vedenpoistoaukoilla kaikista tarpeellisista kohdista. Avonaiset kohdat käännetään ylösalaisin suuaukko alaspäin. Vedenpoistoreikien tulee olla halkaisijaltaan vähintään 20 mm. Rakenteen alaosat eivät saa joutua alttiiksi pisaroinnille ja roiskeille.

Suljetut rakenteet tiivistetään hitsaamalla. Sellaiset rakenteet, joihin vesi voi tunkeutua, varustetaan alareunoihin sijoitettavilla vedenpoistoaukoilla. Kondensaation muodostuminen estetään vedenpoistoaukkojen ja hyvän ilmanvaihdon avulla.

Eri metallien liitoskohtia tulee välttää vedelle tai kosteudelle altistuvissa rakenteissa. Mikäli eri materiaaleja täytyy käyttää, ne tulee eristää toisistaan tai elektrolyyteistä esim. eristävällä välikappaleella tai huolellisella maalauksella, jotta galvaaniselta korroosiolta vältytään. Epäjalon metallin eli kulutettavan metallin pinta-alan tulee olla suurempi kuin jalomman metallin, jotta galvaaninen korroosiovaikutus ei olisi niin suuri. Ruuvi-, niitti- ja hitsausmateriaalin tulisi olla pohjamateriaalia jalompaa. Tämä koskee tavallisissa teräsrakenteissa käytettyjä materiaaleja.

Yhdistelmärakenteissa ja rakenteiden osissa pitää huolehtia, että ruostesuojaukselle ja ylläpidolle on tarpeeksi tilaa. Osien välillä tulisi olla vapaata tilaa 400 mm.

Modernit, hitsatut teräsrakenteet ovat pinnoiltaan puhtaampia ja sileämpiä kuin vanhemmat, epäsäännöllisemmät, taotut rakenteet. Tämä näkyy mm. moderneissa teräsilloissa, jotka on tehty sileistä ja tasaisista palkeista, kun taas vanhat sillat ovat taottuja ristikkorakenteita. Tämän vuoksi modernien rakenteiden ruostesuojauksella on parempi korroosionvastustuskyky ja pidempi käyttöikä. Katso myös standardi SS-EN ISO 12944-3 [8].

11.5 RUOSTESUOJAUSMENETELMÄN VALINTA

Ruostesuojausmenetelmän valintaa ohjovat ensikädessä säännöt ja määräykset. Tärkeimmät ruostesuojaussäännökset Ruotsissa ovat SS-EN ISO 12944 -standardi ja SSG-standardi (Skogindustrins Anläggningstekniska Samarbetsgrupp). Nämä yhdessä Ruotsin tielaitoksen BRO 2002, 2002:47 -julkaisun sekä Vattenfallin yleisten vesivoimaloiden maalausohjeiden kanssa ohjeistavat hyvin suurta osaa ruostesuojamaalauksista. Tärkein ohjeista on SS-EN ISO 12944 -standardi. Luvussa 5 esitellään sen suosittelemat ruostesuojamenetelmät.

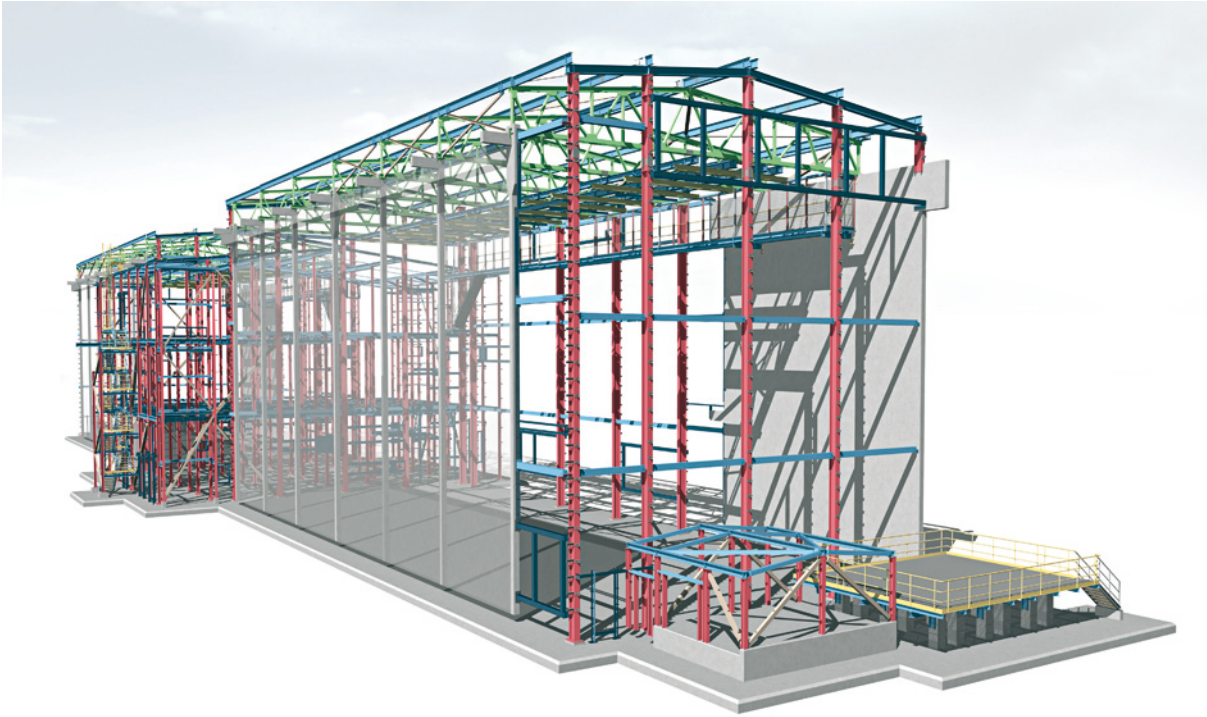
Korroosioluokka C1:lle eli kuiville sisätiloille SS-EN ISO 12944 -standardista ei löydy menetelmää. Teräs ei ruostu kuivissa sisätiloissa. Rakentamisen aikana ruosteveesi voi värjätä muita rakennusmateriaaleja. Jos tältä halutaan välttyä, voidaan toki käyttää korroosioluokka C2:n ohjeistuksen mukaista menetelmää ja mahdollisesti vähentää myöhempää kerrosten tarvetta. Julkisivun pilarit ja palkit voivat jossain vaiheessa joutua kastepistettä alhaisempaan lämpötilaan. Tällöin kosteus saattaa tiivistyä ja korroosioluokka C1:n mukaisen ruostesuojan hankkiminen voi olla aiheellista.

KIRJALLISUUTTA

- [1] Tuotekatalogi-CD, International Protective Coatings, September 2002
- [2] Internationals Rostskyddsskola, 2002
- [3] NORSOK M-501, Rev. 4
- [4] SS-ISO 8501-1:1988
- [5] SS-ISO 8502-1
- [6] SS-EN ISO 8503-1
- [7] SS-ISO 8504-1
- [8] SS-EN ISO 12944

TEKIJÄT

Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen ovat kirjoittaneet Johan Hedin ja Stig Jonasson. Tämän painoksen kappaleen on uudistanut Bengt Stewall (International Färg AB).



3D-malli, Sweco Bloco, Three Gorges Kiinassa.

12. RAKENNUSSELVITYS

Teräsrakennusselvityksessä rakennuttaja (tilaaja) ilmoittaa urakoitsijalle (toimittajalle), mitä hän haluaa, eli esittää rakennushankkeen laajuutta, ulkonäköä, suoritustapaa, siihen sovellettavia standardeja/luokituksia ja sen fyysisiä ominaisuuksia koskevat vaatimukset. Selvitys voidaan antaa eri tavoin riippuen siitä, kuinka rakennus ja urakointityö ostetaan.

Jos sivuutetaan se, kuka laatii yksittäisissä tapauksissa asiakirjat, selvityksessä tulee olla kaikki seuraavat asiakirjat tai ainakin osa niistä:

1. rakennusselvitys
2. asennuspiirustukset
3. tuotantopiirustukset
4. tarkastussuunnitelma
5. hitsaussuunnitelma
6. asennussuunnitelma
7. työympäristöä koskeva suunnitelma
8. käyttö- ja ylläpito-ohjeet
9. rakennelaskelmat.

Asiakirjoissa 1–7 on osoitettava mahdollisimman yksiselitteisesti, miltä rakenteen tulee näyttää valmiina ja kuinka se valmistetaan. Siitä ilmenevät myös toleranssivaatimukset sekä tilapäisratkaisuja, teräslajeja, hitsausta, ruuveja, maa-lausta yms. koskevat ohjeet. Kun kyse on teräsrakenteista, keskeisiä ovat ensisijaisesti murtumiin liittyvät turvallisuusvaatimukset, toimintavaatimukset normaalin käytön yhteydessä sekä pysyvyyteen liittyvät vaatimukset. Boverkets Konstruktionsregler -julkaisussa [1] sekä eurokoodeissa [2] on määräyksiä ja ohjeita. Myös työympäristön suhteen on

asetettu turvallisuusvaatimuksia, jotka liittyvät valmistukseen, kuljetukseen ja asennukseen [3]. Oppaassa "Bra arbetsmiljö vid stål- och betongelementmontering" annetaan monia hyviä neuvoja, jotka liittyvät työympäristön huomiointiin hankesuunnittelussa [9].

Selvityksestä on käytävä ilmi, että vaatimukset täyttyvät, ja rakennelaskelmat ovat tarpeellinen lisä tämän osoittamiseksi.

Kuvailevia tekstejä käytetään annettaessa standardi-/luokkatietoja, ilmoitettaessa tilaajan esittämiä muita vaatimuksia sekä annettaessa työn laajuutta ja suoritustapaa koskevia täydentäviä tietoja. Kuvailevia tekstejä sekä kirjoitetaan piirustuksiin että kootaan erityisasikirjaan, rakennusselvitykseen (asiakirja 1 edellä). Sitä, kirjoitetaanko tällaiset tiedot piirustukseen vai rakennusselvitykseen, on arvioitava sen perusteella, mikä on käytännöllisintä ja selvintä käyttäjän kannalta kyseissä tapauksissa. Rakennusselvitys voidaan laatia viitteen [4] ohjeiden mukaisesti.

Tässä kappaleessa käsitellään asiakirjoja 2 ja 3. Asiakirjoja 4–7 käsitellään kappaleessa 9.

12.1 TEHTÄVÄNJAKO

Rakennuttaja/tilaaja, kuten teollisuusyritys, kiinteistöalan yritys tai asumisoikeusyhdistys, rakennuttaa ja tilaa rakennuksen. Rakennuttaja käyttää tavallisesti yhden tai useamman konsultin apua. Se voi (ne voivat) suunnitella itse joko koko rakennuksen tai sen osia ja koordinoita muuta

suunnittelutyötä. Usein teräsrakennusurakoitsija, teräsrakentaja, vastaa siitä, että runko suunnitellaan valmiiksi. Tällaisissa tapauksissa rakennuttajan konsultti vastaa järjestelmäpiirustuksista, joista ilmenee pilarien ja palkkien sijainti ja kuormitusedellytykset, sekä rakennuksen muihin osiin, kuten pohjakonstruktioon, rappukäytäviin ja installatioihin, liittyvästä koordinoituvuudesta.

Teräsrakentaja on useimmiten aliurakoitsija eli ei tee sopimusta suoraan rakennuttajan/tilaajan kanssa vaan rakennusurakoitsijan tai prosessitoimittajan kanssa, jonka kanssa rakennuttaja on tehnyt sopimuksen. On myös mahdollista, että rakennuttaja ostaa itse – tai toimeksisaajan välityksellä – rakennuksen osissa ja vastaa itse eri urakoitsijoiden työn koordinoinnista. Tässä kappaleessa tilaajalla viitataan teräsrakentajan sopimuskumppaniin riippumatta siitä, onko tilaaja itse rakennuttaja vai muu urakoitsija.

Teräsrakennuksen rungon tilaaminen tai ostaminen voidaan hoitaa kahdella eri päätävällä. Vaihtoehdot ovat

- kokonaisurakointi, jossa teräsurakoitsija myös laatii myös konstruktioasiakirjat ja ottaa tällä tavoin toimintavastuun
- työurakointi, jossa teräsurakoitsija hoitaa toimituksen ja asennuksen tilaajan laatimien valmiiden asiakirjojen mukaisesti.

Hankintamuoto vaikuttaa siihen, kuinka rakennuspalvelukseen liittyvä työ jaetaan rakennuttajan konsultin ja teräsrakentajan ja tämän konsultin välillä. Jäljempänä kerrotaan, kuinka eri hankintamuodot vaikuttavat rakennuspalvelukseen liittyvään työnjakoon. Tekstissä mainittujen erityyppisten piirustusten selitykset löytyvät kappaleesta 12.2.

12.1.1 Kokonaisurakointi

Kokonaisurakointi perustuu rakennuttajan ohjelma-asiakirjoihin. Rakennuttajan konsultti kokoaa yhteen rakennukseen liittyvät rakennuttajan vaatimukset. Rakennuksen muotoilusta tehdään päätös, ja konsultti piirtää pohjaratkaisun, julkisivut ja osastot. Usein, muttei aina, myös runkojärjestelmä suunnitellaan niin pitkälle, että suunnitelmassa ilmoitetaan pilarien ja palkkien paikat sekä mahdolliset vaatimukset sen suhteen, kuinka paljon tilaa runko saa vieä. Rakennuttajan konsultti tekee tuolloin arviointimittauksen tarkastaakseen vaatimusten olevan kohtuullisia. Tältä pohjalta teräsrakentaja mitoittaa tarjoussentekoaikana pilarit ja palkit sekä myös välipohjat, katot ja seinät, jos ne kuuluvat urakkaan. Teräsrakentaja jättää tarjouksen valmiista ratkaisuista ja ilmoittaa tarjouksessa, kuinka vaatimukset täytetään. Jos teräsrakentaja saa toimeksiannon, hän laatii tarpeellisen täydentävän selvityksen.

Kokonaisurakointi tarjoaa teräsrakentajalle mahdollisuuden kilpailla omilla, tuotantoon sopeutetuilla runkojärjestelmillä. Tämä toki edellyttää, että teräsrakentaja voi kantaa konstruktion suunnitteluvastuun. Teräsrakentaja voi käyttää tähän joko omia resurssejaan tai turvautua konsulttiapuun. Teräskonstruktioiden suunnittelu edellyttää yleensä asiantuntijaosaamista.

12.1.2 Työurakointi

Työurakointi perustuu täydelliseen rakennuspalvelukseen, valmiisiin asiakirjoihin, jotka tilaaja on laatinut. Näin ollen tilaaja kantaa toimintavastuun. Rakennuttajan konsultit tekevät koko työn lukuun ottamatta hitsi- ja asennussuunnitelmia, jotka teräsrakentaja laatii tarvittaessa ja joiden suunnitteluun konsultti osallistuu ja jotka konsultti hyväksyy. Rakennuttaja laatii joko asennus- ja tuotantopiirustukset tai helpommassa tapauksessa pelkät asennuspiirustukset, joita täydennetään detaljeilla ja terässpesifikaatioilla (ns. valmistusdokumentaatio). Tämän dokumentaation pohjalta rakennuttaja/tilaaja esittää tarjouspyynnön. Materiaalia on oltava riittävästi, jotta teräsrakentaja voi valmistaa ja asentaa rungon. Joskus sopimukseen kuuluu kuitenkin, että teräsrakentaja laatii itse tarpeelliset täydentävät tuotantopiirustukset. Se, millaisia piirustuksia tarvitaan, riippuu rakennuksen monimutkaisuudesta ja teräsrakentajan kokemuksesta.

Prosessiteollisuuden rakennukset suunnitellaan tavallisesti samanaikaisesti prosessilaitteiston kanssa. Aikataulu on lähes aina tiukka, ja teräsrunko ostetaan usein terässpesifikaatioilla täydennettyjen asennuspiirustusten perusteella. Rakennuttajan konsultti jatkaa kuitenkin työtä ja toimittaa jälkikäteen valmistusdokumentaation sekä tekee muutoksia ja tarkistuksia, jotka osoittautuvat tarpeelliseksi suunnittelutyön edetessä.

Kun hankinta tehdään tällä tavoin, sopimussumman maksaminen on syytä hoitaa rakennustyön valmistuttua. Teräsrakentaja ilmoittaa tästä syystä hinnat euroissa/kg. Tällaista hinnoittelua käytettäessä eri rakenneosat on ryhmiteltävä 5–10 eri ryhmään, joissa hintataso on erilainen sen mukaan, kuinka paljon yksi teräskilo vaatii työtä. Verrattaessa esimerkiksi palkkina käytettävää valssattua tankoa ristikkorakenteeseen teräksen kilokohtaiset kustannukset voivat olla jälkimmäisessä tapauksessa 2–3 kertaa korkeammat.

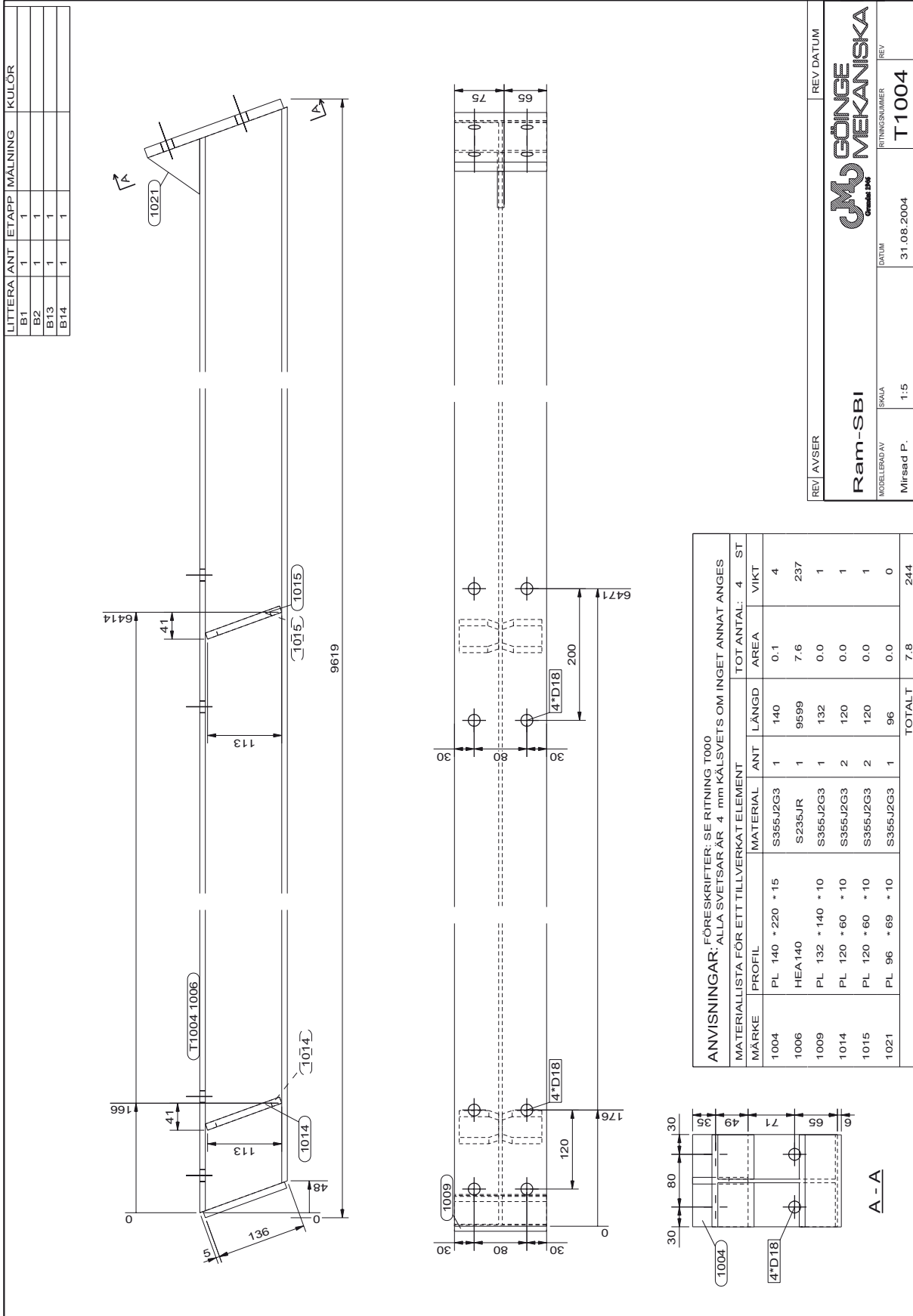
12.2 ERI PIIRUSTUSTYYPIT

Teräsrakenteista puhuttaessa käytetään käsitteitä asennuspiirustus, tuotantopiirustus ja asennuspiirustus. Käytännön syistä tässä yhteydessä piirustusten osia esitellään vain niissä tapauksissa, joissa se on tarpeen tekstin ymmärtämisen kannalta. Materiaali on peräisin viitteistä [8] ja [5]. Sen lisäksi, mitä tämän kappaleen luvuista ilmenee, myös piirustusten on sisällettävä tietoja mitoitus-, valmistus-, asennus- ja tarkastusvaatimuksista [8].

12.2.1 Asennuspiirustukset

Asennuspiirustukset kuvaavat teräskonstruktiota valmiiksi asennettuna.

Jos piirustuksen pitää myös toimia valmistusdokumentaationa, sen pitää sisältää myös tarpeelliset detaljit suurenetussa mittakaavassa (ks. kuvat 12.1. ja 12.2). Näissä piirustuksissa tasot eli horisontaaliset leikkaukset on piirretty suoraan paralleeliprojektiona, toisin sanoen leikkausta katsotaan ylhäältäpäin. Piirustukset kuvaavat hallirakennusta.



Kuva 12.3 Tuotantopiirustus.

| STÅLSPECIFIKATION FÖRTECKNING | | | OBJEKT KV EXEMPLET NR: 00 X-STAD PELARE P101-P117 | | | | NAMN AB KONSULT ADRESS RITVÄGEN 00 Y-STAD TFN 000-00 00 00 | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|-------------|--|--------|--------------|----------------------|--|-----------------|-----------------|---------|-----------------|--------------|---------|---------------------|----------------------|---|-------|
| Utförd av | | Granskad av | | Datum | Arbetsnummer | Tillhör ritning | | Tillhör typblad | Förteckning nr. | | Sen. rev. datum | Reviderad av | Sida | | | | |
| AA | | BB | | 930620 | 00000 | 333:112-114 | | 1 | FK 101 | | | | 1 (3) | | | | |
| Lopnr. | Produkt typ/Dimension | Kap- typ | Stålsort | Antal | Längd mm | Snedkapning i grader | | | | | | | | Total Längd H | Total Massa Kg | Total Omlut- ningsyta m ² | Märke |
| | | | | | | a a° | b b° | c c° | d d° | e e° | f f° | g g° | h h° | | | | |
| 101 | HEA 160 | B | S 275 JR | 10 | 5743 | 15 5.7 | | | | | | | | 57.43 | 1746 | 52.0 | |
| 102 | HEA 160 | F | S 275 JR | 2 | 6336 | 16 5.7 | | | | | | | | 12.67 | 385 | 11.5 | |
| 103 | HEA 160 | B | S 275 JR | 5 | 6336 | 15 5.7 | | | | | | | | 31.68 | 963 | 28.7 | |
| 201 | PL 20x160x160 | PA | S 275 JR | 17 | | | | | | | | | | | 68 | 1.1 | |
| 211 | PL 20x190x265 | PA | S 275 JR | 17 | | | | | | | | | | | 134 | 2.0 | |
| 221 | PL 10x130x260 | PA | S 275 JR | 2 | | | | | | | | | | | 5 | 0.2 | |
| 222 | PL 15x130x320 | PA | S 275 JR | 8 | | | | | | | | | | | 39 | 0.8 | |
| | | | | | | | | | | | | SUMMA | 3340 | 96.3 | | | |
| ANMÄRKNINGAR | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Kuva 12.4 Terässpesifikation.

Monikerroksisten runkojen tasopiirustuksissa käytetään tavallisesti peilattua paralleeliprojektia. Toisin sanoen leikkausta katsotaan alhaaltapäin, koska näin etuna on se, että välipohjan kantava rakenne näkyy pilareiden ja seinien läpi ja että palkit näkyvät sivusuunnassa kokonaisina linjoina (ks. Bygghandlingar 90, viite [6]).

Asennuspiirustuksissa suurennetuissa mittakaavassa olevat detaljit kuvaavat sekä konepajalla että rakennuspajalla tehtäviä liitoksia, koska detaljeista täytyy voida tehdä valmistusdokumentaatio.

CAD-suunnittelua käytettäessä ei ole mielekästä, että asennus- ja tuotantopiirustuksista vastaavat eri rakentajat. Jälkikäteen, kun CAD-järjestelmä ja toimiva tietokantateknikka ovat kehittyneet, suuri osa rakennusta koskevista tiedoista voidaan tallentaa CAD-järjestelmän muistiin. Asennuspiirustuksia piirrettäessä tietokannan sisältö kasvaa niin paljon, että näiden piirustusten parissa työskentelevälle henkilölle kannattaa myös antaa tehtäväksi laatia täydelliset tuotantopiirustukset.

Merkittävää uusien CAD-järjestelmien nopean kehityksen kannalta on ollut se, että rakennuksista ja rakennelmista on voitu luoda luotettavia kolmiulotteisia malleja. Kolmiulotteisia malleja suunniteltaessa eniten aikaa kuluu runkojärjestelmän kehittämiseen ja asennuspiirustusten hyväksymiseen. Tuolloin tuotantopiirustusten suunnittelun toteuttamista nopeuttaa se, että valtaosa tiedoista on jo tallennettuna. Näin ollen kokonaissuunnittelu-aika lyhenee.

CAD-suunnittelija lähtee tavallisesti liikkeelle arkkitehdin piirustuksista. CAD-suunnittelussa voidaan hyödyn-

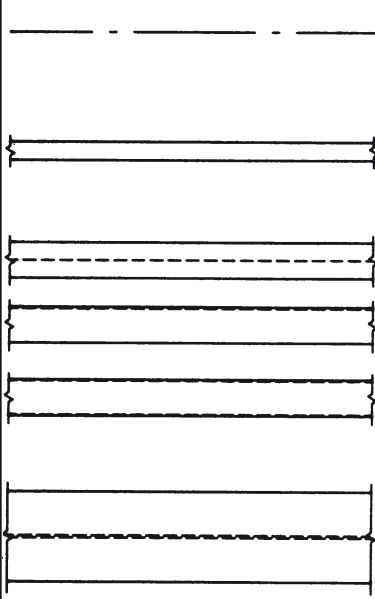
tää aikaisempien hankkeiden piirustuksista saatavaa tietoa. Niitä käytetään tukena ja voidaan mukauttaa niin, että ne sopivat uuteen projektiin. Tämä tehostaa suunnittelua. Tulevaisuudessa on todennäköistä, että yhä useammin käytetään tietokantoja, jotka sisältävät täydelliset detaljiratkaisuja koskevat standardistot, ja että yhä useammat konsultit hyödyntävät niitä. CAD-järjestelmien ympärillä tapahtuu paljon kehitystyötä, ja niitä liitetään erilaisiin tietokantoihin ja laskentaohjelmiin. Jo nyt on käytössä 3D-ohjelmia, jotka laskevat, piirtävät ja ohjaavat suoraan tai kohtuullisen sopeuttamisen jälkeen teräsvalmistajan katkaisu-, leikkuu-, hitsaus-, stanssaus- ja porakoneita.

12.2.2 Tuotantopiirustukset

Joko rakennuttajan rakentaja tai teräsrakentajan rakentaja laatii tuotantopiirustukset [6]. Viitteestä [8] löytyy tuotantopiirustus-käsitteen määritelmä ja esimerkkejä siitä, miltä niiden on näytettävä.

Konepajat toivovat tavallisesti, että tuotantopiirustukset ovat täydelliset (ks. kuva 12.3). Konepajat ovat kuitenkin eri kokoisia, ja niiden konekannassa, nostolaitteissa ja muissa varusteissa on eroja. Täysin automatisoidut konepajat, joissa on digitaalisesti ohjatut koneet, asettavat tuotantopiirustusten sisällölle toisenlaisia vaatimuksia kuin puoliautomatisoidut tai manuaaliset konepajat. Jälkimmäisille riittää usein valmistusdokumentaatio, joka on laadittu samalla tavalla kuin mitoitetuilla detaljeilla täydennetyt asennuspiirustukset. Automatisoiduilla konepajoilla on usein oma piirustusstandardi, jossa jokaisesta rakennelementistä, detaljista, levystä jne. tehdään oma piirros.

PALKKIEN TASOKUVANNOT



KAPEALAIPPAINEN ORSITAI PALKKI MITTAKAAVASSA 1:100 TAI 1:200

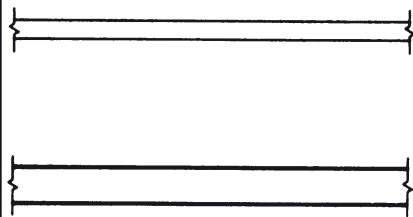
UUMAA EI MERKITÄ MITTAKAAVASSA 1:100 PIENILLÄ POIKKILEIKKAUKSILLA

UUMAN MERKITSEMINEN KATKOVIIVALLA MITTAKAAVASSA 1:50 (I- JA U-PROFIILIT SEKÄ RAKENNEPUTKET)

UUMA MERKITÄÄN KAHDELLA KATKOVIIVALLA MITTAKAAVASSA 1:20

Kuva 12.5
Palkkeja tasossa.

PALKKIEN SIVUKUVANNOT



LAIPAT MERKITÄÄN YHDELLÄ VIIVALLA MITTAKAAVASSA 1:100

LAIPPOJEN MERKINTÄ KAHDELLA VIIVALLA MITTAKAAVASSA 1:50

Kuva 12.6
Palkkeja sivulta.

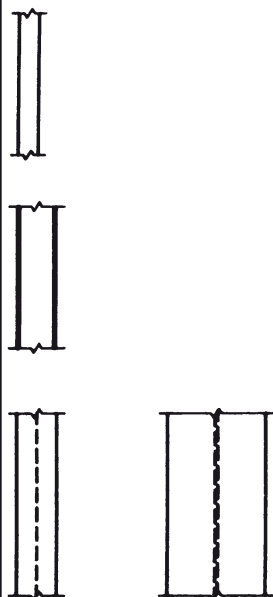
PILARIEN TASOKUVANNOT



POIKKILEIKKAUKSEN MERKINTÄ MITTAKAAVAN MUKAAN

Kuva 12.7
Pilareja tasossa.

PILARIEN SIVUKUVANNOT



LAIPAT MERKITÄÄN YHDELLÄ VIIVALLA MITTAKAAVASSA 1:100

LAIPPOJEN MERKINTÄ KAHDELLA VIIVALLA MITTAKAAVASSA 1:50

UUMA MERKITÄÄN YHDELLÄ KATKOVIIVALLA MITTAKAAVASSA 1:50 JA KAHDELLA MITTAKAAVASSA 1:20

Kuva 12.8
Pilareja sivulta.

Nämä piirustukset sisältävät myös tiedot teräslajista, kapalemäärästä, painosta, rei'istä, hitsauksesta, työstämisestä tai railon valmistuksesta ja käyttötarkoituksesta.

Tuotantopiirustuksessa on oltava yksi tai useampi kuva kyseisestä rakenneosasta sekä siihen kuuluvista detaljeista suurennetussa mittakaavassa. Kuvien mittakaavan pitää olla 1:20 tai 1:50 ja detaljien mittakaavan 1:10 tai sitä suurempi. Jos mahdollista, detaljit ilmenevät samasta piirustuksesta. Kaikkien detaljien on oltava yksiselitteisiä ja täysin mitoitettuja.

Yksinkertaisia teräsrakenteita valmistettaessa asennuspiirustukset, joita on täydennetty teräsluettelolla eli teräspesifikaatiolla ruotsalaisen SS 81 26 07 -standardin mukaisesti (ks. kuva 12.4), voivat olla riittäviä valmistamisen kannalta. Teräsluettelosta ilmenee, kuinka osat leikataan tai katkaistaan, ja asennuspiirustusten detaljeista käy ilmi, kuinka ne on koottava.

12.3 PIIRUSTUSTEKNIikka

Aikaisemmilla sivuilla on näytetty, kuinka palkit ja pilarit piirretään. Periaatteena on, että piirustuksissa annetaan niin paljon tietoa kuin mahdollista mittakaava huomioon ottaen. Tämä on mahdollista merkitsemällä myös piilossa olevat linjat. Keskelle valssattuja tankoja piirretään säteitä, jotka kuvaavat uuman ja laipan välistä ylimenokoh-
taa. Hitsatut poikkileikkaukset piirretään merkitsemällä vain hitsin hitsausnimeke. Jotta piirustukset ovat luettavia, tekstin on oltava vähintään 3 mm:n korkuista. Mitoittaminen lähtee yhdestä ja samasta päästä/reunasta, ja mitoituksista on käytävä ilmi katkaisupituus/koko, le-
vyn paikka ja reiät.

Kuvassa 12.5 näkyy palkkeja tasossa ja kuvassa 12.6 palkkeja sivulta. Kuvassa 12.7 on pilareja tasossa ja kuvassa 12.8 pilareja sivulta.

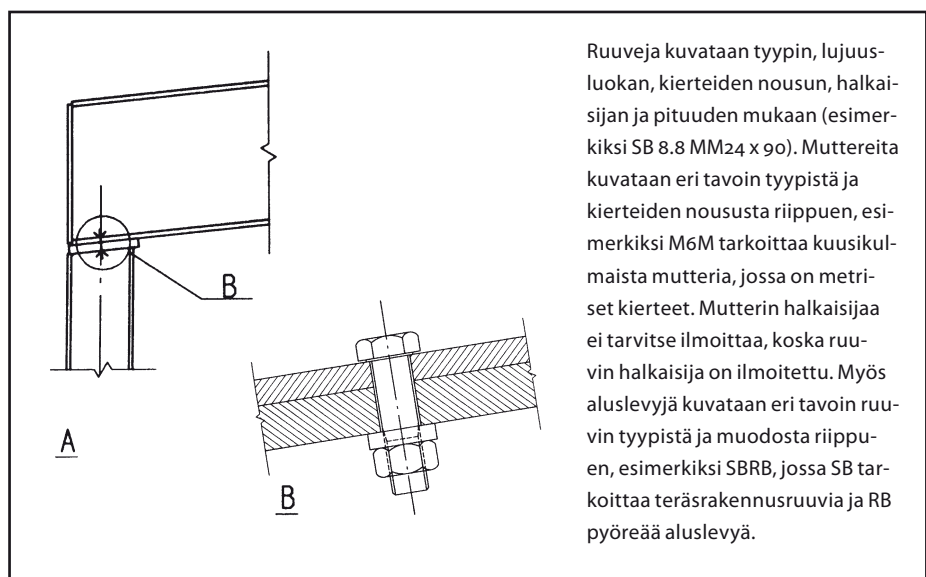
12.4 NIMIKKEET

Rakenneosista ja liitosmateriaaleista käytetään seuraavia nimikkeitä.

| Rakenneosa | Nimike | Esimerkki |
|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| HEA-tanko | HEA (nro) | HEA 160 |
| HEB-tanko | HEB (nro) | HEB 300 |
| HEM-tanko | HEM (nro) | HEM 280 |
| IPE-tanko | IPE (nro) | IPE 400 |
| USP-tanko | USP (nro) | USP 80 |
| UNP-tanko | UNP (nro) | UNP 80 |
| Kulmatanko, tasakylkinen | L (nro) | L 80 x 80 x 10 |
| Kulmatanko, erikylkinen | L (nro) | L 80 x 40 x 8 |
| Levy | PL (Paks. x Lev. x Pit.) | PL 25 x 200 x 300 |

Kuvasta 12.9 ilmenevät kuumavalssattujen tankojen ja levyjen nimikkeet sekä kuvasta 12.10 rakennusputkien ja kylmämuokattujen profiilien nimikkeet. Kuvasta 12.11 ilmenevät ruuvien ja mutterien nimikkeet. Hitsausnimikkeet ovat ruotsalaisen SS 27 72 -standardin mukaiset (ks. esimerkki kuvasta 4.8).

Kuva 12.11 Ruuvien ja mutterien nimikkeet.



Ruuveja kuvataan tyyppin, lujusluokan, kierteiden nousun, halkaisijan ja pituuden mukaan (esimerkiksi SB 8.8 MM24 x 90). Muttereita kuvataan eri tavoin tyyppistä ja kierteiden noususta riippuen, esimerkiksi M6M tarkoittaa kuusikulmaista mutteria, jossa on metri-
set kierteet. Mutterin halkaisijaa ei tarvitse ilmoittaa, koska ruuvin halkaisija on ilmoitettu. Myös aluslevyjä kuvataan eri tavoin ruuvin tyyppistä ja muodosta riippuen, esimerkiksi SBRB, jossa SB tarkoittaa teräsrakennusruuvia ja RB pyöreää aluslevyä.

Kuumavalssatun tangon ja levyn nimikkeet

Rakenneputken ja kylmämuokattujen profiilien nimikkeet

Muihin kylmämuokattuihin profiileihin, kuten C-, Z-, L- ja U-profiileihin, viitataan tavallisesti kirjaimella, joka kertoo profiilin muodosta, sekä asiaankuuluvilla mitta-arvoilla. Nimeämistapa vaihtelee usein valmistajan mukaan. Kun sekaannuksen vaara on olemassa, esimerkiksi kun kyse on L- ja U-profiileista, voidaan käyttää kirjainta K sen selventämiseksi, että profiilit ovat kylmämuokattuja (eli KL ja KU).

| Rakenneosa | Nimike | Esimerkki |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------|
| Rakenneputki, kylmämuokattu | KKR* (nro) | KKR* 100 x 100 x 3 |
| Rakenneputki, kuumamuokattu | VKR* (nro) | VKR* 100 x 50 x 3 |
| Rakenneputki, pyöreä | (ulkohalkaisija + paksuus) | 101,6 x 5,0 |

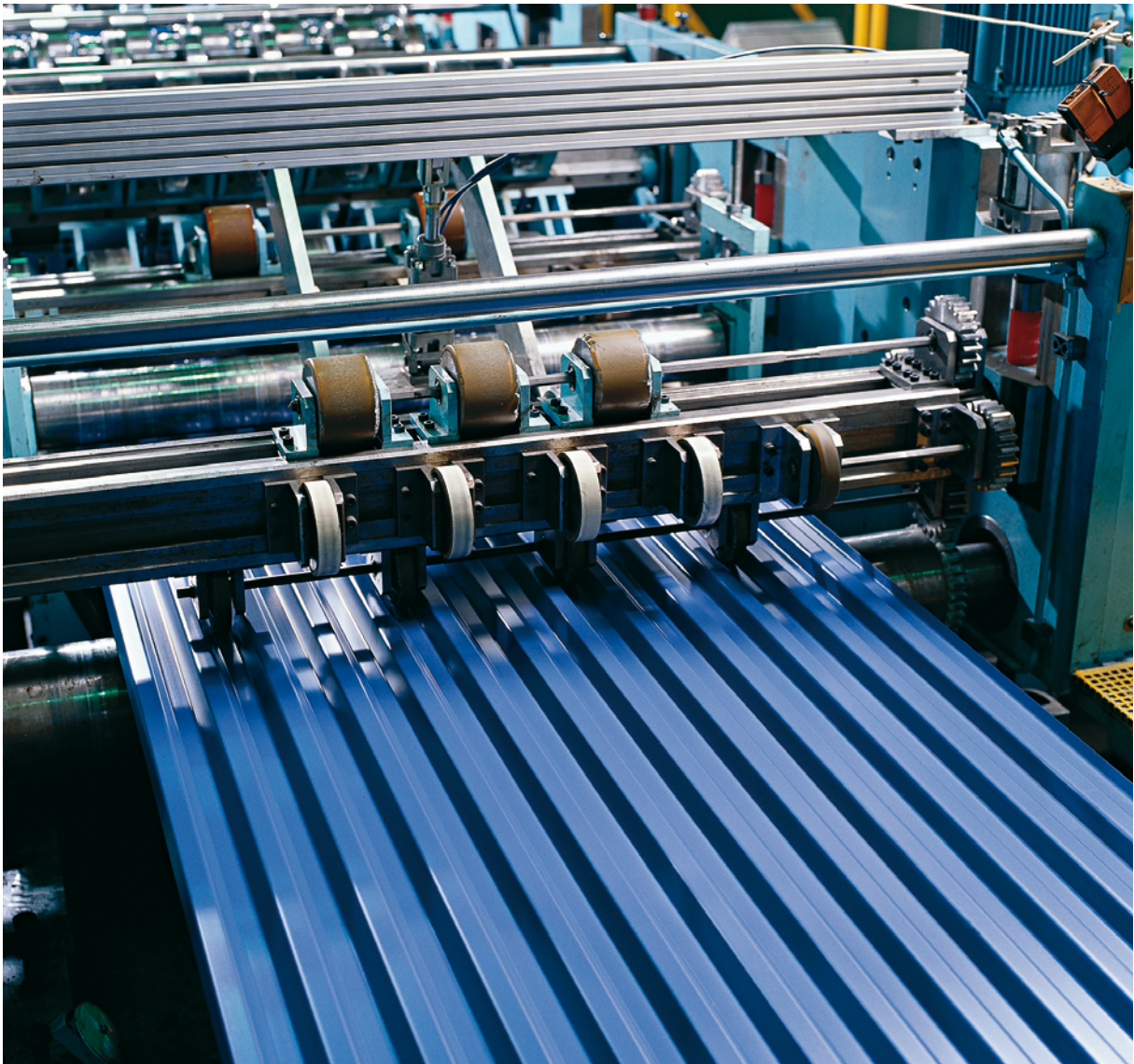
* kyseessä vanha ruotsalainen nimeämiskäytäntö; nykyisin suositellaan englannin kielestä johdettuja nimikkeitä CFRHS ja RHS

KIRJALLISUUTTA

- [1] Boverkets Konstruktionsregler, BFS 2003:6 (2003)
- [2] Eurokoodi, osat 0, 1, 3 ja 4 (SIS)
- [3] Byggnads- och anläggningsarbete, AFS 1999:3 (Arbetsmiljöverket)
- [4] HusAMA 98, AB Svensk Byggtjänst, Tukholma (1998)
- [5] Axhag F, et al. Läromedel i stålbyggnad: exempelsamling och stålritningar, Rapport 144:1, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1991), 2. painos (1998)
- [6] Bygghandlingar 90. Del 1 – 8, SIS, ISBN 91-7162-309-4, Tukholma (2003)
- [7] Toleranser för stålkonstruktioner. Publikation 112, Stålbyggnadsinstitutet. Tukholma (1992)
- [8] Kostnadseffektiva stälentreprenader. Publikation 176, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (2004)
- [9] Bra arbetsmiljö vid stål- och betong-elementmontering. Publikation 153, Stålbyggnadsinstitutet

TEKIJÄT

Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen on kirjoittanut Bengt Sehlå. Tämän painoksen kappaleen ovat uudistaneet Bengt Birgersson ja Peter Karlström (Stålbyggnadsinstitutet).



Ohutlevyn profilointi.

13. OHUTLEVYRAKENTEET

Ruotsissa valmistetaan metalloitua, kylmävalssattua levyä, jonka paksuus on 0,4–2,5 mm. Lisäksi saatavana on sekä hieman ohuempaa että hieman paksumpaa levyä. Tätä levyä käytetään perusmateriaalina ohutlevykonstruktioiden valmistuksessa. Ohutlevyn kylmämuokkaustekniikka voidaan käyttää myös kuumavalssattuun nauhalevyyn (ks. kappale 3.2), jota on saatavana jopa 1,8 mm:n ohuena. Mahdollisuudet muovata ohutlevyä kylmänä eri rakennustuotteita varten ovat erittäin laajat.

Myös alumiinilevyä ja ruostumatonta teräslevyä käytetään perusmateriaalina ohutlevykonstruktioiden valmistuksessa. Näitä tuotteita käytetään ennen kaikkea ympäristöissä, joissa olosuhteet ovat kovat, kuten avoimilla paikoilla rannikoilla tai teollisuusympäristössä. Nämä perusmateriaalit saatetaan valita käyttöön myös esteettisistä syistä. Esimerkiksi ruostumatonta teräslevyä käytetään julkisivumateriaalina. Tässä kappaleessa käsitellään etupäässä ohutlevykonstruktiota, jotka on valmistettu metalloidusta,

kylmävalssatusta ohutlevystä, sillä ne muodostavat ehdottomasti valtaosan tuotantovolyymistä. Näitä konstruktiota koskevia tietoja voidaan kuitenkin periaatteessa soveltaa suoraan sekä alumiinilevyyn että ruostumattomaan teräslevyyn, minkä vuoksi saatavilla olevista tuotteista kannattaa etsiä tietoa näiden materiaalien valmistajilta.

13.1 OHUTLEVYTEKNIikka

Ohutlevyteknikkaan liittyy useita etuja.

- Markkinoilla on saatavana monenlaisia teräslajeja ja eripaksuisia materiaaleja.
- Prosessia on helpompi hallita kuumavalssattaessa taasaista levyä, jota käytetään perusmateriaalina valmistettaessa kylmävalssattua levyä, kuin kuumavalssattaessa tankoa, minkä vuoksi lopputuotteen laadusta ja toleransseista tulee hyvät.
- Standardituotteita voidaan valmistaa siten, että tuotavuus on korkea ja kustannukset matalat.



Kuva 13.1 Kinnarps Arenan seinät on rakennettu Plannjan sandwich-paneeleista.



Kuva 13.2 Perforoitu profiloitu levy takaa hyvän äänieristyksen.

Mahdollisuudet räätälöidä profiileja, joissa yhdistyy monta funktiota (esimerkiksi maksimaalinen kantokyky ja samalla hyvä äänen absorptio), ovat hyvät (ks. kuva 13.2). Profiilit on helppo sopeuttaa käyttöön yhteisvaikutuksessa muiden materiaalien kanssa.

- Tasaiseen materiaaliin voidaan stanssata reiät ennen kuin sitä muovataan, mikä on paljon helpompaa kuin muovatun profiilin stanssaaminen.

Tasainen materiaali voidaan myös pinnoittaa ennen kuin sitä muovataan, mikä lisää selvästi tuottavuutta sekä parantaa laatua ja pienentää kustannuksia muovatun profiilin pinnoittamiseen verrattuna.

- Materiaali toimitetaan rullina (englanniksi *coils*; ks. kappale 3.2). Niitä leikataan tarpeen mukaan, joten romujätettä syntyy vähän.

- Profiileista voidaan tehdä pinottavia, mikä helpottaa varastointia ja kuljettamista.

- Käytettävät kiinnityselementit, kuten ruostumattomat porautuvat ruuvit, on suunniteltu niin, että asennus käy helposti ja nopeasti ja että niiden elinkaari on pitkä ja huoltokustannukset pienet.

13.1.1 Profiilien muotoilu

Ohutlevyprofiilien muotoilussa on tärkeää ottaa huomioon seuraavat seikat.

- Tasaiset pinnat aiheuttavat epävakaaisuusvaaran. Taitokset voivat toimia jäykisteinä.
- Levytason kantokyky on hyvä, mutta levy se kestää huonosti pistekuormitusta, joka kohdistuu sen pintaan suorassa kulmassa.
- Ohutlevystä valmistettujen avoimien profiilien vääntöjäykkyys on huono. Vääntönurjahduksen ja heilumisen vaara on otettava huomioon.
- Epäsymmetrisissä profiileissa ilmenee vinotaipumista, minkä vuoksi näitä profiileja voi olla vaikea mitoittaa (ks. kappale 13.3.2).
- Ohutlevyn sallittu ruostemäärä on pieni, ja siksi se on suojattava korroosiolta.

13.1.2 Teräslajit

Rakennusteollisuudessa kylmävalssattua ohutlevyä käytetään moniin eri tarkoituksiin. Kylmävalssatun ohutlevyn valmistamisesta löytyy tietoa kappaleesta 3.2. Rakennustarkoituksiin käytettävä kylmävalssattu ohutlevy pääsääntöisesti metalloidaan, mikä tarkoittaa sitä, että

Standardoituja kuumasinkittyjä kylmävalssattuja teräksiä

| Teräslaji | Mytöraja väh. | Murtoraja väh. ReHMPa | Murtovenymä väh. |
|-----------|---------------|-----------------------|------------------|
| SS-EN | ReHMPa | | 10 147A80% |
| S250 GD+Z | 250 | 330 | 19 |
| S280 GD+Z | 280 | 360 | 18 |
| S320 GD+Z | 320 | 390 | 17 |
| S350 GD+Z | 350 | 420 | 16 |

Kuva 13.3 Tavallisia kuumasinkittyjä kylmävalssattuja teräksiä rakennustarkoituksiin.

SSAB:n tavallisimmat kuumavalssatut teräkset

| Teräslaji (SSAB) | Myötöraja (min.) ReH MPa | Murtoraja (min.) Rn MPa | Murtovenymä min. % | Paksuudet mm |
|------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|--------------|
| Domex 240 YP | 240 | 360–460 | 28 | 2–12 |
| Domex 315 MC | 315 | 390–510 | 24 | 2–12 |
| Domex 355 MC | 355 | 430–550 | 23 | 2–12 |
| Domex 420 MC | 420 | 480–620 | 20 | 3–12 |
| Domex 460 MC | 460 | 520–670 | 19 | 3–12 |
| Domex 500 MC | 500 | 550–700 | 18 | 3–12 |
| Domex 550 MC | 550 | 600–760 | 17 | 3–10 |
| Domex 600 MC | 600 | 650–820 | 16 | 3–10 |
| Domex 650 MC | 650 | 700–880 | 14 | 3–10 |
| Domex 700 MC | 700 | 750–950 | 12 | 3–10 |

Kuva 13.4 Esimerkkejä kuumavalssatuista teräksistä.

siihen laitetaan epäjalommasta metallista pinnoite, joka suojaa sitä ruosteelta (ks. kappale 13.1.3).

Kylmävalssattua levyä on saatavana monenlaista laatua eri käyttötarkoituksiin. Ohutlevyn muokkaaminen edellyttää, että levyä voidaan työstää voimakkaasti ilman, että se halkeilee. Sen sijaan lujuus ei ole yhtä tärkeää. Kuitenkin kun levyä käytetään kantavissa rakenteissa, saatetaan korkeaa lujuutta haluta hyödyntää. Levyn lujuus on tavallisesti 250–350 MPa:n luokkaa. Hyödynnettäessä ohutmateriaalien suurempaa lujuutta on muodonmuutoksiin ja lommoiluun kiinnitettävä aina tavallista enemmän huomiota. Tavallisesti käytettävät standardoidut teräslajit ilmenevät kuvan 13.3 taulukosta. Svenskt Stål AB (SSAB) kehittää myös teräksiä, joiden myötörajat ovat 420 tai 500 MPa.

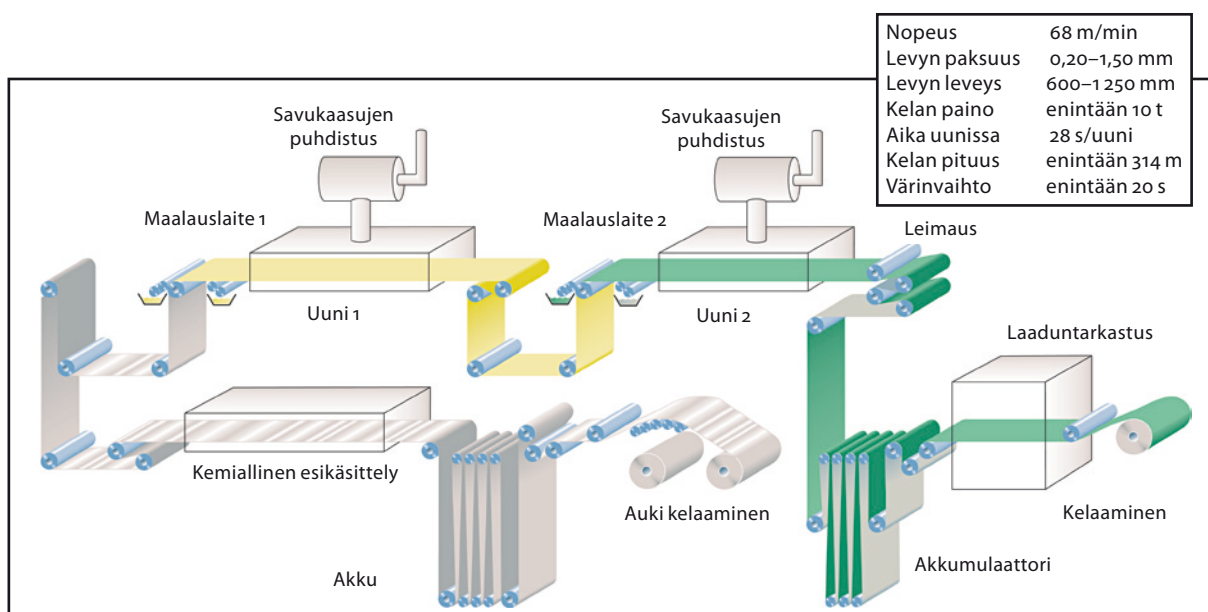
Myös kuumavalssattua nauhalevyä on saatavana monia eri laatuja eri tarkoituksiin. Rakennustuotteita varten Ruotsissa valmistetaan nauhalevyä, jonka paksuus on jopa alle 2,0 mm (ks. kuva 13.4). On todennäköistä, että tulevaisuudessa voidaan valmistaa yhä ohuempaa kuumavalssattua nauhalevyä, ja näin se voi kilpailla kylmämuokatun levyn kanssa yhä useammilla käyttöalueilla.

13.1.3 Päälysteet

Rakennustuotteissa käytettävä kylmävalssattu levy on metalloitua, eli se on päälystetty uhrimetallilla, joka suojaa levyä ruostumiselta. Yleisin päälyste on sinkki, jota on noin 20–25 µm levyn kummallakin puolella. Myös sinkin ja alumiinin sekoitusta, ns. alusinkkiä, käytetään päälysteenä. Metallointi on jatkuva jatkuvatoiminen prosessi (ks. kuva 3.7).

Metallointi antaa levyille hyvän perussuojan ruostumista vastaan, minkä vuoksi konstruktion korroosioluokitus voi olla C1–C2 sen koko elinkaaren ajan (ks. kappale 11.1). Syövyttävissä ympäristöissä metalloidun levyn päälle tulee tavallisesti vielä maalikerros, joka parantaa ruostesuojausta ja antaa levyille halutun värin. Metallointi suojaa myös levyn rei'ityskohtia ja leikattuja reunoja, koska päälyste, joka on elektrokemiallisesti epäjalompaa, suojaa terästä katodisesti (ks. kappale 10.3.1).

Tasainen levy myös maalataan jatkuvatoimisessa prosessissa, maalauslinjalla (ks. kuva 13.5). Prosessiin kuuluu kuumasinkityn levyn puhdistaminen, pintojen esikäsitteily sekä



Kuva 13.5 Ohutlevyn maalauslinja.



Kuva 13.6 Tehtaalla maalatusa ohutlevystä rakennettu julkisivu.

pohja- ja pintamaalaus. Maalausnopeus on noin 50–100 m/min. On olemassa monia erilaisia päällysteitä, joiden ominaisuudet on sopeutettu käyttöalueen mukaan.

Esimerkkinä kehittyneestä kaksikerroksisesta päällysteestä voidaan mainita PVF₂ Kynar 500, jossa pintamaali perustuu fluoropolymeerin ja akryylihartsin sekoitukseen (suhde yli 70/30). Koko maalikerroksen paksuus on vähintään 25 µm. Päällyste on kiilloiltaan ja värinpitävyydeltään korkealaatuinen, se kestää hyvin kemikaaleja ja on erittäin elastinen. Päällystettyä levyä voidaan työstää lämpötilan ollessa jopa –20 °C, jolloin mikromurtumia ilmenee toki tavallista enemmän. Päällyste soveltuu käytettäväksi julkisivuissa ja näkyvillä olevissa katoissa, jolloin esteettisyydelle asetetaan kovat vaatimukset (ks. kuva 13.6).

Myös polyesteri on hyvä kaksikerrospäällyste. Se on joustavaa ja säilyttää hyvin värin ja kiillon. Jos sitä käytetään, lämpötilan on oltava plussan puolella levyä työstettäessä ja taitettaessa. Polyesterin käyttöalueet ovat hyvin pitkälti samat kuin PVF₂ Kynar 500 -päällysteenkin, mutta se tulee hieman halvemmaksi. Normaalisti polyesterikerroksen paksuus on 25 µm, mutta myös paksampia kerroksia käytetään (ks. alla).

High Build Polyester on polyesteristä kehitetty muunnos. Se on paksumpaa (noin 50 µm), ja sen värikerroksessa on seassa polymeerirakeita. Tämän vuoksi polyesterin käyttöalue on laajentunut niin, että se kattaa nyt nauhakatteen, joka asettaa suuria vaatimuksia värikerrokselle.

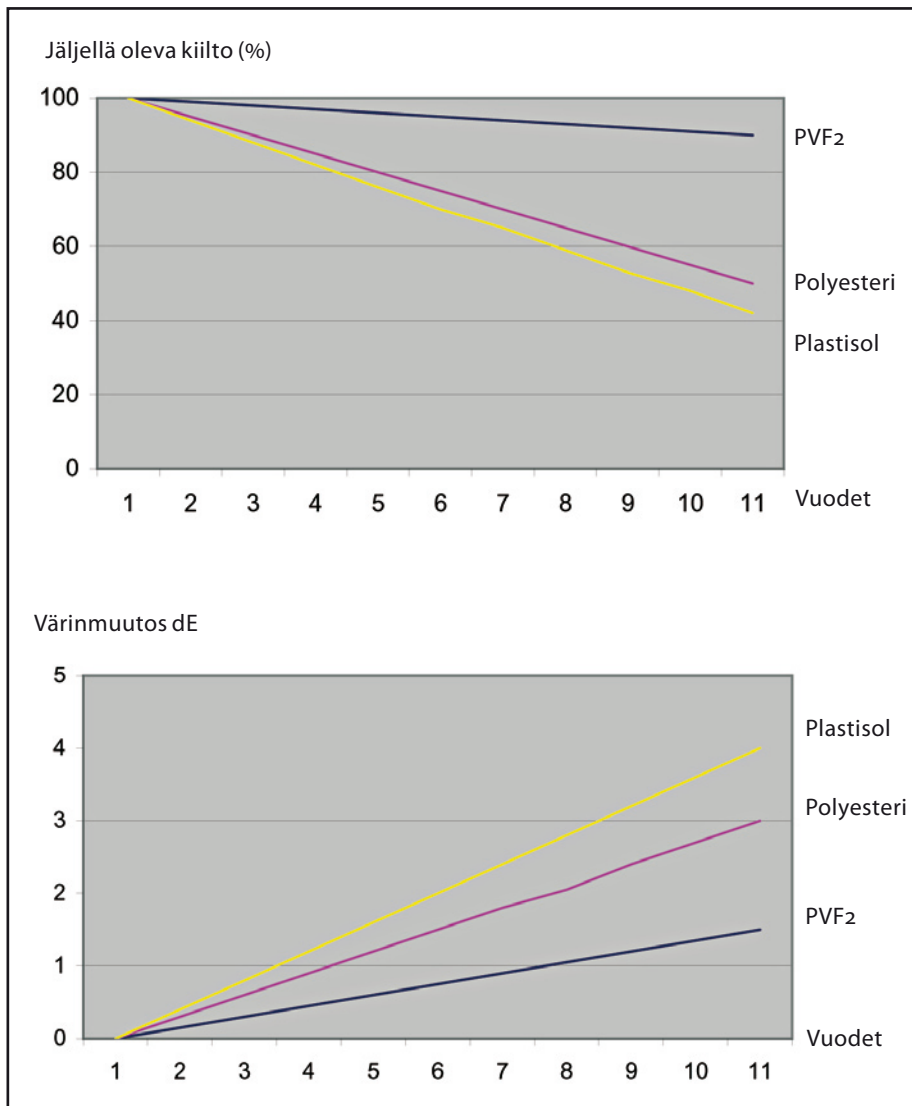
Plastisol on kaksikerrospäällyste, jossa on paksu pintakerros, normaalisti noin 180 µm pehmenettyä polyvinyylikloridia (PVC). Sitä on saatavana jopa 500 µm:n eli 0,5 mm:n paksuisena. Paksuutensa vuoksi päällyste sopii hyvin ympäristöihin, joissa olosuhteet ovat kovat, ja kestää hyvin naarmutusta. Plastisol on hyvin työstettävää lämpötilan ollessa plussan puolella. Värin ja kiillon säilyvyys on parantunut viime vuosien aikana ja on nyt oikein hyvä.

Kuvasta 13.7 ilmenee tavallisimpien päällysteiden kiillon ja värin pysyvyys. Normaalisti päällysteen elinkaari on hyvin pitkä, ja se voidaan myös maalata uudelleen paikallaan päällä.

Kattopelleissä käytettävään maaliin on usein ”lisätty kitkaa” eli se on valmistettu niin, että maalikerroksesta tulee karkeampi liukastumisvaaran pienentämiseksi.

13.2 VALMISTUS

Ohutlevyä voidaan muovata eri menetelmin. Niihin kuuluvat esimerkiksi rullamuovaus, särmäyspuristus, reuna-taivutus ja puristaminen koneellisesti. Samassa tuotantolinjassa voidaan myös yhdistää useita menetelmiä. Rullamuovauksessa levyä muovataan kahdella rullalla, jotka ovat peräkkäin samassa linjassa ja muovaavat vuoron perään levyn oikeaan muotoon (ks. kuva 3.15). Särmäyspuristaminen tarkoittaa, että terä painaa ohuen kais-taleen levyä alaspäin tyynyä vasten niin, että levy taipuu



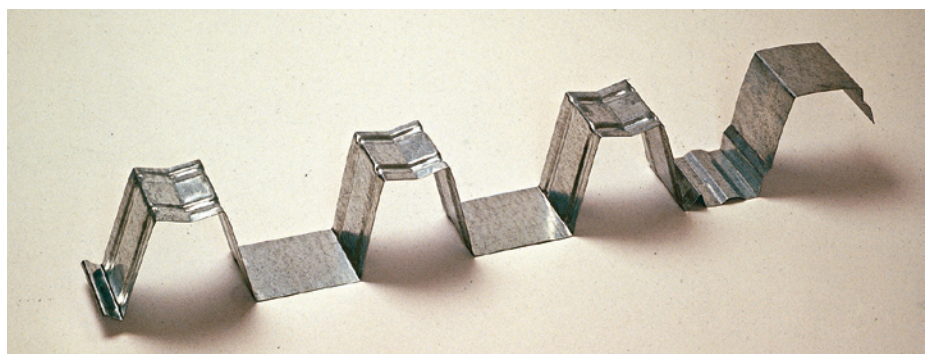
Kuva 13.7 Tavallisimpien päällysteiden kiillon ja värin pysyvyys.

kulma kulmalta (ks. kuva 9.6). Reunataivutuskoneessa levy puristetaan kahden tuen väliin ja ulostyöntävä levynpää taitetaan haluttuun kulmaan.

Rullamuovauskoneella valmistetaan pitkiä osia pienillä toleranssirajoilla. Rullamuovaamalla voidaan valmistaa osia, joiden muoto voi periaatteessa olla mielivaltainen. Rullamuovauksen suurin etu on se, että se käy nopeasti. Valmistaprofilia syntyy jopa 50 metriä minuutissa. Taivutettavien kulmien määrä ei vaikuta nopeuteen. Haittapuoliin kuulu-

vat korkeat investointikustannukset ja se, että profiilista saa vain sen muotoista, mitä työkaluilla on mahdollista tehdä. Rullamuovausta käytetään myös valmistettaessa standardeitua tuotteita, joita valmistetaan suuria sarjoja, esimerkiksi profiloitua levyä ja Z-profileja.

Särmäspuristuksen suurena etuna on joustavuus ja se, että särmäspuristimella voidaan muovata suhteellisen paksuja levyjä. Sillä voidaan valmistaa monenlaisia erimittaisia tuotteita työkaluja vaihtamatta. Haittapuolena on se,



Kuva 13.8 Esimerkki kolmiulotteisen työstön tuloksesta.



Kuva 13.9 Levykatteinen katto.

että rullamuovaukseen verrattuna valmistus on hidasta. Särmäspuristimella on hyvä valmistaa pieniä sarjoja yksinkertaisia tuotteita. Sama koskee reunavutusta, jota käytetään eniten helojen ja muiden suhteellisen ohuesta levystä valmistettävien tuotteiden tekemiseen.

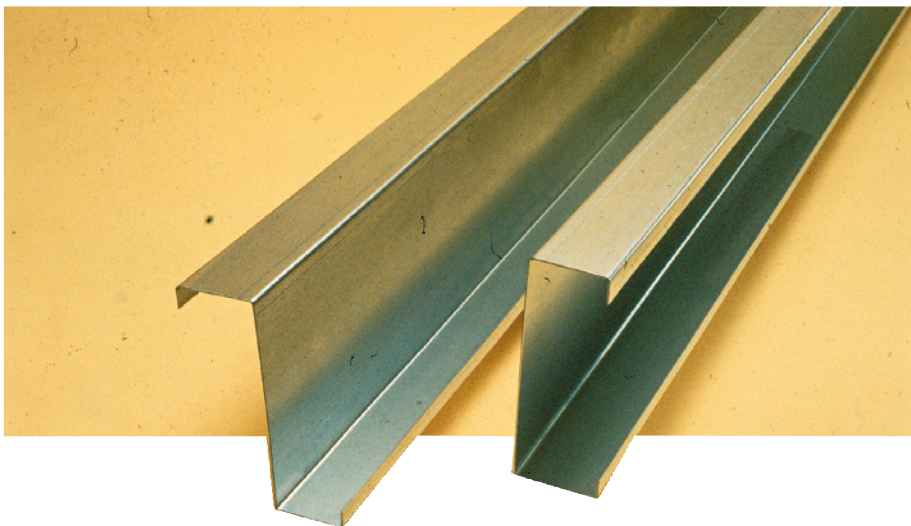
Koneellinen puristaminen tarkoittaa, että tuote muovataan voimakkaassa puristuksessa erikoistyökälulla, jossa on uros- ja naarasosat. Erityistyökäluja käyttämällä yhdellä puristuksella on mahdollista valmistaa suhteellisen monimutkaisia muotoja kolmiulotteinen työstäminen mukaan luettuna (ks. kuva 13.8). Joskus muovaaminen on jaettava eri vaiheisiin, joihin voi kuulua esimerkiksi levyn rei'ittämistä.

Puristamisen etuihin kuuluvat kapeat toleranssit ja se, että valmistus käy suhteellisen nopeasti jopa monimutkaisia tuotteita valmistettaessa, sekä se, sillä voidaan tehdä jäykistäviä syvävetoja (ks. kappale 13.3.6). Haittana ovat suhteellisen korkeat laitteistokustannukset.

Ohutlevyyden on helppo tehdä reikiä stanssaamalla. Reiät kannattaa tehdä tasaiseen, muovaamattomaan levyyn. Saatavana on ohjelmoitavia stanssauslaitteita, joilla reikien tekeminen tapahtuu hyvin nopeasti ja tarkasti. Niissä voi olla useita eri stansseja, joilla voidaan tehdä erimuotoisia reikiä. Koska stanssaaminen on nopeaa, stansseja voidaan käyttää myös leikkaamiseen. Liikkuvalle pöydälle asetettu



*Kuva 13.10 Nauha-
katteinen katto.*



Kuva 13.11 Esimerkki ohutlevytuista.

suuri levynkappale voidaan näin ollen stanssata pienemmiksi levyiksi, ja samalla niihin voidaan tehdä reikiä ja pienempiä syvävetoja. Näin tuotanto on mahdollista järjeittä tehokkaasti suhteellisen monimutkaisiakin muotoja valmistettaessa. Kun stanssauslaite on ohjelmoitava, uudet valmistustavat eivät edellytä investointeja.

13.3 TUOTTEET

13.3.1 Levykate ja nauhakate

Levykate tehdään hyvin pehmeästä, kuumasinkitystä ja maalatusta levystä. Levy on pääsääntöisesti 0,6 mm pak-sua. Teräs leikataan muotolevyiksi, joiden koko on korkeintaan 670 mm x 2 000 mm. Ne kiinnitetään kattoon tiiviiksi pintakerrokseksi (ks. kuva 13.9). Katto kiinnitetään alustaan, joka on raakaponttia tai vaneria, nastoilla, jotka lyödään kiinni alustaan ja kiinnitetään levyjen väliseen liitokseen. Menetelmä on hyvin joustava, ja sitä kannattaa käyttää epäsäännöllisissä katoissa, joissa on monia läpivientejä. Koska työ tehdään käsityönä, kustannukset nousevat suhteellisen korkeiksi. Levykatetta käytetään harvoin uusissa rakennuksissa.

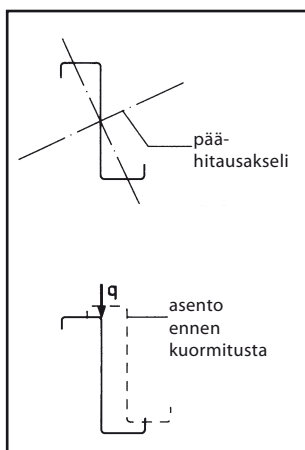
Nauhakate eroaa levykatteesta ennen kaikkea siten, että siinä käytetään pidempiä, jopa 15-metrisiä levyjä. Näin

ollen poikkisaumat voidaan välttää (ks. kuva 13.10). Toisena erona on se, että sivusaumaa työstetään suuressa määrin, ennen kuin levyt asetetaan katolle. Sauma suljetaan pienellä itsestään kulkevalla sulkijalla. Nauhakatteesta tulee näin ollen halvempi kuin levykatteesta, ja se sopii suuriin kattopintoihin, joissa on vähemmän läpivientejä. Nauhakate voidaan rakentaa jäykän eristeen, paneelin tms. päälle.

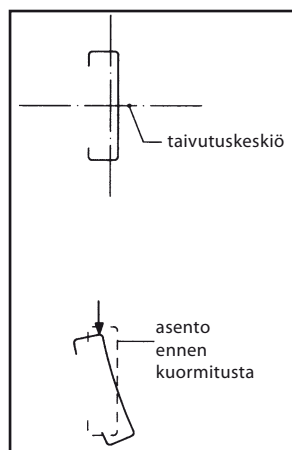
Pitkät levyt voivat liikkua paljon lämpötilan vaihtelujen vuoksi, jopa 1 mm:n metriä kohden. Levyt on siksi kiinnitettävä liukunastoilla, jotka sallivat katonlappeen suuntaisen liikkeen. Liikkeet on otettava huomioon myös rei'itettäessä ja kiinnitettäessä kattoturvallisuustuotteita.

13.3.2 Tuet

Rullamuovaamalla, särmäyspuristamalla tai koneellisesti puristamalla voidaan valmistaa tukia, joiden muoto voi käytännöllisesti katsoen olla mielivaltainen (ks. kuva 13.11). Seinä- ja kattotukina käytetään tavallisimmin Z-profiileja. Epäsymmetrisen muotonsa vuoksi ne taipuvat vinoasti uuman tason kautta kulkevassa kuormituksessa (ks. kuva 13.12). Jos profiili voi vääntyä, mikä on mahdollista, kun vain yksi laipoista on jäykistetty, kantokyky heikkenee. Profiilin vääntyminen voidaan estää eri tavoin. Laipat voidaan



Kuva 13.12 Z-profiilin kuormitus.



Kuva 13.13 C-profiilin kuormitus.



Kuva 13.14 Σ -tuki.



Kuva 13.15 Tuki, jonka uuma on rei'itetty lämmön kulkeutumisen vähentämiseksi.

jäykistää sivuilta esimerkiksi profiloidulla levyllä. Poikittaiskuorman kantokyky ei vähene, jos molemmat laipat on jäykistetty. Jatkuvat Z-profiilit liitetään limittäin niin, että ne asetetaan toistensa sisälle, mikä on mahdollista siten, että laipoista tehdään erilevyiset ja joka toinen tuki käännetään ylös ja joka toinen alas.

C-profiilit vääntyvät poikittaiskuormituksessa, ja niitä voi käyttää vain, kun molemmat laipat on jäykistetty sivusta, koska se kohta, jonka ympäriltä profiili vääntyy, ns. taivutuskeskiö, on profiilin kyljessä (ks. kuva 13.13.) Jos laippoja ei ole jäykistetty, tämä tarkoittaa muun muassa, että vääntävä voima vaikuttaa voimakkaasti kiinnityksen ruuveihin.

Toinen tukimuoto on Σ -tuki (ks. kuva 13.14). Sitä käytetään Ruotsissa ennen kaikkea yhdessä kipsilevyjen kanssa väliseinissä. Koska tuen uuma kääntyy sisäänpäin, tuki antaa jokseenkin helposti periksi poikittaiskuormille, mikä tehostaa melun vähentämistä. Lisäksi kipsilevyt on helppompaa ruuvata kiinni, koska taivutuskeskiö, jonka ympärillä tuki kiertyy, on lähellä tuen keskustaa ruuvien kärjen aiheuttaessa painetta, sen sijaan että se olisi tuen ulkopuolella, kuten tavallisessa C-tuessa, ja ruuvien kärjen aiheuttama paine ei väännä sitä. Tämäntyyppinen tuki kantaa valmistaa rullamuovaamalla.

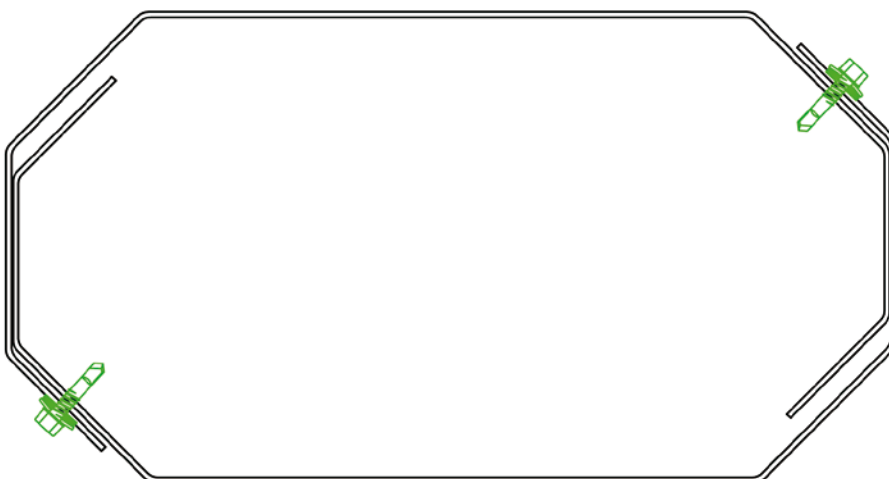
Rei'ittämällä ulkoseinien tuen uumat voidaan vähentää lämmönkuljetusta niitä pitkin (ks. kuva 13.15). Tällaista tukityyppiä kutsutaan lämpötueksi. Tällä tavoin terästuen lämmönkestävyydestä saadaan suunnilleen yhtä hyvä kuin vastaavan puutuen. Reiät voidaan stanssata yksi kerrallaan tai leikata rullaprosessissa.

Kuten edellä on jo mainittu, yksi ohutlevytekniikan suurimmista eduista on se, että tuista voidaan tehdä käytännössä melkein minkä muotoisia tahansa. Lisäksi reikiä ja kohoumia voidaan stanssata ohjelmoitavilla stanssauslaitteilla jatkuvatoimisessa prosessissa. Tämä tarjoaa suunnittelijalle mahdollisuuden muokata tukia useampia tarkoituksia vastaaviksi. Näitä tarkoituksia voivat olla esimerkiksi

- lämmönkulun vähentäminen
- äänieristyksen tehostaminen
- reikien, kohoumien tai syvävetojen yhteisvaikutus betonin kanssa
- johdotusten vetäminen.

13.3.3 Yhdistelmäprofiilit

Ohutlevyprofiilien vääntöjäykkyys on hyvin pieni, ja siksi ne eivät välttämättä sovi esimerkiksi pilareiksi, ellei niiden vääntymistä estetä jäykistäväillä rakenteilla. Vääntöjäykkyyttä



Kuva 13.16 Umpinainen ohutlevyprofiili, jonka vääntöjäykkyys on merkittävästi parempi kuin tavallisen ohutlevyprofiilin.



Kuva 13.17 Profiloitu levy kattorakenteessa.

voidaan lisätä ja vääntönurjahdus voidaan estää ruuvaamalla kaksi ohutlevyprofiilia yhteen. Kuvassa 13.16 näkyy tästä esimerkki. Kaksi samanlaista profiilia ruuvataan yhteen yhdeksi profiiliksi, joka voi ottaa vastaan puristusvoimia. Tavallisesti harvakseltaan sijoitetut ruuvit riittävät antamaan riittävän vääntöjäykkyyden. Myös muut liitosmenetelmät ovat mahdollisia. Kun kaksi profiilia tai useampi profiili yhdistetään, saadaan erinomaiset mahdollisuudet räätälöidä optimaalisia osia eri tarkoituksiin.

13.3.4 Profiloitu levy

Suurin osa ohutlevystä käytetään perusmateriaalina profiloitun levyn valmistamiseen. Profiloitu levy valmistetaan rullamuovaamalla, ja sitä käytetään pääasiassa kattojen ja julkisivujen kantavana pintakerroksena sekä eristettyjen kattojen kantavana tukena (ks. kuva 13.17). Profiloitu levy on useimmiten trapetsiprofiloitua, mutta myös muita

muotoja on olemassa. Tasaisten levypintojen stabiloimiseksi lommoilun varalta profiloituun levyyn, jonka on kestettävä suuret jännevälit, on laitettava jäykisteet, ns. urat. Markkinoiden suurimmissa profiileissa on urat myös suoraan profiilin suuntaan nähden, jotta leveään laipan päällä voi kulkea. Varhainen profiilimuoto, joka on jälleen tullut suosituksi, on sinimuotoinen profiili. Sitä on saatavana eri kokoisina.

Levystä voidaan myös valmistaa kattotiiliä yhdistämällä rullamuovaus ja puristus (ks. kuva 13.18). Puristus, joka tapahtuu rullamuovauksen jälkeen, on teoreettisesti puhdasta taivuttamista, jos puristusmuotista tehdään ylhäältäpäin katsottuna samanmuotoinen kuin poikkileikkauksen profiilimuoto. Tällaisia tiiliä on saatavana valmistajalta monen muotoisina, ja niitä on alettu käyttää paljon ennen kaikkea asuinrakennusten katoissa.

13.3.5 Kasetit

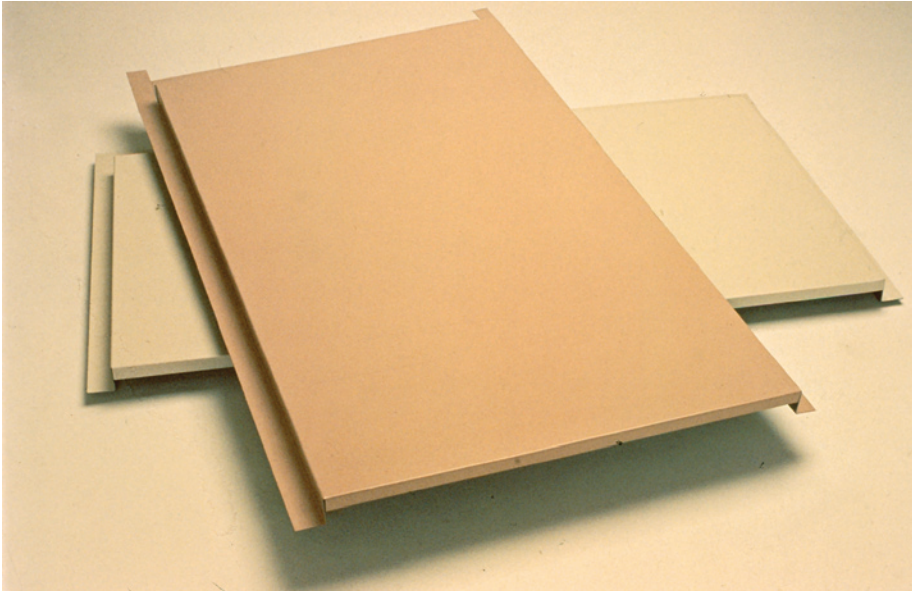
Levystä valmistettuja julkisivukasetteja käytetään julkisivujen pintaverhoukseen (ks. kuva 13.19). Kasettien tuotanto ei voi olla yhtä järjeistettyä kuin profiloitun levyn tuotanto, ja siksi niiden hinnat ovat hieman korkeammat. Toisaalta niiden mitat voidaan sopeuttaa helposti julkisivujen mittoja vastaaviksi (ks. kappale 13.5.4).

13.3.6 Puristetut levytuotteet

Kuvassa 13.20 näkyy esimerkki puristetusta levytuotteesta. Se on 200 mm korkean ohutlevyprofiilin tukinauha. Kannatinta tarvitaan vahvistuksena levyn tukemiseen.



Kuva 13.18 Peltinen kattolevy.



Kuva 13.19 Ohutlevystä valmistettu julkisivukasetti.

Uuman osat on jäykistetty syvävedoilla, jotka estävät lommoilua, mikä puolestaan pienentää tarvittavaa levy-paksuutta. Syväveto on kolmiulotteista muovausta, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi niin, että materiaalista kiinnitetään sivuilta ja sitä venytetään kuormituksessa puristustyökalulla.

Kuvassa 13.21 näkyy kaksinkertaisen peltikaton kiinnitys-nauha (ks. kappale 13.5.2). Nauha on valmistettu neljässä vaiheessa. Ensin nauha leikataan oikean levyiseksi pyöri-villä saksenterillä, ja sitten stanssataan reiät. Tämän jäl-keen alapintaan tehdään syväveto. Lopuksi kaikki kulmat muotoillaan yhdellä kertaa.

Kuvassa 13.22 näkyy kattotiili, jossa on sisäänrakennettu kantava tuki. Tuki on rullamuovattu. Tiilen muut osat muo-vataan kahden työkalun välissä puristimessa. Jotta mate-riaali jää suoraksi puristuksen yhteydessä, sen liukuminen muovaustyökalua vasten on estettävä. Tämä tehdään niin,

että materiaali puristetaan ensin kiinni muovattavan alu-een ulkopuolelta ja muovataan tämän jälkeen. Laitteen yhteenlaskettu puristusvoima on yli 13 000 kN.

13.3.7 Sandwich-paneelit

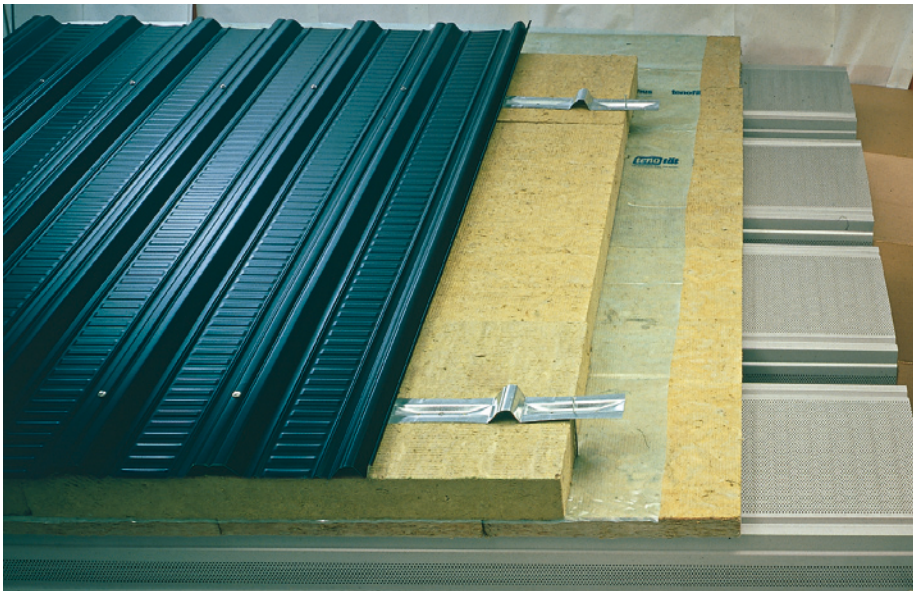
Rakenne

Sandwich-paneeleissa on eristysmateriaalista muodos-tuva ydin ja levystä tehty pintakerros (ks. kuva 13.23). Ko-konaispaksuus on normaalisti 50–240 mm, leveys tavalli-sesti 1,2 metriä ja pituus jopa 13 metriä. Tavallisesti pituus on kuitenkin noin 6 metriä.

Pintakerros on tavallisesti maalattua teräslevyä, jonka pak-suus on 0,5–0,7 mm. Pinta on tasainen tai siinä on matalia uria (noin 1 mm syviä), jotka muodostavat paneeliin esteet-tisen kuvioinnin ja jäykistävät sitä. Pintakerroksessa voidaan käyttää myös ruostumatonta terästä.



Kuva 13.20 Taittamalla ja puristamalla valmistettuja ohutlevyprofiilin tukilevyjä.



Kuva 13.21 Kaksinkertaisen peltikaton kiinnitysnauha, joka on valmistettu monessa vaiheessa.

Tavallisimpia ovat paneelit, joissa on kivivillasisus, jonka tiheys on noin 110 kg/m^3 . Paneeleita voidaan valmistaa esimerkiksi jatkuvatoimisessa prosessissa, jossa sahataan lamellit kivivillasta, rullamuovataan teräspinta ja sivuliitokset, liimataan levy kivivillaan, asennetaan liitoksiin tiivistelikat ja lopuksi sahataan valmis paneeli oikeanpituisiksi. Saavana on myös paneeleita, joissa on EPS-ydin.

Paneelit, joissa on polyuretaanisius, valmistetaan niin, että sisumateriaali turpoaa ja liimautuu kiinni levyyn. Valmistus voi tapahtua jatkuvatoimisena prosessina tai kappaleittain.

Lujuus ja jäykkyys

Staattisesti paneelit toimivat palkkeina, joissa pintakerros muodostavat laipat ja eriste uuman. Teräspinnat jäykistään lommoilun varalta liimaamalla ne kiinni eristeeseen. Lujuus riippuu eristeen veto- ja puristuslujuudesta, sen jäykkyydestä, liimasauman vahvuudesta, levymateriaalista

ja levyn kuvioinnista. Leikkausvoimakapasiteetti riippuu mineraalivillan ja liimasauman leikkauslujuudesta.

Muodonmuutokset riippuvat villan leikkausjäykkyydestä ja levyn paksuudesta. Kun sisä- ja ulkolevyn lämpötilojen välillä on eroa, lämpötilan liikkeet taivuttavat paneeleja. Jos liike estyy, paneeleihin syntyy pakkovoimia. Paneelit ovat suhteellisen jäykkiä ja vankkoja. Lisätietoa sandwich-paneelien käytöstä löytyy kappaleesta 13.5.1.

Tulipalo

Kivivillan palo-ominaisuudet ovat hyvät. Paneeleissa käytettävä kivivilla täyttää A1-luokan vaatimukset, eli se on palamatonta materiaalia. Paneelit, joissa on kivivillaydin, täyttävät luokan B-s1, do vaatimukset (pintakerrosluokka I). Paneeleista rakennetut seinät voivat kuulua niiden paksuudesta ja muodosta riippuen luokkiin EI 60, EI 120 tai jopa luokkiin, joissa palonkestävyysaika on pidempi.



Kuva 13.22 Kattotiili, jossa on sisäänrakennettu tuki.

Jos paneeleissa on EPS-ydin, joka sisältää palamista hillitseviä lisäaineita, ne kuuluvat EN-standardin mukaan luokkaan D-do, s2 (pintakerrosluokka III).

13.3.8 Liittoprofiilit

Profiloitua levyä, jossa on painaumia tai kohoumia, jotka muodostavat mekaanisen liitoksen levyn ja betonin välillä, voidaan käyttää muottina ja vahvisteena betonivälipohjassa. Asiaa kuvataan tarkemmin kappaleessa 14.3.

13.4 KIINNITYSOSAT

Ohutlevyliitoksella tarkoitetaan lukuisia erilaisia liitoksia, joita voidaan käyttää ohutlevykonstruktioiden, kuten profiloidun levyn, levypaneelien, levyprofilien ja heloitusten yhteen liittämiseen ja kiinnittämiseen.

13.4.1 Liitokselle asetetut vaatimukset

Ohutlevykonstruktioiden valmiilta liitoksilta voidaan edellyttää, että ne ovat riittävän

- vahvoja
- jäykkiä
- pysyviä
- tiiviitä.

Jotta liitoksen voidaan katsoa olevan riittävän vahva, on osoitettava laskemilla tai kokeilla, että se täyttää vaatimukset, jotka löytyvät Boverkets Konstruktionsregler -julkaisusta [9] tai Tunnpåtnormen (StBK-N5) -julkaisusta [2].

13.4.2 Ohutlevyliitostyyppit

Ohutlevyrakenteissa voidaan käyttää tai ajatella käytettävän seuraavia kiinnitys- ja liittämismenetelmiä:

- ruuviliitos, jossa käytetään kierteittäviä ruuveja tai porautuvia ruuveja
- niittiliitos (sokkaniitti, sokkoniitti)
- naulaliitos, jossa käytetään ammuttavia nauloja
- naulaliitos
- ruuviliitos, jossa käytetään ruuveja ja muttereita
- stanssiniittaus
- puristusniittaus
- läppä- ja hakaliitos
- kitkaliitos
- vastuspistehitsiliitos
- MIG-pistehitsiliitos
- liimaliitos.

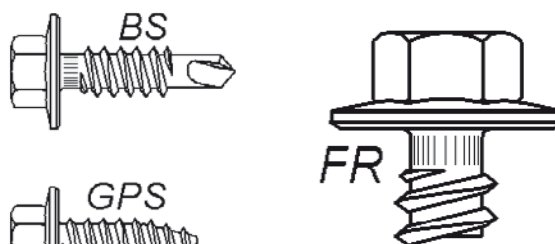
Ehdottomasti tavallisin liitos rakennustyömaalla on ruuviliitos. Kitkaliitoksia sekä hitsi- ja liimaliitoksia käytetään vain erikoisliitoksissa. Stanssiniittaus, puristusniittaus sekä läppä- ja hakaliitokset sopivat hyvin elementtien esivalmistukseen konepajalla. Niittiliitosta käytetään nykyään yhä harvemmin sivujen limiliitoksissa, ja sitä käytetäänkin ennen kaikkea heloitusten kiinnittämiseen. Ulkoisissa levyrakenteissa käytetään porautuvia tai kierteittäviä ruuveja sekä tiivistyslevyä, jossa ruuvien kannan alla on vulkanoitua EPDM-kumia. Tiivistämättömiä ruuveja käytetään kiinnitettäessä kantavia levyjä eristettyihin rakennuksiin.



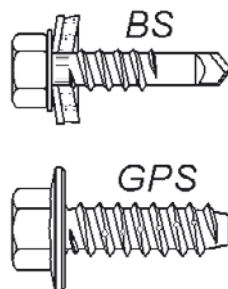
Kuva 13.23 Sandwich-paneeli.

Kuvassa 13.24 näkyy ruuveja, joita käytetään tavallisesti ohutlevyrakenteiden liitoksissa ja kiinnityksissä. Kuusiokantainen ruuvi, jonka avainväli on 8 mm, on ollut pitkään yleisin. Viime aikoina kuitenkin toisenlaisten ruuvikantojen käyttö on yleistynyt. Kyse on huomaamattomammista ruuveista, jotka sopivat paremmin käytettäväksi ruuvivääntimen kanssa niin, että ne voidaan kiinnittää yhdellä kädellä. Saatavana on myös erikoisruuveja, joita voidaan käyttää sellaisten tukien ja kiskojen asentamiseen, joihin kipsilevyt kiinnitetään. Tällaisten ruuvien kannan paksuus on noin 1 mm.

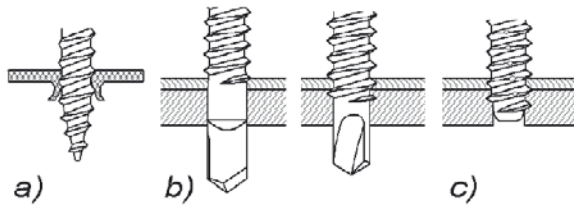
Porautuvissa ruuveissa on jonkin mallinen porakärki. Hiiliteräsruuveissa kärki on osa ruuvia. Ruostumattomasta austeniittisesta teräksestä valmistetuissa ruuveissa on






Kuva 13.25 Ruuvi, jonka kannan alapuolella on kierteetön osa.



Kuva 13.24 Yleisiä ruuvityyppejä (BS = porautuva ruuvi GPS = kierteittävä ruuvi).



Kuva 13.26 a) Työntyvän ruuvin, b) porautuvan ruuvin ja c) kierteittävän ruuvin kärjet.

| Ruuvinkärki | Tyyppi | Käyttöalue |
|---|--------|----------------------|
|  | A | puualusta |
|  | B | teräsalusta > 3,0 mm |
|  | C | teräsalusta < 3,0 mm |

Kuva 13.27 Kierteittävien ruuvien kärkiä.

erikoiteräksestä valmistettu porakärki. Saatavana on myös martensiittisestä ruostumattomasta teräksestä valmistetuja ruuveja, joissa porakärki on osa ruuvia.

Ruuveissa, joita käytetään levyjen päiden ja sivujen limiitoksissa, kierteet päättyvät muutama muutaman millimetrin päähän ruuvin kannasta (ns. kierteetön osa; ks. kuva 13.25). Ruuveissa on porakärki ja loivasti nousevat kierteet. Porauksen jälkeen levyt yhdistetään ja työnnetään kierteettömään kohtaan kannan ja kierteiden väliin. Ruuvi on aina kierrettävä kireälle. Jos kierteetön osa on liian pieni, on vaarana se, että alempi levy irtoaa, kun ruuvi pyörii.

Puuruuveja käytetään kiinnitettäessä levy puualustaan. Myös kampanauloja käytetään, mutta ne käyvät yhä harvinaisemmiksi.

Betonialustaan porataan tavallisesti reikä, johon kiinnitetään expander-ruuvi, erikoismuotoiltu naula tai oman kierteensä muodostava ruuvi. Myös ammuttavia nauloja käytetään.

Ruuvit ohutlevyliitoksessa

Levyliitoksessa käytettävät ruuvit voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- työntyviin ruuveihin
- porautuviin ruuveihin
- kierteittäviin ruuveihin.

Työntyvät ruuvit

Työntyvissä ruuveissa on venytetty kierrekärki, toisinaan kaksinkertaiset kierteet ja suhteellisen jyrkästi nousevat kierteet. Kärjen muodon ansiosta syntyy kaulus, joka mahdollistaa kierteiden tarttumisen myös ohutlevyyn (ks. kuva 13.26 a). Työntyvä ruuvi on tarkoitettu käytettäväksi, kun levyn paksuus on korkeintaan 1,0 mm, ja sitä käytetään pääasiallisesti kiinnitettäessä levy materiaalia rakennuksen sisällä.

Porautuvat ruuvit

Porautuvia ruuveja käytetään kiinnitettäessä raskaampia materiaaleja. Tässä ruuvityypissä on porakärki, minkä vuoksi poraus, kierteen muodostus ja kiristäminen tapahtuu kerralla (ks. kuva 13.26 b). Ruuvien porauskapasiteetti on normaalisti 1,0–12 mm.

Kierteittävät ruuvit

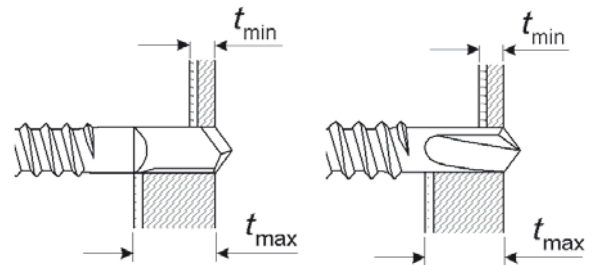
Kierteittävä ruuvi on vanhin teräslevyrakentamisessa käytettävä ruuvityyppi, ja se edellyttää materiaalin esiporaamista tai -stanssaamista. Ruuvi muodostaa plastisesti sisäpuolisen kierteen niin, että ruuvien kierteet tunkeutuvat materiaalin alle reiän reunassa (ks. kuva 13.26 c).

Kuvassa 13.27 näkyy kolmenlaisia kierteittäviä ruuveja.

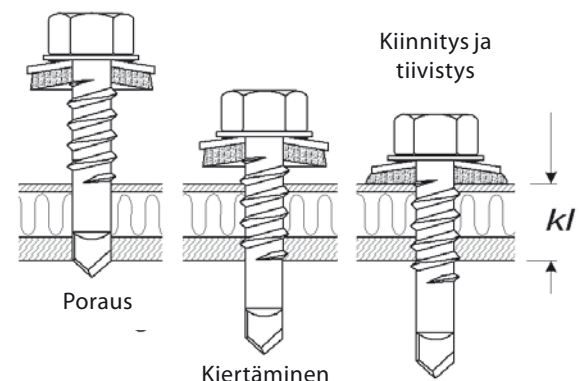
Kierteittävä ruuvia käytettäessä reiän halkaisija on sovitettava alustan paksuuteen, jotta plastinen kierteenmuodostus tapahtuu parhaalla mahdollisella tavalla. Kierteittäviä ruuveja kannattaa käyttää silloin, kun on mahdollista käyttää esistanssattuja reikiä tai kun tavaran paksuus ylittää porautuvan ruuvien porauskapasiteetin.

Porauskapasiteetti

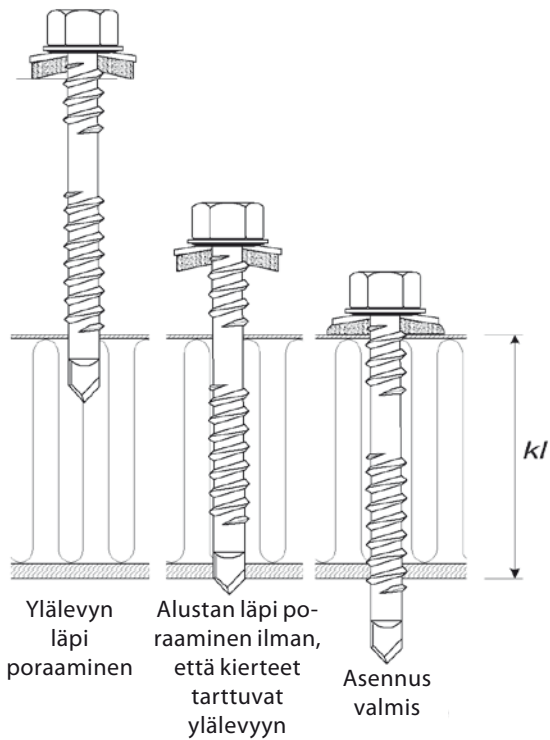
Työntyvän ja porautuvan ruuvien porakärjet on sopeutettu suurimman ja pienimmän levypaksuuden väliseen eroon (ks. kuva 13.28). Väli määräytyy porakärjen koon ja kierregeometrian mukaan. Porattu reikä on normaalisti suurempi käytettäessä ruuvia, joka on tarkoitettu paksua levyä varten. Kun käytetään ruuvia, joka on tarkoitettu käytössä olevaa levyä paksumpaa levyä varten, vaarana on lujouden heikkeneminen ja tiivyyden väheneminen.



Kuva 13.28 Porauskapasiteetti. Levyn paksuuden on oltava välillä t_{min} ja t_{max} .



Kuva 13.29 Porautuvan ruuvien asentaminen, puristuspuite. kl = puristuspuite.



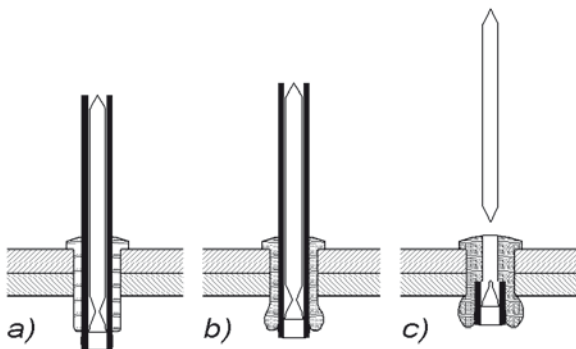
Kuva 13.30 Suureen puristuspuuteen tarkoitettuja ruuveja. kl = puristuspuute.

Puristuspuute

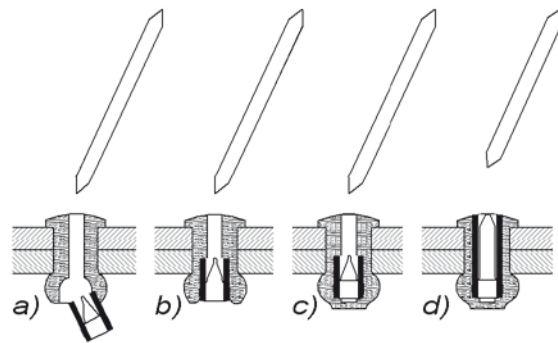
Puristuspuute on levyjen ja mahdollisten välikappaleiden, esimerkiksi levyjen tai eristeen, yhteenlaskettu paksuus (ks. kuva 13.29). Porakärjen ja kierteiden välisen etäisyyden on oltava niin suuri, että levyt ja välikappale saadaan porattua läpi, ennen kuin kierteet tarttuvat ylälevyyn. Kun puristuspuute on suuri eli kun välikappale on paksu, ruuveissa on usein kierteetön väliosa (ks. kuva 13.30). Ruuvi on suunniteltu niin, etteivät kierteet tartu ulompaan levyyn alustaa porattaessa.

Naulaliitos, jossa käytetään ammuttavia nautoja

Naulaliitos, jossa käytetään ammuttavia nautoja, koostuu ammuttavista nautoista, mahdollisista aluslevyistä ja pohjamateriaalista. Halkaisija on tavallisesti 3,7–6,0 mm. Liitosta käytetään kiinnitettäessä ohutlevyä muihin rakennelimiin (kiinnitettäessä "ohutta paksuun"). Naulat ovat kovetettua terästä, ja ne ammutaan kiinni erityisellä pistoolilla.



Kuva 13.31 Niittaaminen.



Kuva 13.32 Erilaisia niittityyppejä.

Niittiliitos

Niittaaminen on tavallinen menetelmä, jolla liitetään yhteen ohutlevyjä ja kiinnitetään heloja levyalustaan. Sokkoniittaus tarkoittaa, että yksi henkilö voi kiinnittää niittejä yhdeltä puolelta ja että kääntöpuolelle ole tarpeen päästä käsiksi. Niittaus tapahtuu kylmäniittauksena, eli niitin muoto muuttuu kylmässä tilassa. Halkaisija on 4,0–6,4 mm.

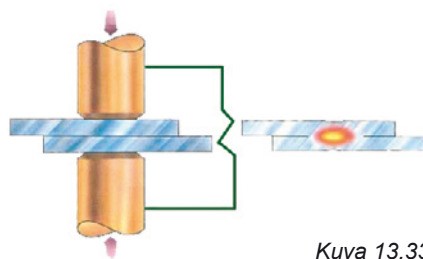
Niittejä valmistetaan eri materiaaleista. Materiaalin valinta riippuu lujuusvaatimuksista ja korroosio-ominaisuuksista. Hiiliteräksestä valmistettujen ohutlevyjen yhteenliittämiseen käytetään niittejä, jotka on valmistettu hiiliteräksestä, monimetallista (kuparin ja nikkelin seos), ruostumatonta teräksestä tai alumiinista.

Niittauksen eri vaiheet ilmenevät kuvasta 13.31.

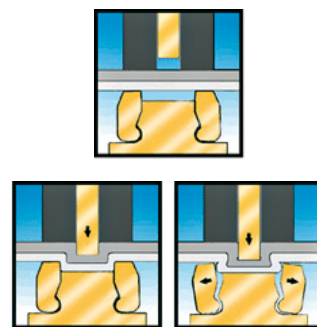
Erilaisia niittejä näkyy kuvassa 13.32.

Hitsiliitos

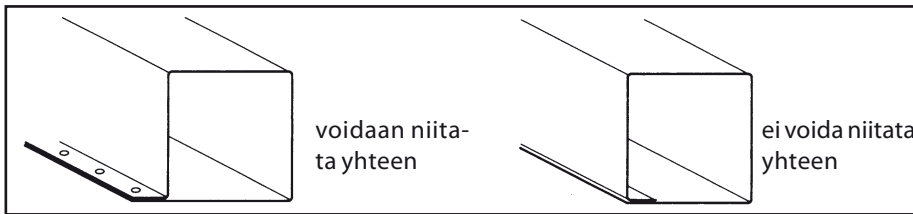
Pistehitsaus (ks. kuva 13.33) tehdään joko vastuspiste- tai sulapistehitsauksena (esimerkiksi MIG-pistehitsaus). Liitosta käytetään liitettäessä ohutlevyjä yhteen (liitettäessä "ohutta ohueen") ja kiinnitettäessä ohutlevyä muihin rakennelimiin (kiinnitettäessä "ohutta paksuun"). Pistehitsauksen haittapuolena on se, että se vaikuttaa ruostusuojaan.



Kuva 13.33 Pistehitsaus.



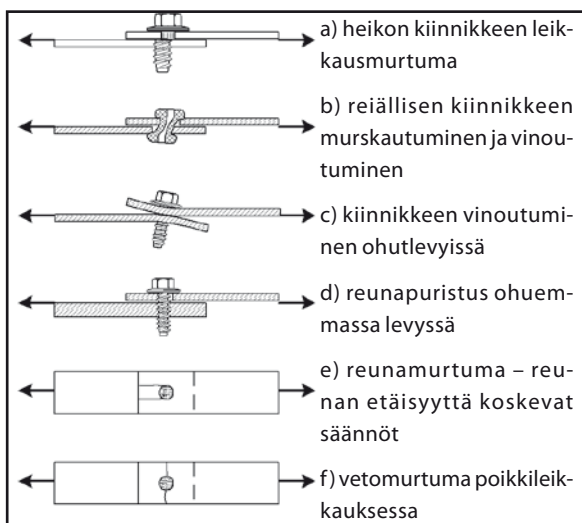
Kuva 13.34 Esimerkki puristusniittauksesta.



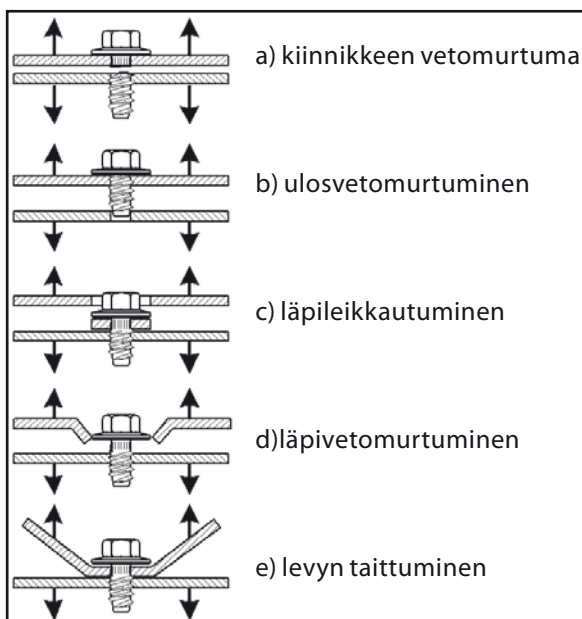
Kuva 13.35 Puristusniittaus edellyttää, että niitattaviin osiin on mahdollista päästä käsiksi.

Mekaaniset liitokset ilman kiinnitysosiä

Uusi levyjen yhteenliittämistapa, jota on käytetty tähän saakka lähinnä auto- ja kodinkoneteollisuudessa, on se, että toinen levy painetaan koneellisesti kiinni toiseen (ns. puristusniittaus). Kiinnitysosiä ei tarvita. Tähän käytetään monenmuotoisia työkaluja, joista esimerkkejä näkyy kuvassa 13.34.



Kuva 13.36 Ohutlevyliitoksen murtumatyypit, kun levytasoon kohdistuu kuormitusta.



Kuva 13.37 Ohutlevyliitoksen murtumatyypit, kun levyyn kohdistuu kuormitusta suorassa kulmassa.

Levyt niitataan yhteen työkalulla, jossa on kiinteät uros- ja naarasosat, niin että ne kestävät sekä leikkaus- että veto-voimia. Levyihin ei tehdä reikiä, ja toisin kuin hitsattaessa levyt voivat olla maalattuja. Menetelmä vaikuttaa pintakerrokseen, muttei pilaa sitä. Ennen yhteenliittämistä kontaktipinnoille voidaan laittaa saumausmassaa tai teippiä. Kantokyky kertakuormituksessa on pienempi kuin vastaavan sulapistehitsin kantokyky, mutta väsytkuormituksessa kantokyky voi sen sijaan olla parempi. Menetelmä on taloudellinen, koska se ei edellytä kiinnitysosiä, vaikka kuormakapasiteetti pistettä kohden on pienempi kuin ruuviliitoksessa. Menetelmä on myös nopea. Puristaminen vie aikaa muutamasta sekunnin kymmenesosasta muutamaa sekuntiin laitteistosta riippuen.

Puristusniittaus ilman kiinnitysosiä voidaan tehdä monin eri tavoin, mutta sellaisissa niittauksissa, joissa liitokseen jää matala sylinteri, taitos kestää suuremman kuorman ja murtuu sitkeämmin.

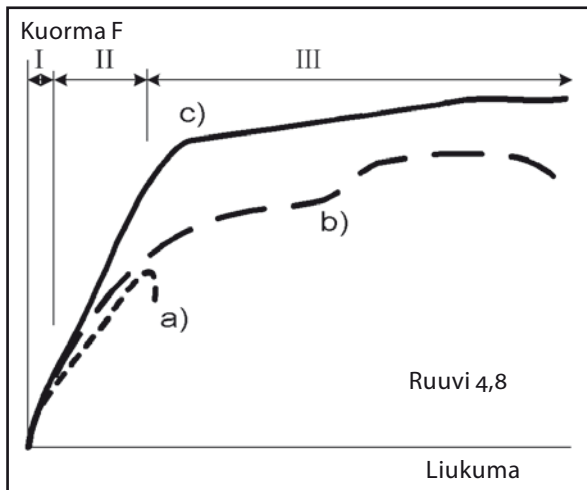
Haittapuoli tämäntyyppisissä liitoksissa on se, että ne edellyttävät laippoja, jotka kääntyvät konetta kohti (ks. kuva 13.35), ja että kannettava laitteisto soveltuu toistaiseksi parhaiten konepajakäyttöön.

Liimaliitos

Liimaa käytetään pääasiassa sandwich-paneelin valmistamiseen sekä teräslevyn kiinnittämiseen erilaisiin levymateriaaleihin, esimerkiksi puukuutulevyihin. Liimaaminen edellyttää, että pinnat on puhdistettava ja kuivattava hyvin ja että liimasauman on oltava puristuksessa sillä aikaa kun se kovettuu. Puristus kannattaa etenkin rakennustyömaalla korvata ruuvauksella. Jäykistävään levymateriaaliin kunnolla liimatun levyn kyky kantaa puristusvoimaa voi moninkertaistua.

Teippiliitos

Teippiä ei käytetä paljon ohutlevytekniikassa, mutta joitakin käyttömahdollisuuksia on. Teippi kiinnittyy välittömästi yhteen liitettäessä, mutta liitoksen on levittävä ennen kuormitusta. Kantokyky lyhytaikaisessa kuormituksessa ja väsymiskuormituksessa on hyvä. Teippi ei koskaan kovu, ja liitokseen ei voi siksi kohdistua pitkäaikaista kuormitusta, jossa teippi voisi liikkua paikaltaan. Pitkäaikaisessa kuormituksessa teippaus voidaan yhdistää mekaaniseen kiinnitykseen tai liimaukseen.



Kuva 13.38 Ruuviliitoksen valmistustapa.

- a) murtuma niin, että ruuvi leikkauttu
 b) murtuma niin, että ruuvi vinoutuu
 c) murtuma reunapuristuksessa

Kuva 13.39 Kiinnitysosien materiaali. Ruostuvuus ja ohutlevykonstruktio otettu huomioon. Huomiota on kiinnitetty vain ruostumisriskiin.

| Korroosio-luokka | Ohutlevy-konstruktion materiaali | Kiinnitysosien materiaali | | | | | |
|------------------|----------------------------------|---------------------------|---|--|---|---|--------------------|
| | | Alumiini | Sähkösinkitty ja mahdollisesti kromattu teräs. Kerroksen paksuus > 7 µm | Kuumasinkitty teräs ^b . Kerroksen paksuus > 45 µm | Ruostumaton teräs, pintakarkaistu 1.4006 ^{d,e} | Ruostumaton teräs 1.4301 ^d 1.4436 ^e | Monel ^a |
| C1 | A, B, C D, E, R | X | X | X | X | X | X |
| | | X | X | X | X | X | X |
| C2 | A, C, D, E R | X | - | X | X | X | X |
| | | X | - | X | X | X | X |
| | | X | - | X | X | X | X |
| C3 | A, C, E D R | X | - | X | - | X | X |
| | | X | - | X | (X)c | (X)c | - |
| | | X | - | X | - | (X)c | X |
| | | - | - | X | X | X | X |
| C4 | A D E R | X | - | (X)c | - | (X)c | - |
| | | - | - | X | - | (X)c | - |
| | | X | - | X | - | (X)c | - |
| | | - | - | X | - | X | X |
| C5-I | A Df R | X | - | - | - | (X)c | - |
| | | - | - | X | - | (X)c | - |
| | | - | - | - | - | X | - |
| C5-M | A Df R | X | - | - | - | (X)c | - |
| | | - | - | X | - | (X)c | - |
| | | - | - | - | - | X | - |

Huom. Päälystämättömiä teräksisiä kiinnitysosia voidaan käyttää korroosioluokassa C1.

- A = alumiini riippumatta pintakäsittelystä
 B = päälystämätön teräslevy
 C = kuumasinkitty, Z275, tai alusinkkipäälysteinen, AZ150, te räslevy
 D = kuumasinkitty teräslevy + maali- tai muovipäälystys
 E = alusinkkipäälysteinen, AZ185, teräslevy
 R = ruostumaton teräs
 X = ruostumisnäkökulmasta suositeltava materiaalityyppi
 (X) = ruostumisnäkökulmasta suositeltava materiaalityyppi tietyin edellytyksin

- = materiaalityyppiä ei suositella ruostumisnäkökulmasta
 a koskee vain niittejä
 b koskee vain ruuveja ja muttereita
 c levyn ja kiinnitysosien väliin eristävä aluslevy vanhenemisen kestävästä materiaalista
 d ruostumaton teräs SS-EN 10 088 -standardin mukaisesti
 e värjäytymisen vaara olemassa
 f levyateriaalia saa vain ottamalla yhteyttä toimittajaan

13.4.3 Ruuviliitoksen vahvuus ja jäykkyys

Yleistä

Määritettäessä liitoksen vahvuutta kuorma jaetaan levytasoon kohdistuvaan osaan ja levyyn suorakulmaisesti kohdistuvaan osaan. Kuvissa 3.36 ja 3.37 esitetään murtumatyypit, joita voi esiintyä ohutlevyliitoksissa.

Valmistustapa

Levytasoon kohdistuvat voimat

Kun levytasoon kohdistuu kuormitusta, ruuviliitoksen valmistustapa voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri vaiheeseen, jotka ilmenevät kuvasta 3.38.

Kuorman ollessa pieni (vaihe I) voimansiirto ruuvin ja levyyn välillä tapahtuu pääasiallisesti yhteen kierrettyjen osien reunapuristuksessa.

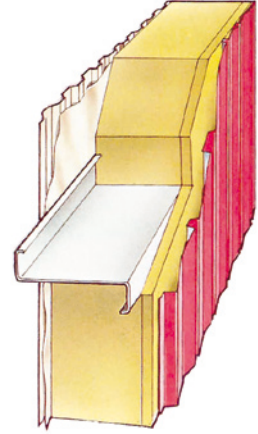
Kuorman kasvaessa ruuvin kierteet työntyvät materiaaliin niin, että kosketuspinnasta tulee täydellinen. Kun voimansiirron pinta-ala kasvaa, muodonmuutoksen kasvu vähenee (vaihe II). Jos levy on ylivahvaa, vaiheen II jälkeen syntyy murtuma suhteellisen rajallisessa muodonmuutoksessa niin, että ruuvi leikkautuu pois.

Jos sen sijaan ruuvi on ylivahva, vaiheen II jälkeen tapahtuu merkittävä muodonmuutoksen kasvu reunapuristuksen ja ruuvin vinoon asentamisen seurauksena (vaihe III). Murtuma reunapuristuksen ja vinoon asentamisen kautta tapahtuu sen jälkeen, kun liitoksessa on tapahtunut suhteellisen suuri muodonmuutos, kokoluokkaa 5–10 mm.

Levyyn suorakulmaisesti kohdistuva voima

Kun levytasoon kohdistuu suorakulmaisesti kuormitusta, murtuma voi tapahtua niin, että levy taittuu tai ruuvi työntyy irti alustasta. Lämpöermittymistä ja ruuvin kannan lämpileikkautumista ei normaalisti mitoiteta kyseeseen tulevien ruuvityyppien ja konstruktioiden kohdalla. Ruuvit on myös suunniteltu niin, ettei ruuvin kantaan pitäisi syntyä murtumaa.

Kuva 13.40 Hallirakennuksen seinä.



Liitoksen varmuus

Arvioitaessa, millainen voima liitokseen voi kohdistua, lähdetään liikkeelle kiinnikkeen lujuudesta ja liitoksen muodonmuutosominaisuuksista. Liitokseen valitaan ruuvit tai niitit, jotka ovat hieman kestävämpiä murtumisen suhteen kuin reunapuristuksen tai vinoon asentamisen suhteen, koska ruuvien murtumisen yhteydessä syntyvä muodonmuutos on pieni, vain muutaman millimetrin kokoluokkaa. Jos tarkoituksena on, että monta ruuvia toimii liitoksessa yhteisvaikutuksessa, tietyissä tapauksissa määrätään, että ruuvien on oltava ylivahvoja – toisin sanoen niiden täytyy kestää reunapuristus tai vinoon asentaminen ilman, että ne ovat vaarassa murtua.

13.4.4 Pysyvyys

Ruuvien ruostuminen

Ruostumiskysymyksillä on suuri merkitys ohutlevykonstruktioiden kannalta – osittain siksi, että levy on ohutta, osittain siksi, että ohutlevyä käytetään koristeellisena pintamateriaalina. Ruostuvat kiinnikkeet voivat aiheuttaa monenlaisia ongelmia. Kyse on ennen kaikkea konstruktion ulkonäköön liittyvistä ongelmista, mutta jos ruostuminen pääsee eteneämään, rakenteeseen voi syntyä myös murtumia.



Kuva 13.41 Halliseinän asennus.



Kuva 13.42 Pilareihin nojaavien sandwich-paneelien asennus.

Kuvasta 13.39 käy ilmi, mitä kiinnitysosia kannattaa valita ruostuvuutta silmällä pitäen. Lisätietoa kiinnitysosien ruostumisesta ja kiinnitysosien materiaalivalintaan liittyviä ohjeita löytyy viitteestä [11].

13.5 RAKENNUSKONSTRUKTIOT

13.5.1 Hallirakennusten seinät

Seinä suojaa ilman vaihteluilta, ja sen on oltava muun muassa sateenkestävä, lämpöä eristävä ja ilmatiivis.

Kevytorsiseinät

Kuvissa 13.40 ja 13.41 näkyy perinteinen eristetty halliseinä. Se muodostuu vaakasuorista Z-tuista, joiden etäisyys



Kuva 13.43 Paneelien välinen liitos.

on noin 1,2–1,8 metriä. Tukien välissä on eristettä. Läpikulkevan kylmäsilän katkaisee tavallisesti mineraalivillalevy, joka on Z-tuen ulkoreunalla. Koska Z-tukien laipat on stabiloitava profiloitulla levyllä, valitaan korkeintaan 20–30 mm paksua mineraalivillalevyä. Eristeen sisäpuolella on muovikalvo, joka kiinnitetään mieluiten kaksipuolisella butyyliteipillä tai muulla vastaavalla teipillä, jotta siitä tulee mahdollisimman ilmatiivis. Z-tukien tuet kannattaa ruuvata rakennuksen pilareihin, kun muovikalvo tai muovikalvon liitospala on asetettu tukien ja pilareiden väliin. Muovikalvo, joka ei ole tiivis, aiheuttaa energiahävikkiä ja saattaa aiheuttaa kosteusongelmia. Viitteestä [3] löytyy asiaan liittyviä ohjeita.

Paneeliseinät

Muutamia vuosia sitten useimmat halliseinät rakennettiin sandwich-paneeleista. Paneelit asennettiin nosturin avulla ulkopuolelta erityisten nostoikeen avulla. Ne voidaan asentaa niin, että ne nojaavat suoraan pilareihin tai



Kuva 13.44 Peitetty paneelien välinen päätyliitos.



Kuva 13.45 Alumiini-ikkuna paneeliseinässä.



Kuva 13.46 Pyöristetty kulma paneeliseinässä.

seisovat sokkelin ja räystään välissä. Jänneväli voi olla jopa 8 metriä paneelin paksuudesta riippuen. Kuvassa 13.42 on käynnissä asennus, jossa käytetään pilareihin nojaavia paneeleja. Paneeleissa on tehdasvalmisteiset tiivisteliat. Omapaino painaa paneeleja yhteen niin, että uros- ja naarasosista muodostuvista liitoksista (ks. kuva 13.43) tulee ilmatiiviitä ja sateenpitäviä. Paneelit ruuvataan läpikulkevillä ruuveilla suoraan runkoon. Paneelien väliset liitokset peitetään pilastereilla, joiden kiinnitys voi olla piilossa, kuten kuvassa 13.44.

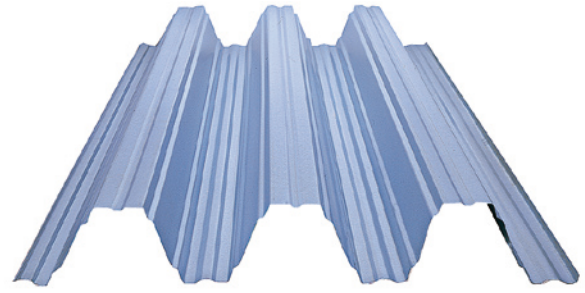
Asentaminen käy hyvin nopeasti. Tavallisesti kolme miestä asentaa tunnissa 4–6 paneelia. Nopean asentamisen ansiosta materiaali- ja työ kustannusten yhteenlaskettu summa on suunnilleen sama kuin kevytorsiseinien kohdalla. Talo valmistuu kuitenkin selvästi nopeammin, minkä vuoksi paneeliseinä on selvä voittaja. Lisäksi paneeliseinä on tiiviimpi, eikä siinä ole kylmäsiltoja. Tämä säästää energiaa ja vähentää kosteusvaurioiden vaaraa.

Aukot

Aukot, jotka eivät ulotu kahden sivuliitoksen yli, tehdään paikan päällä sahaamalla. Monissa tapauksissa heikentyneet elementit voidaan poistaa vierekkäisistä paneeleista, koska paneelit ovat vääntöjäykkiä. Jos paneeleita hyödynnetään jo voimakkaasti tai aukot ovat suuria, saatetaan tarvita vaihtopuitteita. Alumiini-ikkunoiden asentamista varten on olemassa esteettisiä, nopeasti asennettavia ja varmoja ratkaisuja (ks. kuva 13.45).

Kylmätilat

Paneelien käyttöön liittyvä ensimmäinen läpimurto oli kylmätilojen rakentaminen. Paneeleissa oli tuolloin EPS-situs. Sen lisäksi, että EPS:n λ -arvo on hyvä, etuihin kuuluu se, että seinä on tiivis ja ettei EPS juurikaan reagoi kosteuteen. Kylmätilan seinässä tapahtuu lähes aina kosteuden siirtoa. Lisäksi siinä missä kesä merkitsee kuivumiskautta tavalliselle ulkoseinälle, kylmätilan seinällä ei tällaista kautta ole. Tärkeimpiä tekijöitä ovat seuraavat:



Kuva 13.47 Profili, jossa jäykistävät urat. Sopii käyttöön, kun kattotuolin etäisyys noin 6–7 m.



Kuva 13.48 Kaksiaukkoinen malli.



Kuva 13.49 Gerber-liitos.



Kuva 13.50 Momenttijäykkä limiliitos.

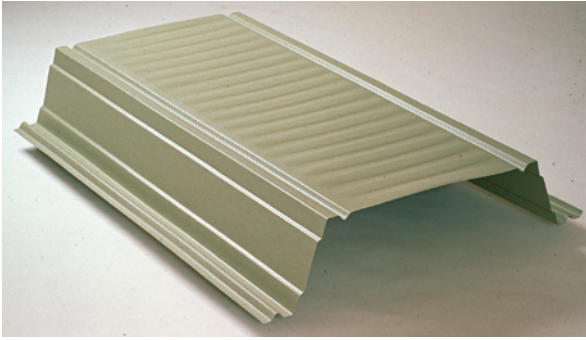
1. Ilmastoinnin on oltava sellainen, että seinän sisäpuolella olevan kuivan kylmän ilman ilmanpaine on korkeampi kuin seinän ulkopuolella olevan lämpimän, kostean ilman ilmanpaine. Näin kosteutta estetään pääsemästä seinään. Tämä saadaan aikaan käyttämällä ylipainetuu-letusta ja sijoittamalla venttiilit kattoon, koska kylmä ilma kuumaa ilmaa raskaampaa.
2. Seinän täytyy olla tiivis. Detaljien valmistuksen ja kiinnittämisen täytyy tapahtua huolellisesti, niin ettei seinään jää reikiä tai rakoja.

Turvamarginaali on suurempi käytettäessä paneeleja, joissa on EPS-ydin, koska EPS ei sido kosteutta yhtä helposti kuin mineraalivilla. Jos kohdat 1 ja 2 ovat kunnossa, voidaan kuitenkin käyttää myös mineraalivillaa.

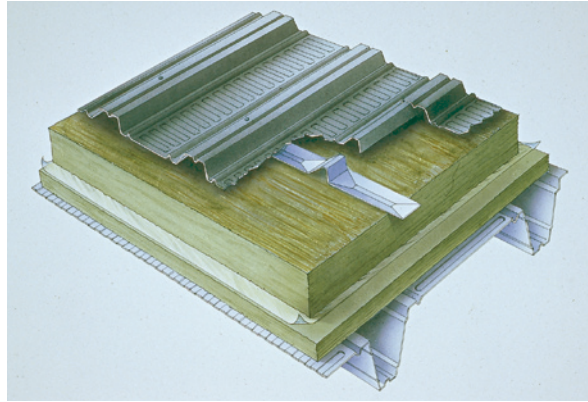
Koska EPS-ydin on lisäksi halvempi ja eristää paremmin, ei ole yllättävää, että se on yleisin kylmätiloissa käytetty eristemateriaali.

Ulkonäkö ja estetiikka

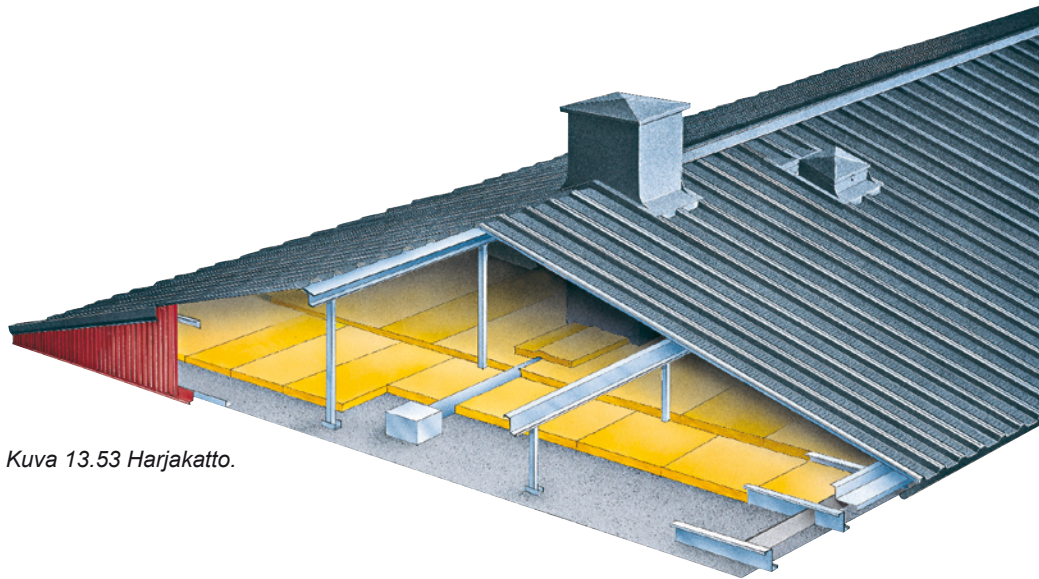
Paneelit tarjoavat erinomaiset mahdollisuudet rakentaa kauniita, mielenkiintoisia taloja. Jotta julkisivuista voidaan tehdä erilaisia, valittavissa on erilaisia kuvioita ja liitosvaihtoehtoja. Paneelit voidaan asentaa niin, että ne seisovat tai nojaavat. Standardivärien määrä on suuri, ja erikoisvärejä on saatavissa lähes rajoittamaton määrä. Paneelien väliset liitokset voidaan peittää huomaamattomilla



Kuva 13.51 Profili jopa 12 metrin jänneväliin.



Kuva 13.52 Kaksinkertainen peltikatto, ns. TOR-katto.



Kuva 13.53 Harjakatto.

tai selvästi erottuvilla pilastereilla. Myös erilaisia kulmia on saatavissa (ks. esimerkiksi kuvassa 13.46 näkyvä pyöristetty kulma). Eri vaihtoehtoja voidaan yhdistellä alumiini-ikkunoiden ja muiden levyprofiilien kanssa.

13.5.2 Hallirakennusten katot

Kattotuolissa voidaan käyttää profiloitua levyä. Etelä-Ruotsissa leveys voi olla jopa noin 7,5 metriä ja Pohjois-Ruotsissa 6 metriä (ks. kuva 13.47). Profiilin korkeus on 100 mm tai enemmän. Tavallisin on kuvan 13.48 mukainen kaksilokeroinen malli. Se mahdollistaa rationaalisen asennuksen ja jatkuvuuden ansiosta pienen taipuman. Suurin rasitus kohdistuu välitukeen, jossa sekä tukivoima ja momentti saavuttavat maksimitasonsa. Tietyntyyppisissä levyissä on otettu käyttöön tukinauha (ks. kuva 13.21), joka poistaa tukireaktion vaikutuksen siten, että profiili on nauhan varassa. Gerber-liitos (ks. kuva 13.49) jakaa taivutusmomentin taloudellisimmalla tavalla, mutta liitoksen keskikohtaan tarvitaan ylimääräisiä ruuveja. Momenttijäykät limiliitokset (ks. kuva 13.50) pienentävät enimmäismomenttia lisää. Limittäisyys lisää kuitenkin levyn pituutta.

Suurissa jänneväleissä (jopa 10–12 metriä) voidaan käyttää suurimpia profiileja, ns. korkeaprofiileja. Kuvassa 13.51 näkyvän profiilin leveä ylälaippa on varustettu poikittaisurilla astumisen varalta.

Suurissa jänneväleissä voidaan käyttää myös Z-tukia. Ne asennetaan normaalisti niin, että c-etäisyys on 2–4 metriä, ja päällystetään profiloidulla levyllä, jonka korkeus on 20–70 mm kuormasta ja jännevälistä riippuen.

Levyn yläpuolelle voidaan tämän jälkeen pystyttää eristetty katto. Tiivistekerros voi muodostua tiivistepahvista, jota on ladottu yhteen, kahteen tai kolmeen kerrokseen, tai PVC-liinasta. Tiivistekerroksen alla on suhteellisen painava ja jäykkä kivivillaeristys. Se ruuvataan läpikulkevilla ruuveilla upotettuun muovikoteloon tai peltialuslevy käyttäen kantavaan levyyn. Ruuvit sijoitetaan pintakerroksen liimattuihin limiliitoksiin, ja näin ylin kerros peittää ne.

Pintakerros voi muodostua myös katonlappen suuntaisesta profiloidusta levystä. Ns. TOR-katossa (ks. kuva 13.52) levy on kiinnitetty profiilin pästä profiloituun kiinnitysnauhaan, joka on puolestaan ruuvattu läpikulkevilla ruuveilla alustaan. Katon kaltevuuden tarvitsee olla vain 1:16. Eriste voi olla hieman kevyempää ja halvempaa, koska pintakerroksena toimiva levy jakaa pistekuormaa (esimerkiksi kävelystä aiheutuvaa kuormaa) paremmin kuin tiivistepahvi tai PVC-liina.

Hallien katoissa voidaan käyttää myös sandwich-paneelleja. Paneelit asetetaan katon lappen suuntaisesti orsien päälle. Jänneväli on tavallisesti 3–4 metriä. Orsien ylälaipat



Kuva 13.54 Ohutlevystä valmistettu julkisivu.

jäykistetään vain sivuilta niistä kohdista, joista paneelit liitetään yhteen ja joihin tulee kiinnitykset, mikä on otettava huomioon orsien mitoituksen yhteydessä. Paneelien liitoksissa käytetään esimerkiksi kyntteitä.

13.5.3 Harjakatot

Asuin- ja toimistorakennuksiin kannattaa valita katoksi yläpohjan päälle harjakatto. Kylmämuokatuista profileista (esimerkiksi C-profileista) valmistetut pilarit asetetaan olemassa olevan välipohjan päälle. Pilareihin kiinnitetään samansuuntaisesti räystään kanssa Z-profiilit, jotka on sovitettu katon kaltevuuteen sopiviksi (ks. kuva 13.53). Z-profiilien väliseksi etäisyydeksi valitaan tavallisesti 2,5–3 metriä. Z-profileihin asennetaan profiloitu levy. Epäsuotuisissa olosuhteissa, kun kylmä peltipinta jäähdyttää kostean ilman, levyn alapuolelle voi pudota kondensoitunutta vettä. Tästä aiheutuvien ongelmien välttämiseksi kattopellin sisäpuoli varustetaan adsorboivalla päällysteellä valmistusvaiheessa. Tiivistynyt vesi jää päällysteeseen, kunnes olosuhteet muuttuvat suotuisammiksi ja se pääsee kuivumaan. Jotta päällyste ehtii kuivua ennen seuraavaa kostumista, tuuletuksen on oltava hyvä. On myös tärkeää, että yläpohja on niin tiivis, ettei sisäilma, jonka kosteuspitoisuus on korkea, voi vuotaa läpi ja nostaa näin ilman kosteuspitoisuutta.

13.5.4 Julkisivut

Levy on erittäin hyvä julkisivumateriaali. Oikealla perusmateriaalilla ja päällysteellä sen elinkaari on pitkä ja ylläpitokustannukset matalat. Rakennusteknisestä näkökulmasta levy toimii hyvin julkisivun tuulettuna pintakerroksena. Levyn muotoa ja väriä voidaan vaihdella loputtomiin. Eri-tyyppisiä julkisivukasetteja voidaan yhdistää profiloituun levyyn, ja näin voidaan rakentaa kauniita julkisivuja (ks. kuva 13.54). Esimerkkejä julkisivujen suunnittelusta annetaan viitteessä [4] ja levyntoimittajien esitteissä.

On kuitenkin tärkeää kiinnittää huomiota myös levyjulkisivun rakenteeseen ja rakennustapaan. Jos detaljisuunnittelu ei ole asianmukaista ja työ on tehty huolimattomasti, julkisivusta voi tulla hyvin ikävän näköinen. Esimerkiksi epäasianmukaisesti ja epätasaisesti sijoitetut ruuvit voivat pilata julkisivun, ja levyn limiliitos voi aiheuttaa likajuovia.

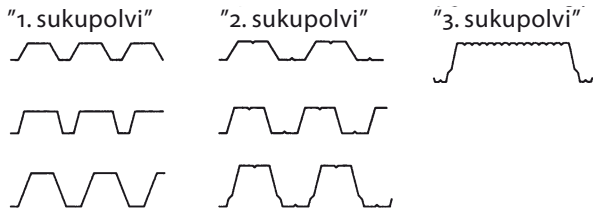
Lisäksi peltilevy on melko arka iskuille. Alttiina olevia julkisivupintoja, joita on esimerkiksi sisäänkäyntien yhteydessä, ei saa tehdä jäykistämättömästä levystä.

13.5.5 Kevyet välipohjat

Ohutlevyä voidaan käyttää kevyissä välipohjissa monin eri tavoin. Kuvassa 13.55 näkyy esimerkki esivalmistetusta välipohjajaelementistä. Elementti on 1,2 metriä leveä, ja sen kummallakin puolella on kantava C-tuki. Tuet on ruuvattu päistä poikittaisiin Z-profileihin, jotka voidaan ripustaa kantavaan runkoon. Tukien yläpuolelle on ruuvattu kiinni noin 45 mm korkea profiili, joka on päällystetty kahdella levyllä. Nämä voidaan ruuvata paikoilleen tai liimata sitkeällä liimalla, joka vähentää värähtelyä ja estää näin äänen



Kuva 13.55 Esivalmistettu kevyt välipohjajaelementti.



Kuva 13.56 Kantavan poimulevyn kehitys.

kulkeutumista. C-profiilien alalaippojen poikki on ruuvattu poikittaiset tuet niin, että ne ovat pehmeästi tuetut. Pehmeä tuenta vähentää äänen kulkeutumista. Alakatto muodostuu yhdestä tai useammasta levystä, jotka on ruuvattu kiinni näihin tukiin. Välipohjassa on äänieristyksen vuoksi mineraalivillaeristys. Vastaavia tai samankaltaisia konstruktioita voidaan rakentaa myös paikan päällä.

Maksimaalista jänneväliä ei rajoita normaalisti kantokyky vaan värähtely, ja se on usein 4–6 metriä suoritustavasta ja eri vaatimuksista riippuen. Kevyet rakenteet alkavat värähdellä herkemmin kuin raskaat rakenteet. Lattian mukavuus riippuu siitä, kuinka helposti lattia alkaa värähdellä ja kuinka voimakkaasti värähtely vaimennetaan. Tällä hetkellä alalla tehdään intensiivistä tutkimustyötä, jolla pyritään kehittämään kevyitä, mukavia lattiaita ja antamaan sopivat raja-arvot.

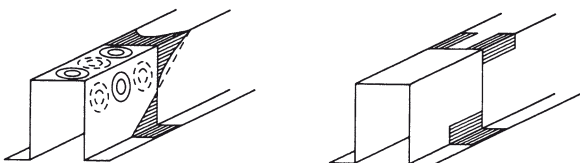
Äänieristyksen osalta välipohja toimii erittäin hyvin lukuun ottamatta kaikkein matalimpia frekvenssejä. Alalla tehdään parhaillaan myös tutkimusta, joka koskee kevyihin välipohjiin liittyviä melukysymyksiä.

Kevyitä palkkeja käytetään tällä hetkellä ensisijaisesti omakotitalojen ja keskikerrosten välipohjissa ja rakennettaessa lisärakennelmia olemassa oleviin taloihin [7], joissa runko ei kannata raskasta välipohjaa tai joissa betonin käyttäminen olisi vaikeaa. Teollistuneessa rakennusprosessissa ohutlevyvalmisteisiin kevyihin välipohjiin liittyy kuitenkin suuria hyötyjä, ja niiden käyttö lisääntyy varmasti sitä mukaa kuin ne kehittyvät.

13.6 RAKENNE

13.6.1 Murtumisilmiö

Leveät, jäykistämättömät ohutlevypinnat kestävät erityisen huonosti puristusvoimia, jotka voivat aiheuttaa lommahtamista, sekä plastisoituneita jännityksiä, jotka kohdistuvat suorakulmaisesti levyyn ja kulmiin. Lisäksi ohutlevy vääntyy herkästi.



Kuva 13.57 Tehollinen poikkileikkaus.

Suuri askel, jolla parannettiin ohutlevyn kantokykyä selvästi, oli jäykistävien urien käyttöönotto (ks. kuva 13.56). Niiden ansiosta levy kestää huomattavasti enemmän puristusvoimaa lommahtamatta. Uritettuja profiileita voidaan muokata rullamuovaustekniikalla yhtä nopeasti kuin urattomia profiileja, minkä vuoksi uritetut profiilit ovat hyvin edullisia. Uritetussa profiilissa voidaan säästää materiaalia jopa 40 prosentti kantokyvyltään vastaavaan urattoomaan profiiliin verrattuna.

Tukien yhteyteen syntyy keskitettyjä kuormia. Yksi tapa välttää ne on käyttää erityistä tukinauhaa. Profiili on tukinauhan varassa vedetyistä osistaan, mikä poistaa keskittyneet puristusvoimat. Levyprofiilista voidaan tehdä ohuempi, mikä on otettava huomioon nauhan kustannuksia laskettaessa.

Tuilla profiiliin kohdistuu pistemäisiä tukivoimia. Yksi tapa välttää tuen rasituksia on käyttää erillisiä tukipaloja. Tukipala on samasta profiilista tehty lyhyt nauha, jonka vaikutuksesta tuen aiheuttamat puristusjännitykset jakautuvat tasaisemmin. Ohutlevyprofiili voidaan näin ollen tehdä ohuempana, mistä voidaan saada joissakin tapauksissa taloudellista hyötyä.

13.6.2 Mitoitus

Viitteessä [8] annetaan ohjeita kylmämuokattujen ohutlevyprofiilien mitoitus varten. Erityisen tunnusomaista tämäntyyppisille profiileille on niiden taipumus paikallisille lommahduksille. Tämä otetaan laskennallisesti huomioon ottamalla käyttöön ns. tehollinen poikkileikkaus. Tavoitteena on luoda yksinkertainen laskentamalli kapasiteetin määrittämiseksi. Kuvassa 13.57 näkyy tätä koskeva periaate. Lommahdusta käsitellään luvussa 16. Mitoitus

Sen jälkeen, kun tehollinen poikkileikkaus on otettu käyttöön, voidaan määrittää kapasiteetti. Laskentamenetelmä on periaatteessa sama kuin tavallisten valssattujen tankojen kohdalla. StBK-N5 -normin [8] ja BSK-määräysten [9] välinen ero liittyy siihen, kuinka paikallinen lommahdus otetaan huomioon. StBK-N5-normissa tehollinen poikkileikkaus riippuu tehollisista leveyksistä, kun taas BSK-määräyksissä käytetään tehollisia paksuuksia.

Viitteessä [2] selvitetään, kuinka tehollinen poikkileikkaus ja kapasiteetit määritetään. Rakentajan tarvitsee tehdä tällaista työtä harvoin. Ohutlevyvalmistajat antavat nämä arvot profiilitaulukoissa ja tietokoneohjelmissa. Tämä yksinkertaistaa mitoitus työtä. Ensinnäkin valitaan sopiva profiili ja tämän jälkeen tarkistetaan taulukosta tai tietokoneohjelmalla, että kantokyky on kuormitusta suurempi. Mitoituksen yhteydessä on tärkeää muistaa, että ohutlevy kestää huonosti pistekuormitusta.

13.7 TULEVA KEHITYS

13.7.1 Olemassa olevien tuotteiden kehitys

Ohutlevytekniikkaa on kehitetty paljon viime vuosikymmenten aikana. Laskentamenetelmät ja tuotantovälineet ovat kehittyneet. Monien edellä kuvattujen tuotteiden kohdalla on saavutettu suunnittelutaso, jonka voidaan sanoa olevan optimaalinen. Parempi tuotantolaitteisto tekee tuotannosta edullisempaa, parantaa toleransseja ja mahdollistaa sellaisten tuotteiden valmistamisen, joilla on monta käyttöfunktiota (ks. kappale 13.1). Esivalmistusastetta voidaan lisätä, jotta asennus rakennustyömaalla helpottuu. Materiaalien laatu voi kehittyä jonkin verran. Päälysteet voivat kehittyä. Kiinnitysmenetelmien voidaan odottaa kehittyvän osittain siksi, että saadaan uusia kiinnityselementtejä, ja osittain siksi, että mekaanista liitosta, jossa ei käytetä kiinnityselementtejä, kehitetään entisestään.

13.7.2 Uudet tuotteet

Ohutlevytuotteiden tulevassa kehityksessä tulee todennäköisesti jakautumaan kahteen eri suuntaan.

- Paremmat materiaalit ja laitteistot tarjoavat mahdollisuuden käyttää ohutlevytekniikkaa karkeampien profiilien kylmämuokkauksessa, millä voidaan korvata kuumavalssatut profiilit (ks. kappale 3.6). Tästä koituu suuria etuja. Nauhalevyä valssattaessa mahdollisuudet ohjata valssausprosessia ovat paljon paremmat tangon valssaukseen verrattuna, ja näin voidaan kehittää parempia materiaalilaatuja halvemmalla. Lisäksi profiilien kylmämuokkaukseen tarvittavat laitteet ovat huomattavasti halvempia kuin kuumavalssauslaitteet. Tuotantoprosessi on nopea. Reiät on helppo stanssata materiaaliin ennen muovausta. Tietyn mittaisia profiileja on helpompaa valmistaa nopeasti ja portaattomasti säädettävillä rullamuovauslaitteilla tai särmäyslaitteilla.
- Liittorakenteet kehittyvät entisestään. Yhteisvaikutusta voidaan hyödyntää entistä paremmin, ja sen avulla voidaan kehittää ääni- ja paloeristettyjä, jäykistettyjä elementtejä, joita voidaan käyttää seinissä, katoissa ja välipohjissa.

KIRJALLISUUTTA

- [1] Ahlenius E., Sandwichkonstruktioner, Publikation 111, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1988)
- [2] Handboken BYGG, band K, Konstruktionsteknik, Liber förlag, Tukholma (1986)
- [3] Elmroth A., Energisnåla stålhallar, Publikation 95, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1985)
- [4] Krakenberger A-B, et al. Plåt i arkitekturen, Byggnadsforskningsrådet, Tukholma (1992)
- [5] Olsson S., Svikt, svängningar & styvhet hos bjälklag – Dimensioneringsmetoder, Publikation T20:1984, Byggnadsforskningsrådet, Tukholma (1984)
- [6] Gyproc Handbok, Gyproc AB
- [7] Ombyggnader i stål, Publikation 136, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1992)
- [8] StBK-N5 – Norm för tunnplåtskonstruktioner, Statens Stålbyggnadskommitté, AB Svensk Byggtjänst, Tukholma (1980)
- [9] BSK – Bestämmelser för stålkonstruktioner, Statens Planverk och AB Svensk Byggtjänst, Tukholma (1987)
- [10] Tengberg, C. S., Handbok för ytterväggar – Lättbyggnad med stål, Publikation 180, SBI, Tukholma (2004)
- [11] Höglund, T., Johansson, B., Fästdon och förband i stålkonstruktioner, Publikation 172, SBI, Tukholma (2001)

TEKIJÄT

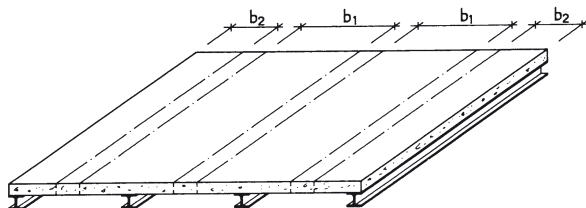
Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen on kirjoittanut Jan Strömberg (Plannja). Hän on myös uudistanut tämän painoksen kappaleen.



Liittorakenne välipohjassa.

14. LIITTORAKENTEET

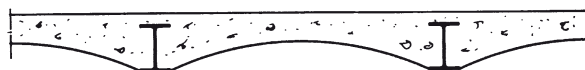
Liittorakenteissa yhdistetään eri osia, ja tarkoituksena on, että ne toimisivat yhdessä yhtenä yksikkönä. Esimerkkinä voidaan mainita teräspalkki, joka toimii yhdessä betonilaatan kanssa. Tätä kutsutaan liittopalkiksi (ks. kuva 14.1) Eri materiaalien ominaisuuksia hyödynnetään mahdollisimman edullisella tavalla. Betonilaattaa hyödynnetään taiputuksessa niin, että se ottaa vastaan puristusjännityksen ja teräspalkki vetojännityksen. Yhteisvaikutus säilytetään siirtämällä teräspalkin ja betonilaatan välisiä leikkausvoimia. Tämä saadaan aikaan leikkausliitoksen avulla. Liittopalkissa se tehdään tavallisesti käyttämällä pultteja, joiden päät hitsataan kiinni palkkiin (ns. vaarnatappi, englanniksi *stud*).



Kuva 14.1 Liittopalkki välipohjassa.

Jos rakenteessa hyödynnetään yhteisvaikutusta, sen kantokyky voi kasvaa samalla kun teräksen paino pienenee. Tämä mahdollistaa matalat rakennekorkeudet. Näin saadaan jäykempi rakenne, mikä merkitsee taipumien pienemistä. Yhteisvaikutuksen hyödyntäminen rakentamisessa mahdollistaa korkeamman esivalmistusasteen, jolloin voidaan käyttää suuressa määrin esivalmistettuja komponentteja.

Liittorakenteet ovat kehittyneet samaan aikaan kuin lujitettu betoni ja lujitettu muuraus ovat kehittyneet. Varhaisimpia sovelluksia, joissa teräspalkit valettiin yhteen betonilevyllä, olivat välipohjat, joita tehtiin Ruotsissa viime vuosisadan vaiheessa (ks. kuva 14.2). Näissä välipohjissa ei kuitenkaan huomioitu rakenteen yhteisvaikutusta, vaikka sitä niissä ilmenikin.



Kuva 14.2 Välipohjakonstruktion vuosisadan vaihteesta.

1950- ja 1960-luvuilla monissa maissa, etenkin Yhdysvalloissa, alalla tehtiin runsaasti tutkimusta. Yhdysvalloissa liittorakenteiden käyttö siltarakenteissa hyväksyttiin jo 1950-luvun lopussa ja runkorakenteissa 1960-luvun lopussa. Ruotsissa liittorakenteita on alettu käyttää enemmän 1980-luvulta lähtien etenkin silloissa (ks. kappale 7).

14.1 ERI LIITTORAKENNETYYPPEJÄ

Kuvassa 14.3 näkyy työn alla oleva välipohja. Siinä kantavassa rakenteessa käytetään liittopalkkeja. Tämä on tavallinen liittorakenteen muoto. Kuvassa 14.3 teräspalkin ja betonilaatan välinen liitos tehdään käyttämällä hitsattua pulttia.

Liittopalkkeja käytetään myös silloissa (ks. kuva 14.4). Ruotsin tielaitoksen Bro 2004 -julkaisun mukaan teräspalkkisiltojen, joissa on betoninen ajorata, täytyy olla liittopalkkisiltoja. Myös tässä tapauksessa liitoksissa käytetään hitsattuja pultteja.



Kuva 14.3 Työn alla oleva välipohja. Liittopalkit kuuluvat kantavaan rakenteeseen.

Kolmantena esimerkkinä liittorakenteista voidaan mainita liittövälipohjat. Ne muodostuvat profiloidusta levystä, joka vaikuttaa yhdessä betonin kanssa. Kuvassa 14.5 näkyy työn alla oleva välipohja. Levyt ovat keveitä, ja siksi niiden asentaminen on helppoa. Ne toimivat valamisen yhteydessä muottina ja valmiissa rakenteessa vahvikkeena

(ks. kuva 14.6). Liittovaikutuksen mahdollistaa profiloitin muotoilu, joka synnyttää mekaanisen liitoksen levyn ja betonin välille.

Myös liittopilari on rakenne, jossa teräs ja betoni ovat yhteisvaikutuksessa (ks. kuva 14.7). Kantokykyä voidaan

Kuva 14.4 Rautatien yli kulkeva liittopalkkisilta. Silta muodostuu hitsatuista teräspalkeista, jotka toimivat yhteisvaikutuksessa betonisen sillankannen kanssa.





Kuva 14.5 Liittovälipohja. Levyn asennus.

kasvattaa valamalla betoni teräspilarin sisään tai ympärille. Leikkausliitos voidaan tehdä hitsattuja pultteja käyttäen, mutta joissakin tapauksissa voidaan myös hyödyntää teräksen ja betonin välistä tarttuvuutta. Jos teräsprofiili on valettu betoniin, betoni suojaa sitä hyvin tulipalolta. Tämä mahdollistaa myös yksinkertaiset liitokset pilarien ja palkkien välillä, kun betonilla voi toisinaan korvata esimerkiksi pilarin jäykisteet.

Täysin toisenlaista liittorakennetyyppiä löytyy kevytrakenteista, joissa käytetään esimerkiksi ohutlevyä yhteisvaikutuksessa erilaisten levymateriaalinen kanssa. Tämän tyyppisiä rakenteita käytetään esimerkiksi seinissä ja välipohjarakenteissa (ks. lisätietoja kappaleesta 6).

Seuraavassa kuvataan tavallisimpia liittorakennetyyppejä eli liittopalkkeja, liittovälipohjia ja liittopilareita. Näiden rakennetyyppien suunnittelu ja mitoitus koskevat säännöt löytyvät eurokoodista 4-1-1 [1]. Se sisältää yleisiä sääntöjä ja



Kuva 14.6 Liittorakenteessa levy toimii muottina valamisen yhteydessä ja vahvisteena valmiissa konstruktiossa.

rakennuksiin sovellettavia erityissääntöjä. Liittopalkkisiltoja koskevia erityissääntöjä löytyy eurokoodista 4-2 [2] ja palomitoitusta koskevia sääntöjä eurokoodista 4-1-2 [3].

14.2 LIITTOPALKIT

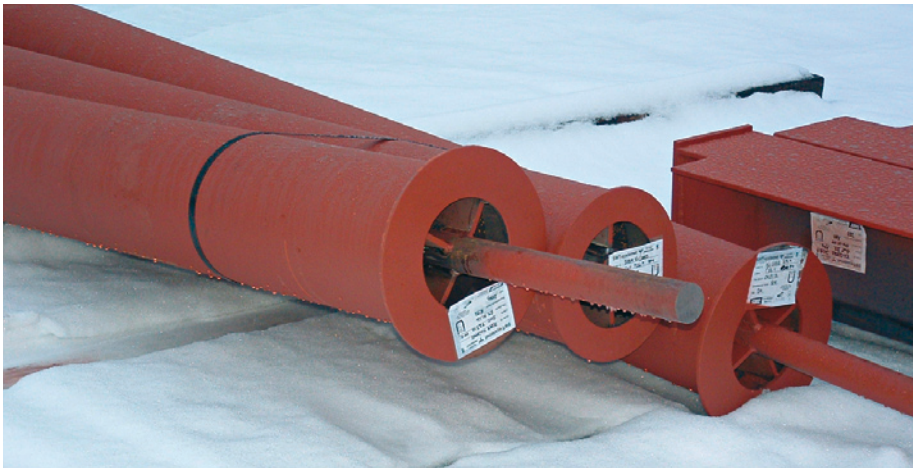
14.2.1 Suunnittelu

Liittopalkkeja käytetään välipohjissa, silloissa jne. Betonilaatta ottaa vastaan puristusjännityksen ja teräspalkki vetojännityksen. Rakenteen kantokyky ja jäykkyys kasvavat, ja samalla teräksen paino vähenee ja konstruktion korkeutta voidaan madaltaa.

Teräspalkki voidaan sijoittaa kokonaan tai osittain betonilaatan alle tai kokonaan sen sisään. Kuvissa 14.8 ja 14.9 näkyy erilaisia liittopalkkeja. Valumuottina voidaan käyttää paikoilleen jäävää muottia tai purettavaa muottia. Paikoilleen jäävä muotti on ohutlevyä. Sitä voidaan käyttää ainoastaan muottina, joka saa jäädä paikoilleen (ns. "itsekantava muotti") tai joka voi olla osa liittovälipohjaa (ks. kuva 14.10). Purettava muotti voidaan tehdä jonkinlaisesta muotopalkista ja muotolevyistä (ks. kuva 14.11). Teräspalkki voidaan myös yhdistää esivalmistettuihin betonielementteihin (esimerkiksi kuorilaattavälipohjiin ja ontelolaattoihin).

14.2.2 Staattinen vaikutustapa

Kahden kantavan rakenne-elementin välinen yhteisvaikutus muodostuu, kun ne kiinnitetään toisiinsa. Leikkausliitoksesta riippuu, minkä asteinen yhteisvaikutus syntyy. Yhteisvaikutuksen havainnollistamiseksi tarkastellaan palkkia, joka muodostuu kahdesta samanlaisesta osapalkista ja johon kohdistuu tasaisesti jaettu kuorma (ks. kuva 14.12). Tämä ei ole mikään tavallinen liittorakenne, vaan palkit toimivat tässä tapauksessa vain esimerkkinä vaikutustavan kuvaamiseksi. On hyvin tärkeää, että leikkausvoiman siirto tehdään oikealla tavalla, jotta konstruktion syntyisi yhteisvaikutus.



Kuva 14.7 Esimerkki liittopilarista.

Palkkeja tarkastellaan elastisessa tilassa, toisin sanoen myötörajaa ei missään vaiheessa ylitetä. Oletetaan ensinnäkin, ettei osapalkkien välillä ole yhteisvaikutusta, ja jätetään samalla huomiotta rajapinnan kitkan vaikutus. Molemmat palkit taipuvat alaspäin yhtä paljon ja kantavat näin ollen molemmat puolet kuormasta (ks. kuva 14.13). Rajapinnalla osapalkit liukuvat suhteessa toisiinsa. Syntyy horisontaalinen liukuma, joka on tässä tapauksessa suurin tuen kohdalla ja nolla keskikohdassa (ks. kuva 14.14).

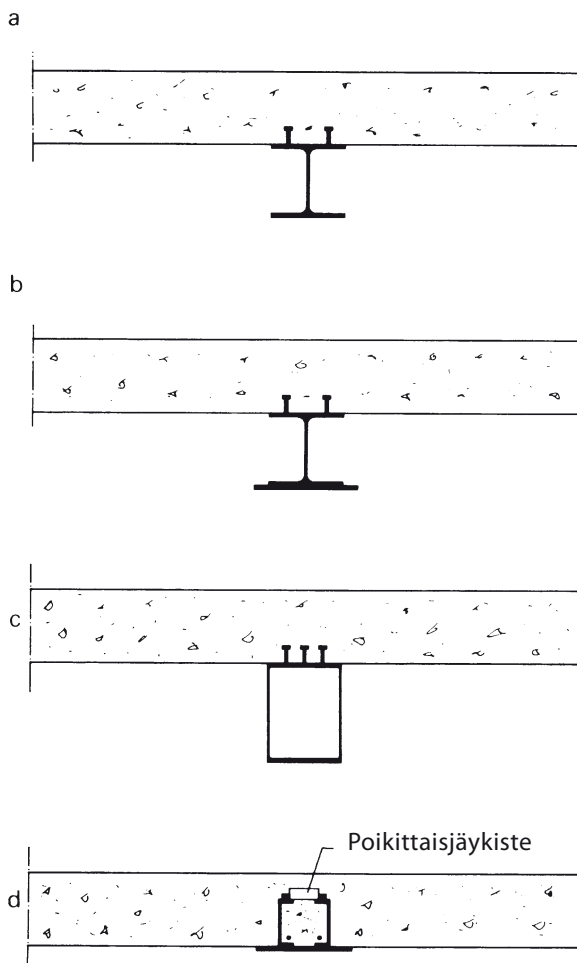
Täydellisessä yhteisvaikutuksessa osapalkkien välillä ei tapahdu liukumista. Leikkausliitos siirtää muodostuvat horisontaaliset leikkausvoimat. Palkit toimivat yhtenä yksik-

könä, ja taivutusjännitys jakautuu kuvan 14.15 mukaisesti. Kuvan 14.16 taulukossa molempia yllä olevia tapauksia vertaillaan maksimaalisen taivutusjännityksen, leikkausjännityksen ja keskikohdan taipuman suhteen. Tässä esimerkissä täydellinen yhteisvaikutus vähentää suurinta taivutusjännitystä puoleen ja taipumaa neljäsosaan. Leikkausjännityksen jakautuminen muuttuu, mutta arvo pysyy samana.

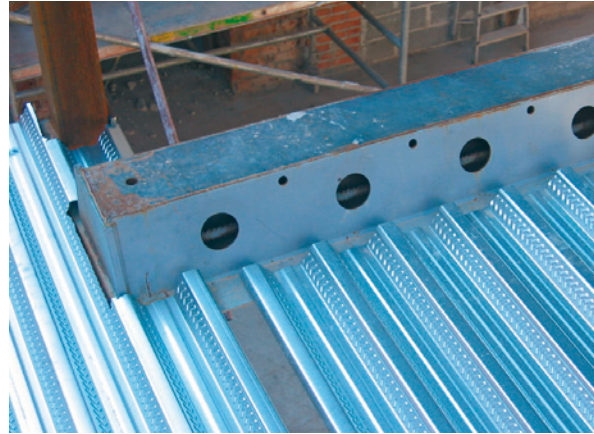
Jos rakenteen osien välillä on osittaista yhteisvaikutusta, kantokyky alenee: puhutaan osittaisesta tai epätäydellisestä yhteisvaikutuksesta. Se, minkä asteiseksi yhteisvaikutus kehittyy, riippuu leikkausliitoksesta. Mitä korkeampi yhteisvaikutusaste syntyy, sitä suurempi on palkin momenttikapasiteetti ja jäykkyys. Usein epätäydellisen yhteisvaikutuksen hyödyntäminen voi olla taloudellisesti kannattavaa. Täydelliseen yhteisvaikutukseen verrattuna saadaan pienemmällä määrällä hitsauspultteja ja pienemmin kustannuksin usein kantokyvyltään riittävä palkki. Kuvassa 14.17 näkyy venymän jakautuminen erilaisissa liittopalkkeissa (täydellinen yhteisvaikutus, epätäydellinen yhteisvaikutus, ei yhteisvaikutusta). Epätäydellisen liittovaikutuksen yhteydessä hitsatuissa pulteissa ilmenee plastisia muodonmuutoksia. Jotta muodonmuutuskapasiteettia ei ylitetä, eurokoodissa 4-1-1 annetaan tiettyjä rajoituksia epätäydellisen yhteisvaikutuksen käytön suhteen.

Teräspalkin ja betonilaatan välillä syntyvät horisontaaliset leikkausvoimat on siirrettävä, jotta rakenne toimii yhteisvaikutuksessa (ks. kuva 14.18). Vaikka laatan ja palkin välinen tarttuvuus voi olla varsin hyvä, siihen ei voi luottaa. Se voi vähentyä merkittävästi esimerkiksi betonin kutistumisen myötä. Lisäksi katsotaan, ettei laatan ja palkin väliseen kitkavoimaan kannata luottaa.

Yhteisvaikutuksen varmistamiseksi teräspalkkiin on siis asennettava mekaanisia liittimiä. Ne siirtävät horisontaalisen leikkausvuon betonilaatan ja teräspalkin välillä ja



Kuva 14.8 Erilaisia liittopalkkeja. a) Valssattu palkki. b) Valssattu palkki aluslevyn päällä. c) Hitsattu kotelo-profiili. d) Hitsattu matalapalkki, jonka ylälaipassa on aukkoja. Matalapalkki täytetään betonilla valamisen yhteydessä, ja näin betoni antaa sille hyvän palosuojan.

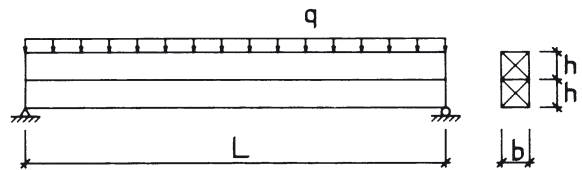


Kuva 14.9 Hitsattu matalapalkki liittopalkkina. a) SWT-palkki. b) Deltapalkki ja liittolevy.

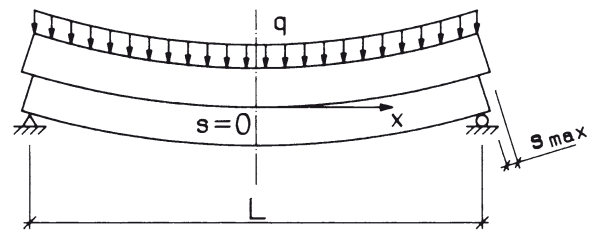
estävät niiden vertikaalisen irtaantumisen. Kaksi sopivaa liittintyyppiä ovat hitsattu pultti ja leikkaussanka. Ne voivat ottaa vastaan voimia useammassa kuin yhdessä suunnassa ja estävät lisäksi teräspalkin ja betonilaatan vertikaalisen erkanemisen – kunhan liitokseen ei kohdistu suurta vetovoimaa. Molemmat mahdollistavat nopean ja helpon asentamisen.

Kuvassa 14.19 näkyy hitsattu pultti. Se hitsataan teräspalkkiin erityisellä pistoolilla (ks. kuva 14.20). Tämä voidaan tehdä joko konepajalla tai rakennuspaikalla. Hitsattu pultti voidaan hitsata liittovälipohjan ohutlevyn läpi.

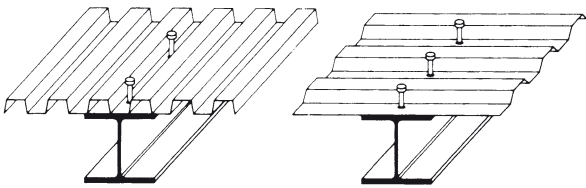
Toinen vaihtoehto hitsauspultille on leikkaussanka. Leikkaussanka työnnetään kiinni teräspalkkiin, joten sääolosuhteet ja sähkövirran saatavuus eivät vaikuta sen kiinnittämiseen.



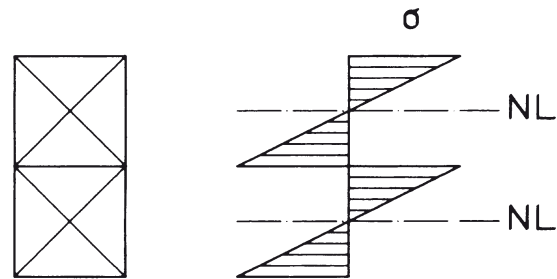
Kuva 14.12 Identtisistä osapalkeista koostuva palkki.



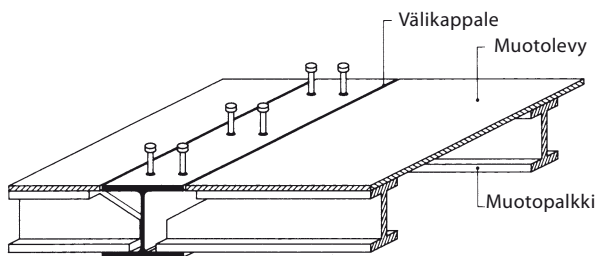
Kuva 14.13 Liukuma (s) sellaisen palkin rajapinnassa, joka ei toimi yhteisvaikutuksessa.



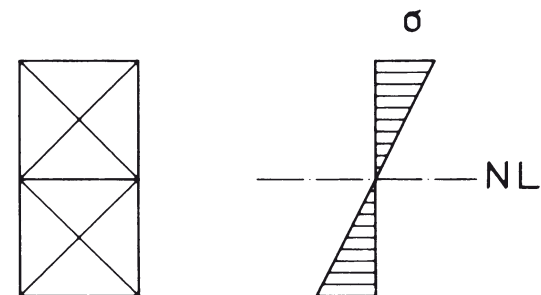
Kuva 14.10 Ohutlevystä valmistettu paikoilleen jäävä valumuotti. Ohutlevy voidaan asettaa samansuuntaisesti kuin teräspalkki tai vinoon suorakulmaisesti. Ohutlevyprofiili voi toimia "itsekantavana muottina" tai osana liittovälipohjaa.



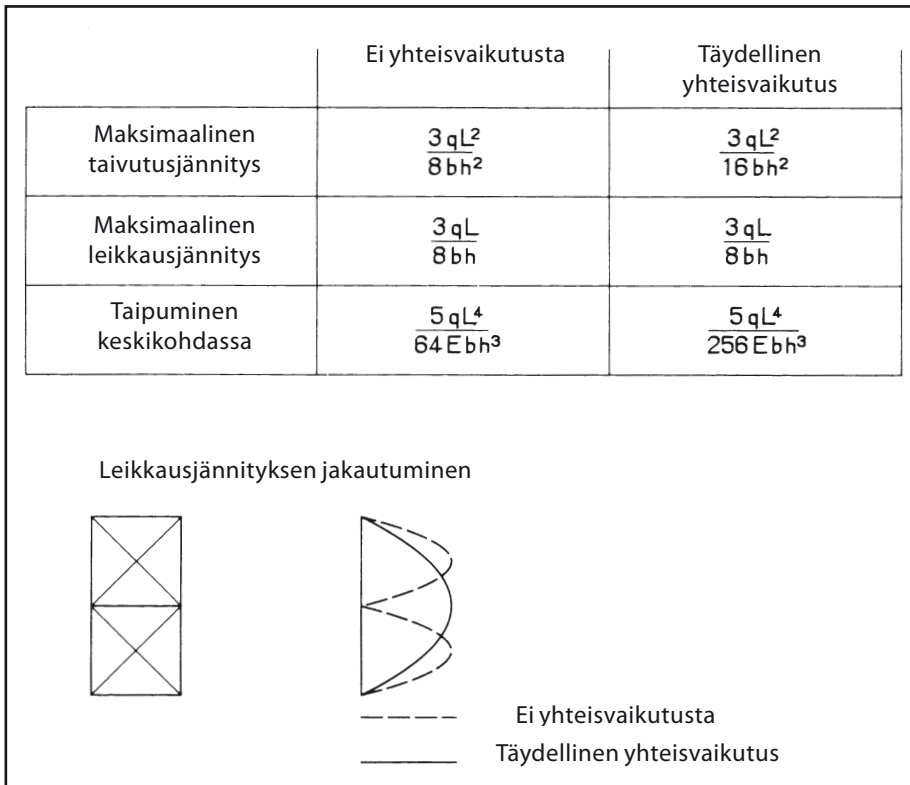
Kuva 14.14 Jännityksen jakautuminen kuvan 14.12 palkissa, jossa ei ole osapalkkien välistä yhteisvaikutusta.



Kuva 14.11 Muotolevyistä ja muotopalkista muodostuvat valumuotti.

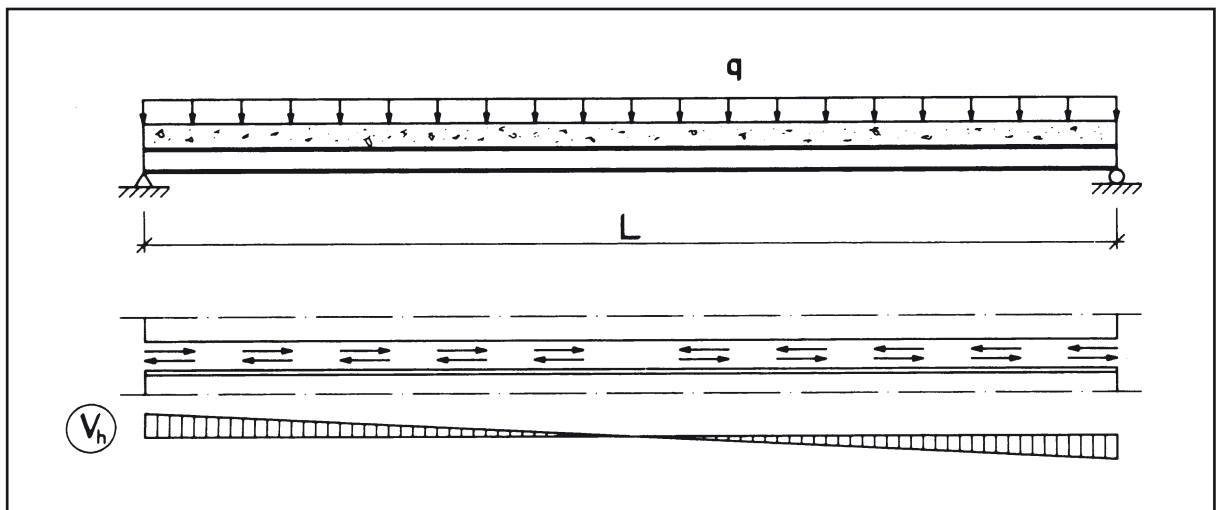
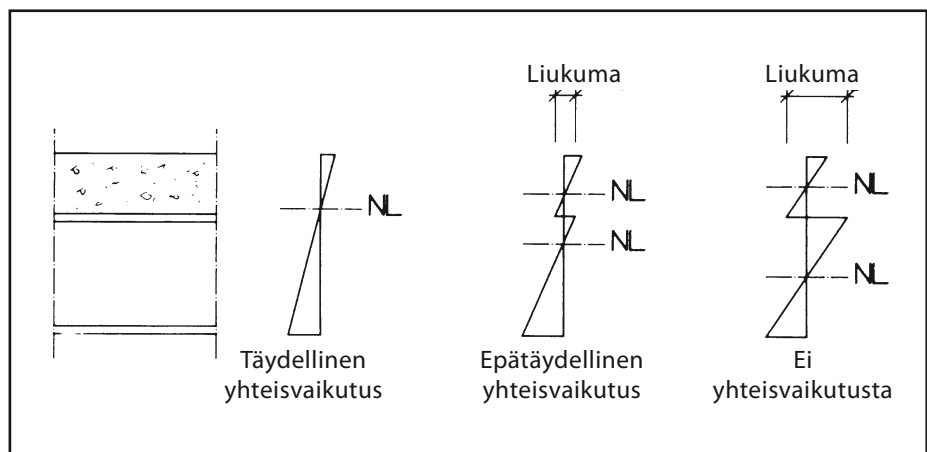


Kuva 14.15 Taivutusjännityksen jakautuminen kuvan 14.14 palkissa, jossa on täydellinen yhteisvaikutus.



Kuva 14.16 Kuvan 14.12 palkkien vertailu (täydellinen yhteisvaikutus, epätäydellinen yhteisvaikutus, ei yhteisvaikutusta).

Kuva 14.17 Venymän jakautuminen liittopalkissa yhteisvaikutuksen asteen mukaan.



Kuva 14.18 Leikkausvuon jakautuminen liittopalkissa, johon kohdistuu tasaisesti jakautunut kuormitus.



Kuva 14.19 Hitsauspultti. Posliinirengas toimii hitsisulan muottina hitsauksen yhteydessä.

14.3 LIITTOVÄLIPOHJA

14.3.1 Suunnittelu

Ensimmäiset liittovälipohjat kehitettiin 1950-luvulla Yhdysvalloissa. Tarkoituksena oli kehittää rationaalinen, paikalleen valettava välipohja, jota käytettäisiin monikerroksisissa teräsrungoissa, esimerkiksi pilvenpiirtäjissä. Tällaista välipohjaa käyttämällä rakentaminen kävi nopeammin ja oli turvallisempaa, kun levy toimi sekä työskentelyalustana, muottina että vahvisteena.

1960-luvun puolivälissä Yhdysvalloissa alettiin tutkia alaa laajemmin, ja samoin tehtiin myöhemmin Euroopassa. Niin profiilit kuin mitoitusmenetelmätkin kehittyivät, kun tavoitteena oli välttää haurasmurtumat betonin ja levyn välisessä liitoksessa.

Tämän päivän rakennustekniikassa profiloitua levyä käytetään

- työskentelyalustana
- stabiloivana levynä (ks. kappale 5, Hallirakennukset), joka ottaa vastaan horisontaaliset kuormat (esimerkiksi tuulen) rakennusvaiheessa
- valumuottina
- alapinnan raudoitteena valmiissa välipohjassa.

Tavalliseen kevyesti vahvistettuun, paikalleen valettuun välipohjaan verrattuna muottirakentaminen helpottaa levyn asentamista (ks. kuva 14.5). Tuennan välttämiseksi pyritään tavallisesti lyhyisiin jänneväleihin.

Korkeimpien profiilien avulla voidaan rakentaa normaalin paksuisia palkkeja käyttämällä jopa 4 metrin jänneväli ilman tuentaa.

Levy työnnetään tai ruuvataan kiinni teräspalkkiin. Jos palkista tehdään samalla liittopalkkia, hitsataan pultti levyn läpi, ja näin saadaan levyn kiinnitys "kaupan päälle".

Jonkinlaista vahvistusta voidaan tarvita, muun muassa jos välipohja on useiden tukien varassa. Tuen yläpuolelle tarvitaan silloin vahviste murtumien jakamista varten. Liittovälipohjan voidaan olettaa olevan palonkestävyydeltään luokkaa REI 30 ilman erityistoimenpiteitä. Mikäli palonkestävyyssajan on oltava pidempi, voidaan tarvita lisävahvistusta.



Kuva 14.20 Hitsaus pulttihazauspistoolilla.

Valamisen yhteydessä käytetään usein herkkäjuoksuista betonia, jota on helppo pumpata ulos (ks. kuva 14.21). Jos levyn annetaan jäädä paikoilleen, muotin purkamista koskeva työvaihe voidaan sivuuttaa.

Liittovälipohjissa käytetään monentyyppisiä profiloituja levyjä. Kuvassa 14.22 näkyy joitakin tyyppisiä. Tavallisesti ne ovat 45–120 mm korkeita ja 0,7–1,2 mm paksuja.

14.3.2 Staattinen vaikutustapa

Yhteisvaikutuksen aste profiloitun levyn ja betonilaatan välillä riippuu siitä, kuinka levy on suunniteltu. Liittovälipohja edellyttää, aivan kuten liittopalkkin, jonkinlaista mekaanista leikkausliitosta.

Tavallisinta on, että levyyn tehdään painaumia tai uria horisontaalisen leikkausvuon siirtämiseksi levyn ja betonin välillä ja erkanemisen estämiseksi (ks. kuva 14.22). Painaumia tehdään tavallisesti hyvin tiiviisti hyvän yhteisvaikutuksen aikaansaamiseksi. Toinen tavallinen tapa on se, että levyn muotoa hyödyntämällä (esimerkiksi "lohenpyrstö") betoni lukitaan teräkseen nähden ja näin saadaan aikaan yhteisvaikutus (ks. kuva 14.22).

Eurokoodista 4, osa 1.1, löytyy yleiset mitoittamista koskevat säännöt. Sen sijaan yhteisvaikutusta koskevat tiedot ovat tapauskohtaisia, ja ne annetaan valmistajan esitteissä.



Kuva 14.21 Liittoväli­pohjan valaminen.

14.4 LIITTOPILARI

14.4.1 Suunnittelu

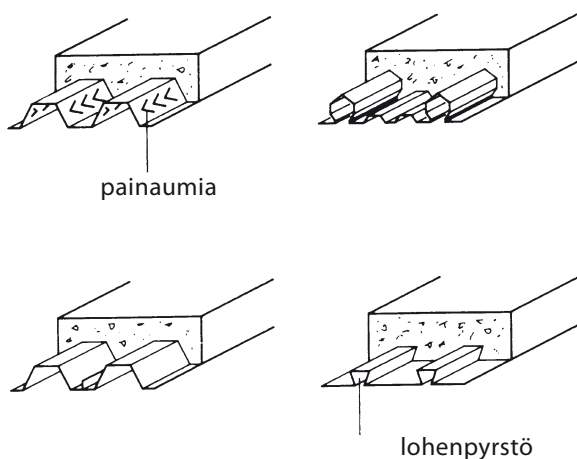
Esimerkiksi toimistotilojen suunnittelussa pyritään usein joustavaan tilaratkaisuun, jossa käytettävä lattiapinta-ala olisi mahdollisimman suuri. Kun tämä otetaan huomioon, on sillä, voidaanko pilarien määrää vähentää ja/tai voidaan­ko niiden kokoa pienentää, suuri merkitys. Perinteisesti pilareista tehdään joko pelkkiä teräspilareita tai vahvistettu­ja betonipilareita. Molempiin tyyppeihin liittyy hyöty- ja haittapuolia. Liittopilarissa betonin ja teräksen hyvät puolet yhdistyvät, ja näin kumpaakin materiaalia voidaan hyödyntää optimaalisella tavalla. Yhteisvaikutusta hyödyntämällä kasvatetaan pilarien jäykkyyttä ja kantokykyä, mikä mahdollistaa ohuempien pilarien käytön ja lisää näin käytettävissä olevaa lattiapinta-alaa.

Liittopilareita on itse asiassa käytetty jo 1900-luvun alusta lähtien, mutta aluksi betonia käytettiin vain suojaamaan kantavaa teräsrakennetta ruosteelta ja tulipalolta. Betoni ei ollut kovin lujaa, ja sen kantokyky sivuutettiin kokonaan. Vasta 1950-luvulla osoitettiin, että betonin käyttö

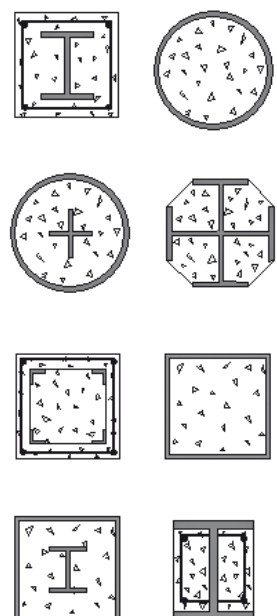
lisäsi pilarin kantokykyä merkittävästi. Tämän jälkeen tutkimus ja liittopilarien käyttö on lisääntynyt huomattavasti, ja viime vuosikymmeninä liittopilareita on alettu käyttää laajalti eri sovelluksissa eri puolilla maailmaa.

Liittopilarit voidaan jakaa periaatteessa kahteen päätyyppiin; betoniin valettuihin ja betonitäytteisiin teräsprofilleihin (ks. kuva 14.23). Näiden lisäksi eri rakennushankkeissa on valmistettu myös monenlaisia muita liittopilareita. Ne ovat poikkileikkaukseltaan usein betoniin valettujen ja betonitäytteisten teräsprofiilien yhdistelmiä.

Betoniin valetussa pilarissa teräsosa voi muodostua yhdestä tai useammasta valssatusta teräsprofiilista, jotka on kiinnitetty yhteen. Betonikerros kantaa osan pilariin kohdistuvasta kuormasta ja parantaa teräksen kantokykyä jäykistämällä sitä ja pienentämällä nurjahdus- ja kiepahdusriskiä. Tämän lisäksi betonikerros suojaa terästä tehokkaasti tulipalolta. Tämäntyyppinen liittopilari



Kuva 14.22 Liittoväli­pohjassa käytettäviä erityyppisiä levyjä.



Kuva 14.23 Esimerkkejä liittopilarien poikkileikkauksista.

edellyttää kuitenkin valumuottia ja raudoitushäkkiä sen estämiseksi, ettei betoni lohkeile pois.

Betonitäyteisistä teräsprofieileista tehdyt liittopilarit ovat kasvattaneet suosiotaan sekä rakenteellisista että esteettisistä syistä. Reikäprofiilin pinta on kaunis, ja pilarin hyvän kantokyvyn ansiosta on mahdollista tehdä kevyt, taloudellinen ja tyylikäs rakennuskonstruktio. Kun teräsputki toimii sekä valumuottina betonin valamisen aikana että kovettuneen betoniytimen vahvisteena, säästetään sekä materiaalia että aikaa. Teräsputki suojaa betonia myös mekaanisilta vaurioilta. Yhdessä ne takaavat korkean laadun ja sen, ettei pilariin tarvitse tehdä jälkikäteen suuria korjailuja.

Yksi liittopilarien käytöstä koitua suuri etu liittyy tuotantoprosessiin. Teräsrunko voidaan rakentaa ensin ja mitoittaa niin, että se kantaa omapainon ja kuorman rakennusaikana. Kun asennustyössä käytetään yksinkertaisia liitosdetaljeja, jotka muistuttavat teräsrakentamisessa normaalisti käytettäviä detaljeja, asentaminen käy nopeasti ja helposti. Tämän jälkeen betonin valaminen voidaan ajoittaa niin, että se tehdään samalla kertaa muu valutyön kanssa, esimerkiksi välipohjia valettaessa. Rungon asentaminen voi siis jatkua, ilman että betonin kovettumista tarvitsee odotella. Tämä mahdollistaa rationaalisen asentamisen sekä betonin valukertojen määrän vähentämisen. Lopullinen liittopilari, joka syntyy betonin kovettua, on mitoitettu kantamaan myös valmiin rakennuksen omapainot ja hyötykuormat.

14.4.2 Staattinen vaikutustapa

Yleisesti ottaen teräspilarit, vahvistetut betonipilarit ja liittopilarit käyttäytyvät samalla tavalla. Lyhyet pilarit ovat aksiaalisesti jäykkiä, ja niiden kantokyky vaikuttaa riippuu poikkileikkauksen kantokyvystä. Ohuet pilarit eivät ole yhtä jäykkiä kuin paksut, ja toisen kertaluvun vaikutukset aiheuttavat taipumista ja kasvavan momenttikuorman. Vahvistettujen betonipilareiden mitoittamiseen vaikuttaa suurimmaksi osaksi poikkileikkauksen kantokyky, kyky ottaa vastaan momentti ja aksiaalista voimaa. Teräspilarit ovat yleisesti ohuempia kuin betonipilarit, ja siksi stabiliteettimurtumat, kuten nurjahdus ja kiepahdus, ovat usein ratkaisevia. Liittopilarit ovat teräspilarien ja betonipilareiden välimuoto. Niiden poikkileikkauksen kantokykyyn vaikuttavat samankaltaiset tekijät kuin vahvistetun betonipoikkileikkauksen kannalta ratkaisevat tekijät. Liittopilari on kuitenkin useimmiten ohuempi kuin betonipilari, ja näin murtuma on tyypillisesti materiaali- ja stabiliteettimurtuman yhdistelmä.

Perustavanlaatuista liittopilarin staattisessa vaikutustavassa on se, että betoniosa ja teräsosa toimivat yhdessä niin, että ne kantavat yllä olevan konstruktion aiheuttaman kuorman. Eurokoodi 4-1-1:n mukaisessa mitoituksessa edellytetään täydellistä yhteisvaikutusta betonin ja teräksen välillä. Tämä tarkoittaa, että teräksen ja betonin rajapinnassa ei saa tapahtua liukumista. Tämä edellyttää, että pilariin kohdistuvien ulkoisten voimien ja momentin aiheuttamat sisäiset voimat voidaan jakaa betoniytimen ja teräsputken välillä sellaisten materiaalivasteiden mukaisesti, joita voidaan odottaa täydellisessä yhteisvaikutuksessa. Käytännössä kuorman siirto saavutetaan joko luottamalla teräksen ja betonin väliseen luonnolliseen tarttuvuuteen tai käyttämällä leikkausvoiman siirtämiseen mekaanisia välineitä. Lisätietoja liittopilareista löytyy viitteestä [6].

KIRJALLISUUTTA

- [1] Eurokoodi 4-1-1: Betoni-teräslittorakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, EN 1994-1-1:2004
- [2] Eurokoodi 4-2: Betoni-teräslittorakenteiden suunnittelu. Siltoja koskevat säännöt, EN 1994-2:2004
- [3] Eurokoodi 4-1-2: Betoni-teräslittorakenteiden suunnittelu. Rakenteellinen palomitoitus, EN 1994-1-2:2004
- [4] Hedin, J., Samverkanskonstruktioner – Samverkansbalk, Publikation 115, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1989)
- [5] Veljkovic, M., Behaviour and Resistance of Composite Slabs, väitöskirja, Avdelning för Stålbyggnad, LTU 1996: 207
- [6] Oehlers, D. J., Bradford, M. A., Composite Steel and Concrete Structural Members – Fundamental behaviour, Elsevier Science Ltd., Oxford (1995)

TEKIJÄT

Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan ensimmäiseen painokseen on kirjoittanut Johan Hedin. Tämän painoksen kappaleen ovat uudistaneet professori Bernt Johansson (LTU) ja Mathias Johansson (SP).



Käytettyä terästä kierrätetään ja siitä valmistetaan uusia tuotteita.

15. YMPÄRISTÖ

Sanalla *ympäristö* tarkoitetaan meitä ympäröivää maailmaa ja yhteiskuntaa, mutta sitä käytetään etupäässä puhuttaessa luonnosta, ekologiasta ja terveydestä. Ekologia on puolestaan eliöiden ja ympäristön suhteita tutkivaa tiedettä.

Nykyään ympäristökysymykset liittyvät erottamattomalla tavalla lähes kaikkiin tuotteisiin ja palveluihin, vaikka valtaosa ympäristötyöstä perustuu vapaaehtoisuuteen. BSK, BKR ja muut rakentamista koskevat säännöt sisältävät vain vähän tai eivät lainkaan ympäristöä koskevia määräyksiä. Siksi työtä, kehitystä ja tiedonlevitystä ympäristöalalla ohjaavatkin ennen kaikkea ympäristölainsäädäntö ja monessa tapauksessa yritysten vapaaehtoiset ympäristöjohtamisjärjestelmät, erityiset alojen sisäiset sopimukset sekä asiakkaiden vaatimukset.

Useimmat ympäristökysymykset ovat kokonaisvaltaisia, että ne liittyvät moneen eri alaan ja koskevat suuria maantieteellisiä alueita. Ne harvat ympäristökysymykset, joiden voidaan sanoa koskevan vain rakentamisen alaa, liittyvät ennen kaikkea ruostesuojaukseen, saumaamiseen ja jossakin määrin kierrätykseen ja uusiokäyttöön. Sen sijaan tietyt ympäristöongelmat eivät koske lainkaan teräsrakentamista, vaan muita materiaaliiryhmiä. Nämä ongelmat liittyvät muun muassa materiaalipäästöihin ja sisäympäristöön, ja niiden vuoksi monien muiden materiaalien ympäristövaikutuksista käydään paljon keskustelua.

Koska ympäristökysymykset liittyvät ihmisten hyvinvointiin ja terveyteen, ne ovat saaneet paljon painoarvoa. Ruotissa muun muassa happamoituminen ja rehevöityminen ovat merkittäviä ympäristöongelmia.. Tuntuimmalla tavalla ympäristöön vaikuttaa fossiilisten polttoaineiden, kuten hiilen ja öljyn käyttäminen energianlähteinä. Tämä aiheuttaa sekä paikallisia että globaaleja ympäristöongelmia, joista kiistanalaisin lienee kasvihuoneilmiö.

Käsite *ympäristö* jaetaan usein *ulkoympäristöön* ja *sisäympäristöön*. Ulkoympäristöön kuuluvat asuma-alueet sekä luonto – ilma, vesi ja maa. Sisäympäristöön kuuluvat muun muassa rakennusten sisäympäristö ja työympäristö, jotka vaikuttavat monitahoisella tavalla ihmisen terveydentilaan. Terveyteen vaikuttavia seikkoja ovat esimerkiksi ilmanlaatu ja melutaso. Rakennuksiin liittyvien tekijöiden, jotka vaikuttavat esimerkiksi kosteuteen ja lämpötilaan, katsotaan olevan myös osa sisäympäristöä.

Ulkoympäristöön vaikuttavat suurelta osin raaka-aineiden kulutus, energiankulutus, jätteiden tuottaminen sekä asutuksen, liikenteen ja teollisen toiminnan tuottama palaminen. Ketään ei pitäisi arvostella ympäristöön vaikuttavasta toiminnasta ilman, että toiminnasta koituva hyöty otetaan huomioon ja toiminta suhteutetaan vaihtoehtoihin toimiin, joilla voidaan täyttää sama tehtävä ja muut vaatimukset. *Ympäristövaikutuksilla* tarkoitetaan kaikenlaisesta toiminnasta aiheutuvia väistämättömiä vaikutuksia, joita ei kyetä poistamaan. Ympäristövaikutusaste on siis suhteellinen.



Kuva 15.1 Suuri osa rakennusalan ympäristövaikutuksista liittyy energiankäyttöön.

15.1 ENERGIA

Energian kulutus rakennuksen hallintavaiheessa on ehdottomasti yksi rakennusalan tärkeimmistä ympäristönäkökohdista. Energian ympäristövaikutukset syntyvät pääasiassa sähkön tuotannosta ja jakelusta, veden kuljettaman lämmön ja kylmyyden aiheuttamista päästöistä sekä luonnonvarojen kulutuksesta. Useiden tutkimusten mukaan lämmitysenergia hallintavaiheen aikana muodostaa 85–95 prosenttia rakennuksen (talon) kokonaisenergiankulutuksesta. Rakennuksen ympäristösuorituskykyyn voidaan vaikuttaa merkittävästi lämpövaipan energiatehokkaan muotoilun avulla. Teräsrakennuksissa, kuten asunnoissa sekä teollisuus- ja liikehuoneistoissa, on nykyään käytössä melko energiatehokkaita lämpövaipparatkaisuja. [5] [10]

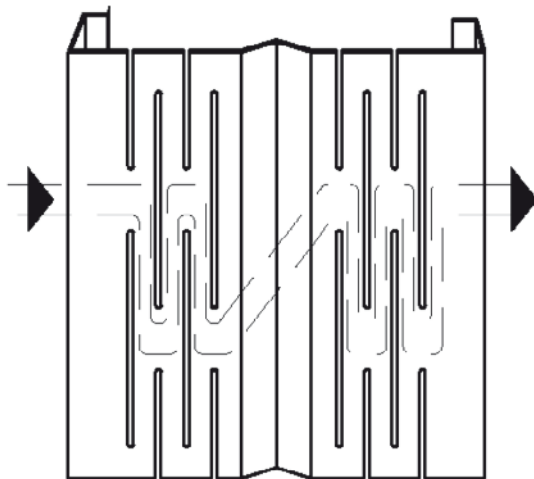
Tekniikan kehittyminen yhdessä tiukennettujen vaatimusten ja energian hinnannousun kanssa on vaikuttanut siihen, että nykyaikaiset rakennukset kuluttavat noin 160 kWh/m² vuodessa, kun luku 25 vuotta sitten oli 200–250 kWh/m². Samaan aikaan liikehuoneistojen energiankulutus on pudonnut puoleen. Energiaviranomaiset ovat osoittaneet, että 2000-luvun pientalolle riittää 60–70 kWh/m² vuodessa, josta kotitaloussähkön osuus on noin 40 prosenttia. Vaikka suurimmat lämpöhäviöt nykyaikaisissa taloissa syntyvät ilmastoinnista, hyvin eristetty lämpövaippa on tärkeä energiansäästön kannalta. [5]

Yhden rakennusteräskilon valmistus kuluttaa noin 8 kWh energiaa kaikki prosessit ja energialajit mukaan luettuina. Ohutlevyistä, kipsistä sekä mineraalivillasta koostuvan ulkoseinärakenteen ja teräksestä valmistetun kantavan rungon kuluttama energia koko elinkaaren aikana on noin 120 kWh/seinäneliometri. Jos lämpöeristeen paksuutta kasvatetaan esimerkiksi 150 millimetristä 200 millimetriin, valmistukseen liittyvä energiankulutus kasvaa noin 6 kWh/m², mutta eristystehon kasvun tuomat energiahäviöt hallintavaiheessa ovat nähtävissä jo kolmen kauden jälkeen. [6] [10]

Edellinen esimerkki osoittaa kaksi teräsrakennuksiin liittyvää seikkaa: Ruotsin terästeollisuuden vuosittain käyttämä

23 TWh energiaa on lähes mitätön määrä käyttövaiheessa kulutettavaan energiaan nähden, ja ympäristösuorituskyky rakennuksen koko elinkaaren aikana voidaan parantaa melko yksinkertaisin keinoin.

Teräksen valmistuksessa käytetään energiaa kaasun, sähkön ja öljytuotteiden muodossa. Öljytuotteita käytetään pääasiassa kuljetuksissa. Metalliromuun perustuvassa terästuotannossa käytetään vain noin kolmasosa siitä energiamäärästä, joka kulutetaan esimerkiksi malmipohjaisessa tuotannossa. Hiilestä valmistettua koksia käytetään pelkistimenä masuuneissa, ja se luokitellaan materiaaliraaka-aineeksi, ei energiaraaka-aineeksi. Ruotsin terästeollisuus toimittaa lämmön ylimäärään kotitalouksiin ja teollisuuteen esimerkiksi veden mukana. Energian tarve on pienentynyt merkittävästi prosessiparannusten, nykyaikaisten laitteiden, entistä lyhyempien valmistusketjujen ja energiaa sisältävien kaasujen sisäisen kierrätyksen myötä. [11]

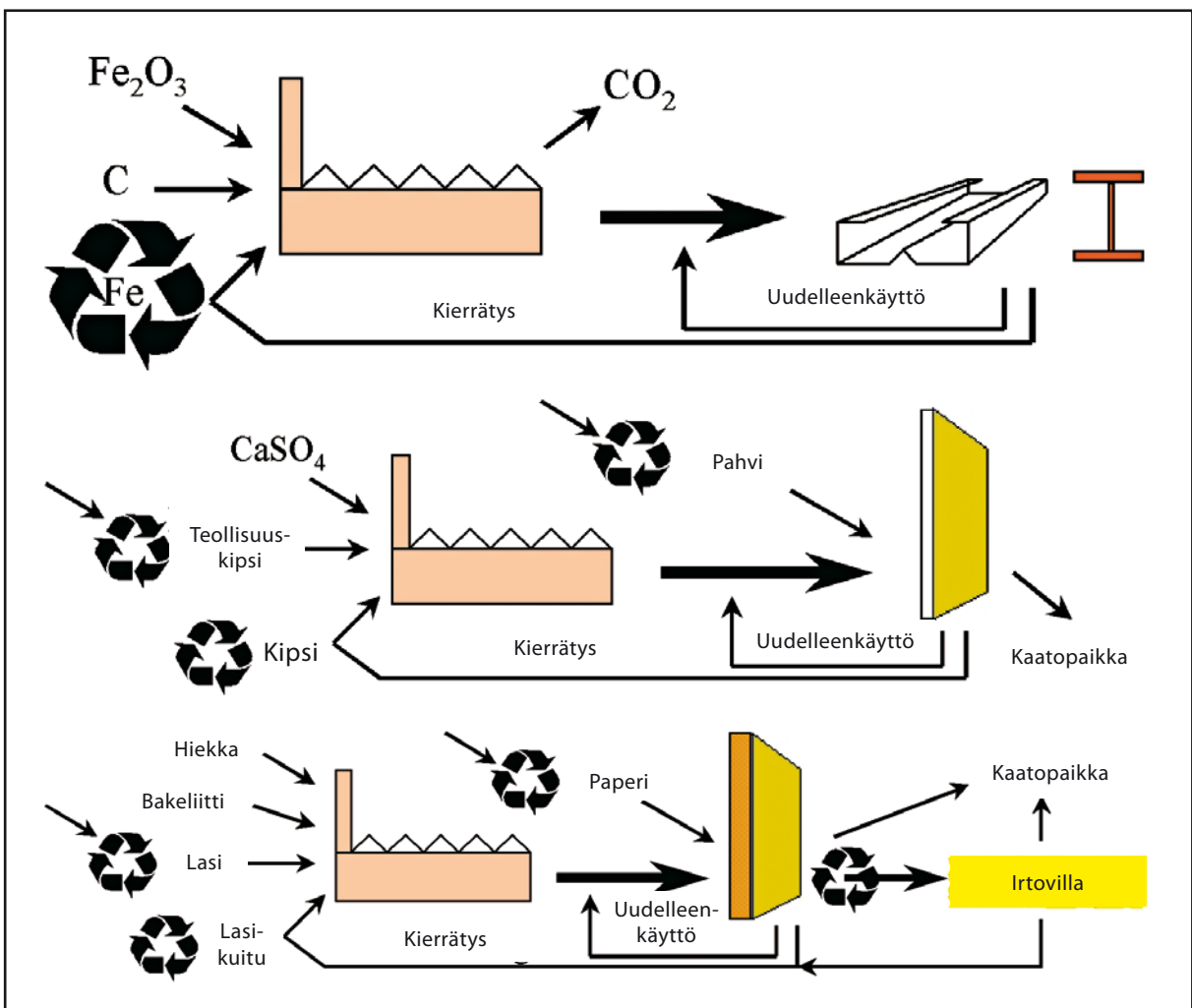


Kuva 15.2 Ohutlevytuki rei'itetään lämmöneristyksen tehostamiseksi.



Kuva 15.3 Esimerkki kevytrakentamisesta, jossa käytetään terästä. Kuvassa massatuotanto-elementtiä nostetaan paikoilleen.

Energiatarpeen jakaantuminen hallintavaiheessa ja mahdollisuus vaikuttaa tähän tarpeeseen vaihtelevat jonkin verran teräsrakennuksen lajin mukaan. Asuinrakennuksissa noin 60 prosenttia energiasta kuluu lämmitykseen ja ilmastointiin. Tähän voidaan vaikuttaa esimerkiksi rakeneratkaisujen ja rakennusmateriaalien valinnalla. Kotitaloussähkön osuus asuinrakennusten energiantarpeesta on noin 20 prosenttia ja lämminveden 20 prosenttia. Sähkön osuus hallintavaiheen energiantarpeesta on teollisuusrakennuksissa noin 35 prosenttia, liikehuoneistoissa lähes 50 prosenttia ja silloilla lähes 100 prosenttia. Sähkön tarve määräytyy pääasiassa rakennuksessa harjoitettavan toiminnan mukaan, mutta siihen voidaan vaikuttaa rakennuksen muotoilulla, jos sähkönkulutus liittyy lämmitykseen tai jäädytykseen. Eristyksen ja tiivyyden parantamisen lisäksi lämpöenergian tarvetta voidaan pienentää esimerkiksi lisäämällä auringonvalon pääsyä rakennukseen.



Kuva 15.4 Teräsrakentamisen alan kolmen tärkeän tuoteryhmän yleinen materiaalivirta. Mineraalivillaesimerkki koskee myös lasivillaa.



Kuva 15.5 Kaikkea terästä voi kierrättää.

Lämmön varastointia raskaissa rakennusrakenteissa pidetään yhtenä mahdollisuutena energiatehon parantamiseen. Sitä voidaan käyttää jossain määrin, jos lämpökuormitukset ovat suuria ja lämpötila vaihtelee huomattavasti. Mahdollisuudet energiansäästöön lämmönvarastoinnin avulla vaihtelevat muun muassa rakennuksen muotoilun mukaan. Teräsrakennuksessa varastointia voidaan oikeiden edellytysten täytyessä hyödyntää lähinnä betonipalkistoissa ja kipsilevyissä. Näin voidaan ehkä "säästää" muutamia prosentteja. On huomattava myös, että ulkopinnan eristävä kerros vaikuttaa merkittävästi lämmön siirtymiseen raskaaseen materiaaliin.

Energiatehokkuutta voidaan lisätä kevyiden teräsrakenteiden avulla osittain merkittävästi pienemmän materiaalitarpeen myötä ja osittain sellaisten tarkkaan harkittujen teknisten ratkaisujen ja tuotantoratkaisujen avulla, jotka mahdollistavat hyvän eristystehokkuuden sekä lämpö- ja ilmastointijärjestelmän tehokkaan käytön. Esimerkkejä jälkimmäisestä tapauksesta ovat muun muassa uurrettujen ohutlevyjen käyttö ulkoseinissä ja seinäelementtien sekä huonemoduulien teollinen tuotanto (ks. kuvat 15.2 ja 15.3).

15.2 MATERIAALI

Rakentamisen tarvitaan paljon materiaalia, joka on joko neitseellistä "luonnollista" raaka-ainetta tai kierrätettyä "teknistä" raaka-ainetta. Teräsrakennuksen neitseellisiä raaka-aineita ovat muun muassa metallimalmit, kalkkikivi, kipsikivi, öljy, hiili ja eräät kaivannaiset, kuten diabasi. Kierrätettyjä raaka-aineita ovat ennen kaikkea teräs (romu), teollisuuskipsi ja kierrätyslasi.

Rauta, teräksen pääraaka-aine, on neljänneksi yleisin alkuaine maaperässä. Rauta-atomia ei voi luoda eikä hävittää, vaan se kiertää jatkuvasti maapallolla.

Rautamalmin saantia voidaan pitää erittäin hyvänä, kun taas fossiiliset polttoaineet ovat kriittisiä, uusiutumattomia luonnonvaroja. Rautamalmia, kalkkikiveä jne. tarvitaan, koska korkeasta kierrätysasteesta huolimatta kierrätetty teräs ei kata maailmanlaajuista rautaraaka-aineiden tarvetta.

Materiaalin käyttö vaikuttaa ympäristöön monin tavoin, ennen kaikkea materiaaleja ja raaka-aineita valmistavien prosessien mutta myös luonnonvarojen keruun ja raaka-aineiden sekä valmiiden tuotteiden kuljetuksen kautta. Lisäksi eräät yksittäiset materiaalit ja kemikaalit vaikuttavat suoraan terveyteen ja luontoon.

Maailmassa kulutetaan vuosittain 819 miljoonaa tonnia terästuotteita (2002), josta yli 20 prosenttia käytetään rakentamiseen. Hyvin suuresta osasta näistä tuotteista tulee myöhemmin uusien terästuotteiden (joko samanlaisten tai täysin erilaisten tuotteiden) raaka-ainetta. Teräksestä valmistetut rakennustuotteet kierrätetään teoriassa kokonaisuudessaan 10–30 kertaa. Pieniä materiaalihäviöitä syntyy muun muassa monimutkaisten materiaaliyhdistelmien varastoinnin sekä hajoamisen (korroosion) vuoksi. Rautamateriaalia ei myöskään voi kierrättää täysin emetallituotteiden, kuten lasin, väriaineiden tai betonin, käytön jälkeen. [1] [11]

Muut teräsrakennuksen suurimmat materiaaliyryhmät ovat betoni, solumuovi, kipsi ja mineraalivilla, joista kahdella viimeksi mainitulla on terästuotteiden tavoin hyvin toimiva kierto (ks. kuva 15.4). Betoni on nykyään erikoisluokansa käytetyin rakennusmateriaali. Siihen liittyvät ympäristön kannalta tärkeimmät prosessit ovat sementin valmistus ja kuljetus.

Solumuovien, kipsilevyjen ja mineraalivillan osalta raaka-aineiden louhinta ja kuljetus ovat tärkeimmät ympäristöparametrit.

Resursseja voidaan säästää muun muassa panostamalla tuotekehitykseen (kestävä teräs, kevyet rakennusjärjestelmät), prosessikehitykseen (nykyaikainen prosessinohjaustekniikka, teollinen rakentaminen) ja teräsraka-aineiden sekä jäännöstuotteiden kierrätyksen tehostamiseen. Vastaavaa panostusta esiintyy myös muiden teräsrakennusmateriaalien kohdalla.

Erilaisissa rakennusten rakenteissa arvioidaan nykyään olevan yli kaksi miljardia tonnia sellaista terästä, joka kierrätetään tulevaisuudessa. Terästuotteiden suuren kysynnän vuoksi teräksen määrä koko tekniikan alalla kasvaa vuosittain noin 300 miljoonalla tonnilla.

Teräsrakennukset ja -laitokset ovat kevyitä rakenteita, joten niihin tarvitaan melko vähän materiaaliraaka-aineita. Hyvän takaisinsaannin ja kierrätettävyyden vuoksi teräsrakennukset ovat lisäksi resursseja säästäviä ratkaisuja. (Lisää aiheesta on seuraavassa luvussa.) Hyvä esimerkki materiaalitehokkaasta rakennusjärjestelmästä on kevytrakentaminen terästä käyttämällä. Tällaisten rakennusten osat ovat kierrätettäviä ja kuluttavat materiaalia erittäin

vähän (noin 150 kg asuinneliötä kohti). Rakennuksella on myös useita muita hyviä ympäristöominaisuuksia, ja samalla se täyttää rakennuksille asetettavat toimintavaatimukset (katso luku 6).

Teräksen valmistus ja teräsrakennus ovat raaka-ainetehokkaita aloja myös materiaalin käytön suhteen. Yhdestä raaka-ainetonnista syntyy vain noin 25 kg jäännöstuotteita. Useimmat terästuotannon kiinteistä jäännöstuotteista, esimerkiksi kuona ja oksidit, kierrätetään tai jalostetaan muun muassa seinien täyteaineiden, sementin, elektronikkakomponenttien, väriaineiden, lasin, lääkeaineiden, liiman ja Krav-merkittyjen kasvinravinteiden valmistuksessa. [4]

15.3 KIERTO JA KIERRÄTYS

Kierrätys voidaan jakaa materiaalin ja energian talteenottoon. Materiaalin talteenotto tarkoittaa käytetyn materiaalin käyttöä uuden raaka-aineen valmistuksessa. Energian talteenotto tarkoittaa tuotteiden polttoa siten, että niiden sisäinen energia voidaan hyödyntää esimerkiksi lämmityksessä.

Valmistettaessa teräsrakennustuotteita neitseellisistä raaka-aineista materiaali siirretään biosfääristä (elävästä luonnosta) ja geosfääristä (maaperästä) tekносfääriin (yhteiskuntaan). Suuria raaka-aineryhmiä ovat malmit, öljy ja metsä. Vastakkaiseen suuntaan kulkevat tuotteet luokitellaan jätteiksi tai saasteiksi.

Kiertoon sopeutuminen on yksi tämän päivän tärkeimmistä ympäristötavoitteista. Se tarkoittaa, että meidän tulisi pienentää sfäärien välisiä ainevirtoja ja käyttää sekä kierrättää eri järjestelmissä jo olevia materiaaleja mahdollisimman paljon. Teräksellä ja muilla metalleilla on erittäin hyvät edellytykset kierrätykselle. Tämä johtuu pääasiassa sekundäärisen materiaalin (metallilromun) hyvistä teknisistä ominaisuuksista ja korkeasta taloudellisesta arvosta. Nykyään Ruotsissa kierrätetään lähes 100 prosenttia kerätystä teräsromusta eli noin 1,4 miljoonaa romutonna vuodessa. [11]

Rakennuksen elinkaari voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: tuotantoon, käyttöön ja loppukäsittelyyn. Materiaaliraaka-aineita käytetään tuotantovaiheessa ja energiaraaka-aineita käytön aikana. Materiaalia ja energiaa kierrätetään talteenoton yhteydessä.

Rakennusala on yksi aloista, joilla on suuri tarve materiaalin ja tuotteiden kierrätyksen lisäämiseen. Resurssien käytön ja muiden ympäristövaikutusten pienentämiseksi rakennuksia ja rakennustekniikkaa on kehitettävä. Tämä tarkoittaa entistä pienempien materiaalimäärien käyttöä ja materiaalin talteenoton sekä kierrätyksen tehostamista. Teräsrakentamisessa materiaalin kierto on melko tavallista, sillä alalla käytetään pääasiallisesti esimerkiksi teräkseen, kipsiin ja mineraalikuluihin perustuvia tuotteita (katso kuva 15.4).

Terästuotteen elinkaari eli käyttöaika vaihtelee monien eri parametrien mukaan eikä ole tekносfäärissä kovin

pitkä. Säilytetölkki kierrätetään yleensä muutama kausi sen jälkeen, kun se on täyttänyt ensisijaisen tehtävänsä ja muuttanut muotoaan siten, ettei tuote enää ole käytettävissä. Rakennuksessa oleva teräspalkki kierrätetään ehkä 50 vuoden jälkeen, vaikka se voisi täyttää tehtävänsä vielä useita satoja vuosia. Tämä johtuu siitä, että rakennuksia on purettava esimerkiksi sosiaalisten, taloudellisten tai poliittisten tekijöiden aiheuttaessa muutoksia käyttötarkoitukseen tai ympäristöön. Usein purku johtuu myös siitä, että jotkin muut rakennuksen tärkeät osat ovat elinkaarensa päässä, eikä niitä voi vaihtaa uusiin kohtuullisin kustannuksin.

Kun rakennuksen elinkaari on lopussa, teräsrakennusosat voidaan ottaa talteen tai käyttää uudelleen. Jos tuotetta ei kierrätetä, se luokitellaan jätteeksi, joka varastoidaan tai käsitellään hävittämistä varten.

Kaikki teräsmateriaali voidaan kierrättää sen kestävydestä, iästä tai seososien määrästä riippumatta. Jotkin seosaineet jäävät metallisulaan, kun taas toisia on lisättävä uudelleen. Myös korroosiolta suojaava sinkki, joka kaasuuntuu teräksen uudelleensulatuksen yhteydessä, voidaan kierrättää suodattamalla kaasuuntunut aine ja työstämällä siitä uutta ensiösinkkiä. Jäljelle jäävät maalit voidaan käyttää energiaraaka-aineina.

Talteenotetusta materiaalista voidaan valmistaa uutta ensiomateriaalia vain, jos sen laatu ei ole heikentynyt. Teräs on lähes ainutlaatuinen materiaali siinä suhteessa, että kierrätyksen aikaiset laatuhäviöt (downcycling) voidaan välttää kokonaan. Muihin kierrätykseen soveltuviin metalleihin (ja esimerkiksi lasiin) liittyy joitakin rajoituksia sen suhteen, millaisiin tuotteisiin kierrätettyä materiaalia voidaan käyttää. Muun muassa seosaineiden määrä vaikuttaa käyttömahdollisuuksiin.

Muita teräsrakennusmateriaaleja kierrätetään nykyään hiukan vähemmän kuin terästä, mutta kysynnän kasvaessa ja tekniikan edistyessä niidenkin kierrätyksen voidaan odottaa yleistyvän. Esimerkiksi betonin lisääntyvän talteenoton myötä saadaan käyttöön myös entistä enemmän raudoitusterästä. Kierrätystä rajoittavia tekijöitä ovat muun muassa korkeat kuljetuskustannukset sekä komposiittituotteet, joiden materiaalit on vaikea erotella. Teknisesti uudelleen käyttöä vaikeuttavat muun muassa jotkin käytetyt liittomenetelmät, kun taas käytännön esteet käytettyjen rakennustavaroiden kaupan lisäämiselle liittyvät tuotteiden saantiin ja käsittelyyn.

Uudelleenkäyttö tarkoittaa tuotteen käyttämistä uudelleen alkuperäisessä tai korjatussa muodossa. Teräsrakennusosien uudelleenkäyttö on toistaiseksi vähäistä, vaikkakin sitäkin esiintyy. Siirrettävien teräsrakenteiden lisäksi käytetään uudelleen muun muassa halleja, mastoja, pontteja, putkia, pieniä siltoja sekä rakennuksen osia, kuten seinäelementtejä. Ruotsin Boverketin kierrätettyjen rakennusmateriaalien käyttöä koskeva käsikirja (Handbok om användning av återvunna byggnadsmaterial, BÅ) säätelee joidenkin rakennusterästuotteiden uudelleenkäyttöä. [3]

15.4 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Tulokset ulkoisen ympäristön kannalta voidaan jakaa erilaisiin yleisiin ympäristövaikutuksiin, joilla kaikilla katsotaan olevan merkitystä ekologisen tasapainon sekä ihmisten elämänlaadun ja eloonjäännin kannalta. Ympäristövaikutus syntyy, kun yhtä tai useaa ainetta lisätään tai poistetaan niin paljon tai niin suuri pitoisuus, että ekosysteemin tasapaino järkkyy. Tämä voi aiheuttaa erilaisten kiertojen tai ravintoketjujen linkkien häiriintymistä tai tuhoamista.

Niin sanottujen kasvihuonekaasujen päästöt voivat aiheuttaa ilmastomuutoksia. Tällaisia kaasuja ovat muun muassa hiilidioksidi (CO₂), metaanikaasu (CH₄), ilokaasu (N₂O) ja freonit (CFC-yhdisteet).

Tiedämme, että maanpinnan keskilämpötila on noussut viime vuosikymmenien aikana. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että kasvihuonekaasut heijastavat maanpinnan lämpösäteilyä (ns. kasvihuoneilmiö). Teräksen tuotannon happea ja hiiltä pelkistävät prosessit tuottavat suuria määriä hiilidioksidia. Teräksen valmistukseen liittyvät päästöt esitetään taulukossa 15.1.

Teräsrakennusalan ympäristövaikutus liittyy suurimmaksi osaksi käytön aikaiseen energiankulutukseen, jolloin kyseessä on siis epäsuora vaikutus. Edellä esitettyjen energia-parametrien mukainen 50 vuoden pituinen käyttö vastaa 85–95 prosenttia rakennuksen koko ympäristövaikutuksesta. Kerrostalon teräsrunkoon tarvittavien materiaalien ja tuotteiden tuotannon osuus kokonaispäästöistä on 1–2 prosenttia. [10]

Happamoituminen ja rehevöityminen ovat esimerkkejä vesistövaikutuksista. Fossiilisten polttoaineiden poltto on suurin syy näihin – kuten moniin muihinkin – ympäristövaikutuksiin. Rakennusmateriaalin ja raaka-aineiden kuljetus on siis merkittävä parametri ympäristöseikkoja tarkasteltaessa. Materiaalinjakelun tehostamisen ja materiaalin suhteen optimoitujen kevyiden rakennusjärjestelmien avulla voidaan saavuttaa ympäristöhyötyjä. Tällaisia hyötyjä saadaan jo pienillä muutoksilla valmistusprosesseihin. Lähes 100 prosenttia terästeollisuuden prosessivedestä kierrätetään nykyään suljetussa järjestelmässä. Valmistettua terästönä kohti käytetään noin 15 m³ vettä, joka puhdistetaan laitoksen sisällä.

Maaperään vaikutetaan muun muassa raaka-aineiden louhinnalla sekä rakentamisella ja jätteiden varastoinnilla. Ruotsin

rakennusala tuottaa vuodessa noin viisi miljoonaa tonnia jätettä, josta kaksi miljoonaa tonnia varastoidaan. Tämä edellyttää toimivaa lajittelua rakennustyömailla mutta ennen kaikkea panostusta jäännöstuotteiden muodostumista estäviin toimenpiteisiin. Kustannukset täsmälleen oikean raaka-ainemäärän kuljetuksesta rakennustyömaalle ovat merkittävästi jäännöstuotteiden käsittelykustannuksia pienemmät

Rakentaminen edellyttää aina maaperän käyttöä, vaikka osa teräsrakentamisesta tapahtuukin kovetetulla pinnalla. Koska teräsrakenteet ovat lähes aina esivalmistettuja, rakennusala ei ole tarpeettoman suuri. Esivalmistuksen ansiosta myös teräsrakennusprosessin hukka- ja jätemäärät ovat marginaalisia. Jo hävitetyille tuotteille etsitään nykyään käyttötarkoituksia esimerkiksi täytemateriaalina tai prosessien raaka-aineita.

Maailmanlaajuisesta näkökulmasta katsottuna Ruotsin terästuotanto ja teräsrakennus ovat erittäin suorituskykyisiä päästöjen, energiatehokkuuden ja raaka-ainetehokkuuden suhteen. Tämän voidaan ajatella johtuvan tiukoista viranomaisvaatimuksista, melko korkeasta yleisestä ympäristötietoisuudesta ja kehittyneestä tekniikasta, jota sovelletaan myös käytännössä. Esimerkiksi teräksen valmistuksen hiilidioksidipäästöt ovat Ruotsissa yli 30 prosenttia maailman keskiarvoa pienemmät. Korvaamalla uuneissa käytettävän ilman happikaasulla ja käyttämällä muun muassa määritettyjä polttolämpötiloja, edistyneitä suodattimia ja tietokoneistettua prosessinohjausta monien ympäristöä häiritsevien aineiden päästöt on saatu pysymään pieninä. [11]

Kuljetusten hoitaminen rautateitse vaikuttaa suoraan ilman puhtauteen. Suuri osa kaivos- ja teräsalan tuotteista kuljetetaan nykyään rautateitse (katso kuva 15.6).

15.5 SISÄYMPÄRISTÖ

Sisäympäristö muodostuu rakennuksen sisäpuolisista tekijöistä, jotka liittyvät jotenkin terveyteen. Hyvä sisäympäristö on tärkeä terveyden ja mukavuuden kannalta, koska vietämme keskimäärin yli 90 prosenttia elämästämme sisätiloissa. Tärkeitä tekijöitä ovat kosteuteen liittyvät edellytykset, lämpömukavuus, melu ja ilman laatu, mutta myös esimerkiksi ergonomia. Sisäympäristöä käsittelevien viranomaismäärausten merkitys on kasvussa muun muassa nykyaikaisiin rakennuksiin liittyvien huomattavien ongelmien vuoksi.

Taulukko 15.1. Tärkeimmät ympäristövaikutukset ja terästeollisuuden vaikutus niihin.

| Ympäristövaikutus/saastuminen | Vaikutusalue | Tärkeät aineet | Terästeollisuuden ja -rakentamisen vaikutus |
|-------------------------------|--------------|---|--|
| Kasvihuoneilmiö | Maailma | CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O jne. | Suuri. Prosessihiili (teräksen valmistus), nestekaasu jne. |
| Happamoituminen | Alueellinen | SO _x , NO _x | Kohtuullinen. Malminjalostus ja fossiiliset polttoaineet |
| Rehevöityminen | Alueellinen | NO _x , P | Pieni. Maantiekuljetukset ja poltto |
| Otsonikerroksen ohentuminen | Maailma | CFC-yhdisteet | Ei ole. |
| Resurssivarantojen köyhydytys | Maailma | Materiaaliraaka-aineet | Kohtuullinen. Malminlouhinta, hiili, maantiekuljetukset |
| Toksiset vaikutukset | Paikallinen | Orgaaniset myrkyt | Pieni. Koksilaitokset (PAH-yhdisteet) |
| Valokemialliset hapettimet | Paikallinen | HC, NO _x , | Pieni. Maalit, muut VOC-yhdisteet, maantiekuljetukset |
| Metallit | Paikallinen | Fe, Zn, Cu, Cd jne. | Kohtuullinen. Kaivosala, maantiekuljetukset |



Kuva 15.6 Malmia kuljettava juna Ruotsin Lapissa.

Sisäympäristön ja terveyden välillä on monimutkainen yhteys. Ongelmat, joiden uskotaan aiheutuvan rakennukseen liittyvistä tekijöistä, voivat liittyä myös muihin seikoihin, kuten elämäntapaan, perinnöllisyyteen, ruokailutottumuksiin tai toimintaan. Seuraavassa on joitakin havaittuja syy-yhteyksiä: [15]

- Rakennusten kosteus- ja homevauriot voivat aiheuttaa niin sanotun SBS (Sick Building Syndrom, sairauksia aiheuttava syndrooma) -tilan.
- Huono ilmanlaatu ja rakennusmateriaalien päästöt voivat aiheuttaa terveysongelmia.
- Melu voi aiheuttaa univaikeuksia ja psykosomaattisia ongelmia.

”Terve talo” ja ”sairas talo” ovat usein käytettyjä mutta vaikeasti määriteltäviä käsitteitä. Asuinympäristöjen ja rakennetekniikan mukaan rakennetaan erilaisia taloja, joilla on kuitenkin hyvin samanlaiset vaatimukset mukavuuden ja toimivuuden mukaan ja joiden rakentamisessa noudatetaan samoja normeja. Tällöin erojen tulisi olla pieniä rakennusmateriaalista ja -järjestelmästä riippumatta. Näin ei kuitenkaan ole. Kustannussyiden sekä puutteellisen ammattitaidon vuoksi kaikki talot eivät ole ”terveitä”. Hyvän asennusjärjestelmän, oikean materiaallivalinnan, hyvän suunnittelun ja materiaalikäsittelyn, harkittujen materiaaliyhdistelmien ja rakennusjärjestelmien, tarkan urakoinnin sekä rakennusten huolellisen ja harkitun käytön avulla voidaan toteuttaa terve, toimiva ja tehokas rakennus.

15.5.1 Kosteus ja korroosio

Kosteus muodostaa huomattavan ongelma-alueen rakennussektorilla. Kosteudella tarkoitetaan tässä yhteydessä rakennuksen rakenteissa olevaa ei-toivottua vettä. Kosteus vaikuttaa rakennukseen usealla tavalla. Kosteus voi olla rakennekosteutta (materiaalissa), sadevettä, ilman kosteutta (ulko- tai sisäpuolelta), maan kosteutta tai esimerkiksi vuodon aiheuttamaa kosteutta. Kosteuskuormitus voi heikentää sisäympäristöä merkittävästi ja aiheuttaa kestävyysongelmia (ks. kuva 15.7). Jos rakennustuotteet on tällaisten haittojen vuoksi vaihdettava ennen aikaisesti,

ympäristökuormitus kasvaa. Vähäinen tilapäinen kosteus ei yleensä vaikuta negatiivisesti rakenteisiin tai rakennuksen sisäympäristöön. [17]

Päästöt kosteista materiaaleista saattavat olla suurempia kuin kuivista, kosteus voi aiheuttaa homeen kasvua orgaanisissa materiaaleissa ja kosteuskuormitus voi johtaa epäorgaanisen materiaalin hajoamiseen, esimerkiksi metallien ruostumiseen ja betonin rapautumiseen.

Materiaali on *hygroσκοoppinen*, jos se voi kerätä, sitoa ja luovuttaa kosteutta. Tähän ominaisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Tuotteita, jotka keräävät kosteutta helpommin kuin luovuttavat sitä, tulee välttää rakennuksissa. Teräs ei ole hygroσκοoppinen eikä orgaaninen materiaali, joten esimerkiksi terveyteen liittyvät kosteusongelmat, home ja epäterveellisten aineiden, kuten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöt ovat teräsrakennuksissa harvinaisia. Tämä puolestaan tarkoittaa, ettei materiaalin käsittelyyn, rakennusurakointiin ja rakennusten käyttöön yleensä liity merkittäviä lisäkustannuksia. Runkomateriaalien, kuten puun ja betonin, kosteudelle on asetettu normivaatimuksia ja laadittu erilaisia suosituksia. [12]

Useimmat teräsrakennukset ovat niin sanottuja kuivia rakenteita, joita voidaan pitää kosteuden ja sisäympäristön suhteen matalariskisinä rakenteina. Esivalmistettujen rakenneosien avulla voidaan rakentaa entistä kuivempia ja parempia rakenteita, koska ne voidaan rakentaa suojatussa ja valvotussa ympäristössä. Valmiit elementit on kuitenkin suojattava tarpeettomalta kosteuskuormitukselta sekä kuljetuksen että työmaalla tapahtuvan varastoinnin ja asennuksen aikana.

Käyttövaiheessa on tärkeää estää lämpimän sisäilman tiivistyminen kosteudeksi rakennuksen ulkoseinään. Tämä voidaan tehdä hyvin toimivilla höyrynestorakenteilla, kuten seinän lämpimään osaan sijoitettavilla muovikalvoilla. Kaatosateille alttiina olevat rakenteet saattavat edellyttää lisäsuojia, esimerkiksi ulkoisen kipsilevyn ulkopuolelle asettavia solumuovilevyjä. Myös teräsrakenteiden muotoilussa tulee myös estää veden kerääntyminen esimerkiksi johtamalla mataliin kohtiin kerääntyvä sadevesi ja tiivistynyt kosteus ulos. Rakennusten ja rakennusosien kosteusarviointi voidaan tehdä esimerkiksi ruotsalaisen Fukt-handbok-käsikirjan mukaan. [17]

Teräsrakennustuotteiden, kuten kipsilevyjen ja mineraalivillan, kosteussuojaus on erittäin tärkeää. Alalle on laadittu kipsilevyjen kosteutta koskevia suosituksia. Kipsilevyjen ominaisuudet ja muoto voivat muuttua esimerkiksi sateen aiheuttaman ylikuormituksen vuoksi, joten joissakin ympäristöissä on käytettävä ulkokäyttöön tai märkätiloihin soveltuvia, hengittäviä kipsilevyjä, jotka kestävät kosteuskuormitusta tavallisia levyjä paremmin. Ilman kosteus ei vaikuta mineraalivillan kuituihin, jotka on kuitenkin suojattava sateelta.

Monien terästuotteiden päällysteenä käytettävä ohut sinkkikerros suojaa tuotetta korroosiolta kuljetuksen aikana ja rakennusvaiheessa. Korroosio on yhteisnimi monenlaisille

metallisen materiaalin pinnan vaurioille. Näkyvin korroosion laji on teräksen yleinen märkäkorrosio, jossa rauta hapettuu veden hapen vaikutuksesta. Lämmitettyjen rakennusten teräsrakenteet eivät normaalioloissa voi ruostua (syöpyä).

Hiiliteräs ruostuu ulkotiloissa tai suhteellisen ilmankosteuden ollessa yli 60 prosenttia, joten tuotteet suojataan esimerkiksi sinkillä, alumiinilla tai ruostesuojamaalilla. Maa-laamaton pelti syöpyy kaupunkiympäristössä muutama millimetrin kymmenestuhannesosaa vuodessa. Korroosiotuotteet ovat normaalioloissa täysin vaarattomia ympäristölle ja terveydelle. Kyse on metalliyhdisteistä, jotka ovat muuttumassa takaisin alkuperäiseen mineraalimuotoon. [8] [11]

Ympäristölle vaaralliset ruostesuojamaalit ovat kiellettyjä Ruotsissa, mutta jotkin maalit voivat vaikuttaa työympäristöön eri tavoin maalauksen tai maalin valmistuksen aikana. Vanhat maalit, joissa on käytetty väriaineina lyijyn ja kromin metallisuoloja, tulee käsitellä ongelmajätteenä. Nykyään on saatavana maaleja, puhaltaita ja menetelmiä, jotka ovat hyviä sekä ulkoympäristön että työympäristön kannalta. Maalijärjestelmän suuri ympäristöetu on se, että maalattavan kohteen käyttöikä pitenee. Teräsrakennuksia koskevia normeja ja suosituksia on muun muassa Ruotsin Boverketin ruostesuojamaalausta käsittelevässä käsikirjassa (Handbok i rostskyddsmålning) ja Bronormensäännöstössä. [2] [13]

Terästä, jossa on vähintään 10,5 prosenttia kromia (Cr), sanotaan ruostumattomaksi teräkseksi. Sen erittäin hitaan syöymisnopeuden vuoksi muita ruostesuojamenetelmiä ei tarvita, joten jotkin ympäristöön vaikuttavat tuotteet ja prosessit voidaan välttää (katso kuva 15.8). Ruostumaton teräs sisältää usein myös merkittäviä määriä nikkeliä (Ni) ja molybdeeniä (Mo). Näiden sekä muiden seosmetallien sidokset ovat niin kovia, että rakennuksissa ja asennuksissa käytettävä ruostumaton teräs ei aiheuta vastareaktiota, kuten allergiaa tai myrkytyksiä.

Kemikaaliviranomaiset valvovat joitakin terästuotteisiin liittyviä metalleja, kuten sinkkiä, kromia ja nikkeliä, joidenkin rakennukseen liittymättömien yhdisteiden bioakkumulaation ja mahdollisen vaarallisuuden vuoksi. Se, että jotkin näiden metallien yhdisteet voivat kerääntyä elimistöön, on tärkeää, jotta ihmiset, eläimet ja kasvit voivat hyödyntää niitä hivenaineina. [8]

15.5.2 Ilman laatu ja mukavuus

Rakennuksen ilman laatu määräytyy saastumislähteiden mukaan sekä sen mukaan, miten hyvin ilmastointijärjestelmä pystyy kuljettamaan epäpuhtaudet pois. Siksi tulee asettaa vaatimuksia sekä rakennuksen ilmastointijärjestelmälle että rakennusmateriaaleille ja rakennuksen erilaisille rakenneratkaisuille.

Päästöt rakennusmateriaaleista, erityisesti kosteista materiaaleista, voivat heikentää ilman laatua ja lisätä ihmisten terveysriskejä. Esimerkki mitattavista päästöistä talon



Kuva 15.7 Kosteuden vaurioittamia puutukia vaihdetaan ohutlevytukiin.

sisällä ovat eräät haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet). Rakennuksissa käytettäviä tuotteita, joista saattaa päästä ilmaan yhdisteitä, ovat muun muassa liimat, pakkelit, tiivistysmassat ja maalit. Päästöjä esiintyy eritoten materiaalien ollessa uusia. Terästuotteista ei synny päästöjä sisäympäristöön, ja muiden tavallisten teräsrakennustuotteiden, kuten betonin, kipsilevyjen, mineraalivillan ja muovien, päästöjen määrät ovat normaalioloissa hyvin pieniä. [18]

Toinen mukavuusvaatimus koskee äänieristystä. Asunnoissa, joissa vaatimustaso on korkein, on viranomaisvaatimuksia pienimmälle sallitulle ilmassa kulkevan äänen eritykselle ja suurimmalle askeläänten tasolle. Älykkäiden järjestelmäratkaisujen ansiosta myös kevyissä teräsrakennusjärjestelmissä, joissa käytetään ohutlevyjä, saavutetaan meluluokkaa B koskevat korkeat kansainväliset vaatimukset (ks. esimerkiksi kuva 15.9). Tekniikka riittää myös luokan A vaatimusten täyttämiseen.

Erilaiset elektroniikkalaitteet synnyttävät sisäympäristöön magneettikenttiä. Näitä kenttiä on vaikea estää, eikä niihin voi vaikuttaa rakennusmateriaalien valinnalla. Rakennuksen magneettikenttiä voidaan kuitenkin pienentää niiden muodostumispaikoissa esimerkiksi viisijohdinjärjestelmiä asentamalla. Sähkökenttiä sen sijaan voidaan vähentää helposti maadoittamalla ja suojuksilla. Maadoitettu teräsrunko ja yhteenliitetyt ohutlevyosat poistava rakennusten sähköasennusten tuottaman sähköisen vaihtokentän lähes kokonaan. Teräsrungon kenttää pienentävää vaikutusta hyödynnetään muun muassa häiriöalttiissa ympäristöissä, ja ne voivat olla sopiva rakennevalinta myös sähkölle herkille henkilöille. [7]

15.5.3 Työympäristö

Rakennemateriaaliksi valitaan yleensä teräs, jos työn rakennuspaikassa on sujuttava nopeasti. Terästuotteet tai valmiit elementit tuodaan esivalmistettuina työpaikalle, jossa ne asennetaan ja liitetään yhteen erilaisilla kiinnittimillä ja liitoksilla. Ruuviliitos mahdollistaa päästöttömän asennustyön, ja rakenteen asennuksessa tai purkamisessa tarvittava työntekijöiden panto on vähäinen.

Sinkitettyjä rakenneosia hitsattaessa syntyvä savu voi sisältää sinkkioksidia, joka saattaa aiheuttaa myrkytysoireita tai muutoksia keuhkoissa. Työstä ei aiheudu vaaroja, jos käytetään vaadittavia suojavarusteita. Hitsaustyön vaikutukset ulkoympäristöön ovat pieniä.

Maalaustyöhön liittyy paljon erilaisia suojaohjeita, määräyksiä ja suosituksia. Kaikella maalien ja muiden kemiallisten tuotteiden käsittelyllä voi olla suoria terveysvaikutuksia. Siksi työntekijöille, suojavarusteille, työkaluille, työpaikoille sekä urakoille asetetaan korkeat vaatimukset. Monet ruotsalaisyritykset ovat valtuutettuja ruostesuoja-maalareita, mikä tarkoittaa, että ne täyttävät laatua ja ympäristöä koskevat minimivaatimukset. Yksityiskohtaisempi kuvaus on luvuissa 9 ja 11.

15.6 YMPÄRISTÖOHJAUS

15.6.1 Ympäristöluokat

Normit, joita aikaisemmin sanottiin rakennusrakenteiden ympäristöluokiksi, muodostavat nykyään ruotsalaisen ja kansainvälisen korroosioluokkia koskevan standardin (SS-EN ISO 12944-2; ks. kappale 11.1). Korroosioluokkien tärkein pääsovellusalue on teräsrakenteiden ruostesuojaus. Luokkia sovelletaan muun muassa BSK- ja ENV 1090 -standardien mukaan. [2]

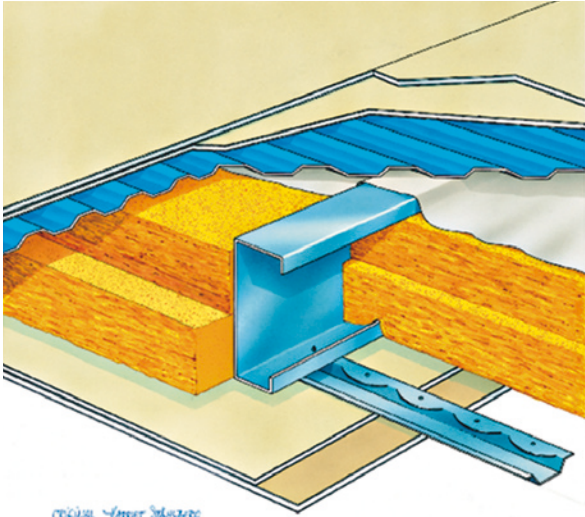
Luokat C1–C4, C5-I (teollisuus) ja C5-M (merenkulku) sekä Im1–Im3 ilmaisevat ympäristön korrosiivisuuden siten, että suurempi numero tarkoittaa suurempaa korrosiivisuutta. Korrosiivisuudella tarkoitetaan kykyä vaikuttaa materiaalin ruostumiseen ja nopeuttaa sitä. C-luokat liittyvät ilman korrosiivisuuteen ja Im-luokat rakenteisiin, jotka ovat jatkuvasti kosketuksissa maahan tai veteen (ks. myös kappale 11).

15.6.2 Lait ja ympäristöpolitiikka

Yksi valtion pitkäaikaisista tavoitteista ympäristötyössä on ekologisesti kestävä yhteiskunnan luominen. Tavoitteena on pitkäaikainen tasapainotila, jossa yhteiskuntajärjestelmä



Kuva 15.8 Ruostumattomasta teräksestä valmistettu Apatébron-silta Tukholmassa.



Kuva 15.9 Hyvin äänieristetty kevyt välipohja. Kattokipsilevyt on kiinnitetty ns. akustiikkaprofiileihin.

ottaa toiminnassaan huomioon muun muassa ekologian, luonnonvarat, hyvinvoinnin ja terveyden. Terästeollisuus ja rakennusala muodostavat merkittävän osan teollisen yhteiskunnan perustasta, joten niillä on myös suuri vaikutus tulevaisuuden ympäristötilanteeseen.

Teräsrakentajat voivat vaikuttaa kestäväen yhteiskunnan kehittämiseen pitämällä rakennusten tuotannon, käytön ja loppukäsittelyn aiheuttaman ympäristökuormituksen mahdollisimman pienenä. Tärkeimpinä parametreina voidaan pitää energian ja luonnonvarojen vähäistä käyttöä, pitkää käyttöikää sekä hyvää uudelleenkäyttö- ja kierrätysastetta.

Ruotsissa eduskunta laatii ympäristölait ja ympäristöpoliittiset tavoitteet. Näistä lähtökohdista muun muassa ympäristönsuojelulaitos Naturvårdsverket pyrkii 15 erilaiseen ympäristön laatutavoitteeseen, joita ovat muun muassa puhdas ilma, hyvä asuinympäristö ja rehevöitymisen välttäminen. Aikahorisonttina on sukupolvi. [16]

Agenda 21 on YK:n kestäväen kehityksen toimintaohjelma 21. vuosituhanalle (siitä myös nimi). Ohjelma tuottaa ajanmukaisia tavoitteita ja ohjeita kestäväen kehitykseen tähtäävään työhön. Ruotsi on allekirjoittanut Agenda 21:n, ja vastuu sen toteuttamisesta on kunnilla. Siksi maassa on myös useita paikallisia ympäristön ja yhteiskunnan kehittämiseen tähtääviä toimintasuunnitelmia.

Juridisella tasolla Ruotsin teräsrakentamisen ympäristötyötä ohjaavat lähinnä ympäristökaari (Miljöbalken) sekä suunnittelu- ja rakennuslaki (PBL). Muita asiaan liittyviä lakeja ja määräyksiä ovat muun muassa jätteenkäsittelyä sekä rakennusten teknisiä ominaisuuksia koskevat vaatimukset. Erilaiset elimet, kuten Kretsloppsdelegation ja Byggsektorns Kretsloppsråd, laativat yksityiskohtaisia ympäristökäytäntöjä rakennusalalle.

15.6.3 Vapaaehtoiset toimenpiteet

Markkinoiden tekemillä valinnoilla on suuri vaikutus ympäristöön, ja yleensä markkinat sekä käyttäjät asettavat rakennusten ja rakennustuotteiden laadulle sekä ympäristölle korkeampia vaatimuksia kuin lait ja säädökset. Panostus markkinointiviestintään, esimerkiksi ympäristömerkkeihin ja rakennustavaraselosteisiin, on vielä vapaaehtoista.



Kuva 15.10 Esimerkkejä ympäristömerkeistä: Joutsenmerkki, EU-kukka, P-merkki ja Indoor Climate Label.

Kansainväliset ympäristöstandardit ja ympäristöasioiden hallintajärjestelmät, kuten EMAS ja ISO 14000, on kehitetty muun muassa ohjaamaan markkinoiden ympäristötyötä ja asettamaan sille perusehdot. Standardien soveltaminen on vapaaehtoista, mutta ne ovat lisänneet merkittävästi ympäristökysymysten integrointia yritysten päivittäiseen toimintaan. Ruotsissa Byggsektorns Kretsloppsrad antaa kansallisia ohjeita rakennustavaraselosteiden (ISO 14021 -standardin mukainen tyyppi II) laatimisesta. Selosteet sisältävät tiettyjä ympäristötietoja rakennustavarasta rakennuksen koko elinkaari huomioon ottaen. Nykyään tyyppi II selosteita voi saada rakennustavaroimittajilta tai monien teräsrakennustuotteiden keskustietokannoista.

Ympäristötuoteselosteet (ISO 14021 -standardin mukainen tyyppi II) voidaan myös sertifioida. Ruotsissa sertifiointiasioiden koordinoinnista vastaa ympäristöorganisaatio Miljöstyrningsrådet. Sertifiointi edellyttää muun muassa ulkoisten osapuolten arvioimaa elinkaarianalyysia, jollainen on laadittu useille teräsrakennuksille ja teräsrakennustuotteille. Lisäksi terästeollisuus ylläpitää maailman suurinta yksittäistä materiaalitietokantaa (niin sanottua LCI-tietokantaa), joka sisältää tietoja raaka-aineista, päästöistä ja energiasta. [9] [10] [14]

Tuotteille voi myös hakea jotain tyyppi I (ISO 14024) ympäristömerkintää, jonka myöntämisperusteet laaditaan kyseisessä ympäristömerkintäorganisaatiossa. Tällaisia ympäristömerkintöjä ovat muun muassa joutsenmerkki (pohjoismainen ympäristömerkki) ja P-merkki, Ruotsin testi- ja tutkimuslaitoksen (Provnings- och Forskningsinstitut, SP) myöntämä laatu- ja ympäristösertifiointi. SP:llä on sertifiointisäännöt muun muassa ohutlevyjä käyttäville seinäelementeille, kun taas pohjoismaisella ympäristömerkintäorganisaatio ei toistaiseksi (2004) ole laatinut ympäristömerkin myöntöperusteita rakennusjärjestelmissä käytettävälle teräkselle. Terästuettulle seinäjärjestelmälle on myönnetty tanskalainen sisäympäristömerkintä Indoor Climate Label.

KIRJALLISUUTTA

- [1] *World Steel in Figures*, 2003 Edition, International Iron and Steel Institute, Bryssel (2003)
- [2] *Boverkets handbok om stålkonstruktioner* (BSK 99), Boverket, Karlskrona (2000)
- [3] *Boverkets handbok om användning av återvunna byggnadsmaterial* (BÅ 99), Boverket, Karlskrona (1999)
- [4] www.merox.se, SSAB Merox AB, Oxelösund (2004)
- [5] Persson A. *Energianvändning i bebyggelsen*, Ingenjörsvetenskapsakademien, Tukholma (2002)
- [6] Paulsen J. *Life Cycle Assessment for Building Products – The significance of the usage phase*, Kungliga Tekniska Högskolan, Tukholma (2001)
- [7] Hamnerius Y. *Elektriska och magnetiska fält i byggnader*, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg (1996)
- [8] Landner L. et al. *Zink - Resurs och/eller hot?*, Miljöforskargruppen, Tukholma (1996)
- [9] *ISI Life Cycle Inventory Study for Steel Products 1999/2000*, International Iron and Steel Institute, Bryssel (2002)
- [10] Adilstam T. *Livscykelanalys av bostadshus i Lättbyggnad*, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1997)
- [11] Widman J. *Stålet och miljön, Jernkontoret, Tukholma (2001)*
- [12] *Nicklasson T. Användning av lättbyggnad med stål för sanering av fukt- och mögelskador i träytterväggar*, Kungliga Tekniska Högskolan, Tukholma (2001)
- [13] *Handbok i rostskyddsmålning*, Bulletin 107, Korrosionsinstitutet, Tukholma
- [14] Widman J. *Livscykelanalys av samverkansbroar*, Stålbyggnadsinstitutet, Tukholma (1998)
- [15] Johansson B. *Byggsektorns betydande miljöaspekter*, Byggsektorns kretsloppsrad, Tukholma (2001)
- [16] miljomal.nu, ympäristöalan tavoitteita käsittelevä Internet-sivusto (2004)
- [17] Nevander L.-E. et al. *Fukthandbok. Teori och praktik*, Svensk Byggtjänst, Tukholma (1994)
- [18] Tengberg C. S. *Handbok för ytterväggar – lättbyggnad med stål*, Publikation 180, SBI, Tukholma (2004)

TEKIJÄT

Kappaleen alkuperäisversion Stålbyggnad-kirjan kolmannen painokseen on kirjoittanut Joakim Widman (SBI). Hän on myös uudistanut tämän painoksen kappaleen.



Teräsrunko.

16. MITOITUS

Tämä osa käsittelee rakennusosien kuten, pilarien ja palkkien, sekä hitsi- ja ruuviliitosten mitoittamista. Mitoitus perustuu Eurokoodi 3:n ohjeisiin.

Mitoituksessa tarvittavat voimasuureet saadaan rakenneanalyysin pohjalta. Rakenneanalyysissä muodostetaan rakennemalli, jonka voimasuureet ja muodonmuutokset lasketaan rakenteiden mekaniikan menetelmin. Rakennemallin ja kuormitusten tulee vastata riittävällä tarkkuudella todellista tilannetta. Rakenneanalyysissä tulee lisäksi selvittää rakennuksen kokonaisstabiilitetti ja jäykistys. Rakenneanalyysin laskentaa ei ole käsitelty tässä osassa. Rakenneanalyysi ja mitoitus muodostavat kokonaisuuden, jota kutsutaan rakennelaskelmiksi.

Tässä osassa keskitytään normaalin teräsrunkorakenteiden mitoittamiseen. Yleisesti käytettyjen ohutlevyrakenteiden tai erikoistapausten kuten siltojen, siilojen ja mastojen mitoittamista ei käsitellä. Samoin teräsrakenteiden palomitoitus on jätetty pois tästä osuudesta, vaikka se on varsin tärkeää ja merkityksellistä teräsrakenteiden suunnittelussa. Myöskään teräsrakenteiden väsymiskestävyyttä tai sen mitoittamista ei käsitellä. Vaikka näitä tapauksia ja ilmiöitä ei tässä käsitelläkään, tulee suunnittelijan olla tietoinen niiden vaikutuksista ja huomioon ottamisesta kokonaisvaltaisessa suunnittelussa.

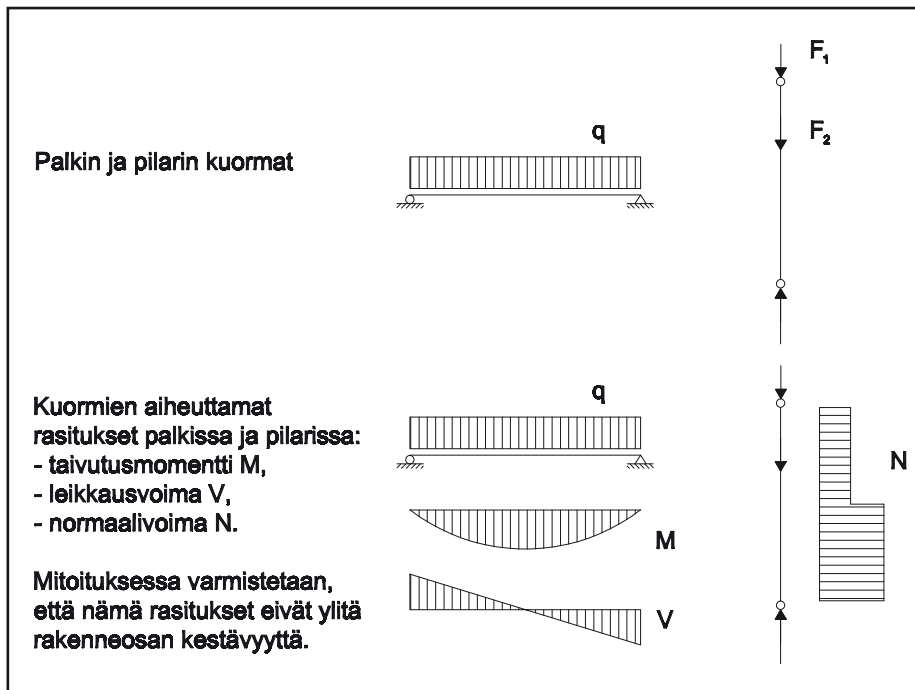
16.1 MITOITUKSEN PERUSTEET

Mitoituksen tarkoituksena on, että rakenne kestää sille tulevat rasitukset riittävällä varmuudella. Mitoituksessa huomioidaan todellisten kuormitusten aiheuttamat rasitukset kuten normaalivoima, leikkausvoima ja taivutusmomentti. Kuormitusten aiheuttamia rasituksia yksittäisille rakenneosille on esitetty kuvassa 16.1.

Rakenteen kestävyys voi ylittyä, mikäli rasitukset ylittävät sen lujuuden tai se menettää stabiiliutensa. Lujuuden ylitymisessä on kyse materiaalin lujuudesta ja siitä, että poikkileikkauksessa olevat jännitykset ylittävät materiaalin lujuuden. Tällöin rakenneosan materiaali murtuu tai myötää. Tyypillisenä stabiilitetin menetyksenä taas voidaan pitää pilarin nurjahtamista, jolloin rakenne voi pettää, vaikka rasitukset eivät ylittäisikään materiaalin lujuutta.

16.1.1 Määräykset ja ohjeet

Mitoituksen tulee perustua sitoviin ja voimassaoleviin rakentamismääräyksiin. Yleensä mitoitusohjeina ovat kohdemaan kansalliset määräykset. Euroopan yhteisön maissa ollaan siirtymässä vuoteen 2010 mennessä yhtenäiseen Eurokoodi -järjestelmään. Teräsrakenteiden suunnittelua koskevat ohjeet ja määräykset on esitetty järjestelmän osassa Eurokoodi 3, Teräsrakenteiden suunnittelu.



Kuva 16.1 Kuormituksen aiheuttamat rasitukset rakenneosaan.

| Tarkastelutilanne | Pysyvät kuormat (γ_G) | | Muuttuvat kuormat (γ_Q) | |
|-------------------|--------------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | (γ_G) | (γ_G)* | Määräävä muuttuva kuorma | Muu muuttuva kuorma ** |
| Murtorajatila, ** | $1,15 \cdot K_{FI}$ 1,35 | 0,9 0,9 | $1,5 \cdot K_{FI}$ - | $1,5 \cdot K_{FI} \cdot \psi_0$ - |
| Käyttörajatila | 1,0 | 1,0 | 1,0 | $1,0 \psi_0$ |

Rakennuksen luotettavuusluokan mukainen kerroin K_{FI} määritellään seuraavasti:

- luotettavuusluokassa RC3 (suuret seuraamukset), $K_{FI} = 1,1$
- luotettavuusluokassa RC3 (keskisuuret seuraamukset), $K_{FI} = 1,0$
- luotettavuusluokassa RC3 (vähäiset seuraamukset), $K_{FI} = 0,9$

* osavarmuusluku, kun voiman vaikutus edullinen
 ** kun kuormituksen huomioidaan ainoastaan pysyvä kuorma
 *** muun muuttuvan kuorman kanssa käytetään lisäksi yhdistelykerrointa (16.2)

Taulukko 16.1 Kuormitusten osavarmuuskertoimet, EN 1990.

| Kuorma | Yhdistelykerroin ψ_0 |
|-------------|---------------------------|
| Hyötykuorma | 0,7 1,0* |
| Lumikuorma | 0,7 |
| Tuulikuorma | 0,6 |

* varastotilojen hyötykuormat
 Lisäksi ovat yhdistelykerroimet ψ_1 ja ψ_2 ei yleisille tapauksille kuten onnettomuustilanteille; myös muut poikkeukset ohjeessa EN 1990

Taulukko 16.2 Yleisimpien muuttuvien kuormien yhdistelmäkerroimet, EN 1990.

| | |
|---|--|
| EN 1990 Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet | |
| EN 1991 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osat 1 – 4. | |
| EN 1993 Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu | |
| Osa 1-1: | Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt |
| Osa 1-2: | Yleiset säännöt. Rakenteellinen palomitoitus |
| Osa 1-3: | Kylmämuovaamalla valmistetut sauvat ja levyt. |
| Osa 1-4: | Ruostumattomat teräkset |
| Osa 1-5: | Levyrakenteet. |
| Osa 1-6: | Kuorirakenteiden lujuus ja stabiilius. |
| Osa 1-7: | Poikittain kuormitettujen tasomaisten levyjen lujuus ja stabiilius. |
| Osa 1-8: | Liitosten suunnittelu |
| Osa 1-9: | Väsyminen |
| Osa 1-10: | Teräksen valinta haurasmurtuman suhteen ja paksuussuuntaisen ominaisuudet. |
| Osa 1-11: | Köysien ja vetotankojen suunnittelu |
| Osa 1-12: | Teräslajeja S500...S700 koskevat lisäsäännöt |
| Osa 2: | Terässillat |
| Osa 3-1: | Mastot ja piiput. Mastot. |
| Osa 3-2: | Piiput. |
| Osa 4-1: | Siilot |
| Osa 4-2: | Säiliöt |
| Osa 4-3: | eräsrakenteiden suunnittelu. Putkistot |
| Osa 5: | Paalut |
| Osa 6: | Nostureita kannattavat rakenteet. |

Kuva 16.2 Teräsrakenteiden mitoitusohjeet Eurokoodi ohjeet.

Rakentamishjeiden ja -määräysten lisäksi suunnittelijoilla on käytössä myös ohjeita ja käsikirjoja, jotka täydentävät varsinaista määräyskokoelmaa.

Tässä osassa käsiteltävät mitoitusmenetelmät perustuvat Eurokoodi 3:n mukaisiin ohjeisiin. Eurokoodi järjestelmä teräsrakenteiden suunnittelun osalta on esitetty alla olevassa kuvassa 16.2.

16.1.2 Rajatilamitoitus ja osavarmuusluvut

Rakenteen kestävyys varmistamiseksi kuormitukset ja niiden yhdistelyt lasketaan kertomalla nimelliskuormat määräysten mukaisilla osavarmuus- ja yhdistelykertoimilla. Lisäksi

käytetään standardien mukaisia materiaalien lujuuksia, joiden suunnitteluarvot saadaan jakamalla nimellisarvot materiaaliolosuhteiden mukaisilla kertoimilla. Näiden kerrottujen nimellisarvojen avulla saavutetaan haluttu kokonaisvarmuus, joka mitoituksessa tulee taata. Tätä mitoitusta kutsutaan **murtorajatilamitoitukseksi**.

Kestävyys varmistamisen lisäksi tulee tarkistaa, etteivät rakenteen taipumat ja siirtymät kasva liian suuriksi tai ettei kuormituksesta aiheudu epämiellyttävää värähtelyä. On varmistettava, ettei rakenteiden toiminnasta aiheudu esteitä tai haittaa rakennuksen käytölle. Tätä mitoitusta kutsutaan **käyttöraajatilamitoitukseksi**.

| Tarkastelutilanne | Osavarmuusluku (γ_M) |
|---|-------------------------------|
| Poikkileikkauksien kestävyys | $\gamma_{M0} = 1,0$ |
| Sauvojen nurjahduskestävyys | $\gamma_{M1} = 1,0$ |
| Poikkileikkauksien kestävyys vetomurtumisen suhteen | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| Ruuviliitoksen kestävyys | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| Hitsiliitoksen kestävyys | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| Muut osavarmuusluvut on esitetty tapauskohtaisesti muiden liitosten osalta osassa 1-8 sekä muiden rakenteiden osalta Eurokoodi 3 osissa 2-6 | |

Taulukko 16.3 Yleisimmin käytettävät materiaalin osavarmuusluvut, EN 1993-1-1.

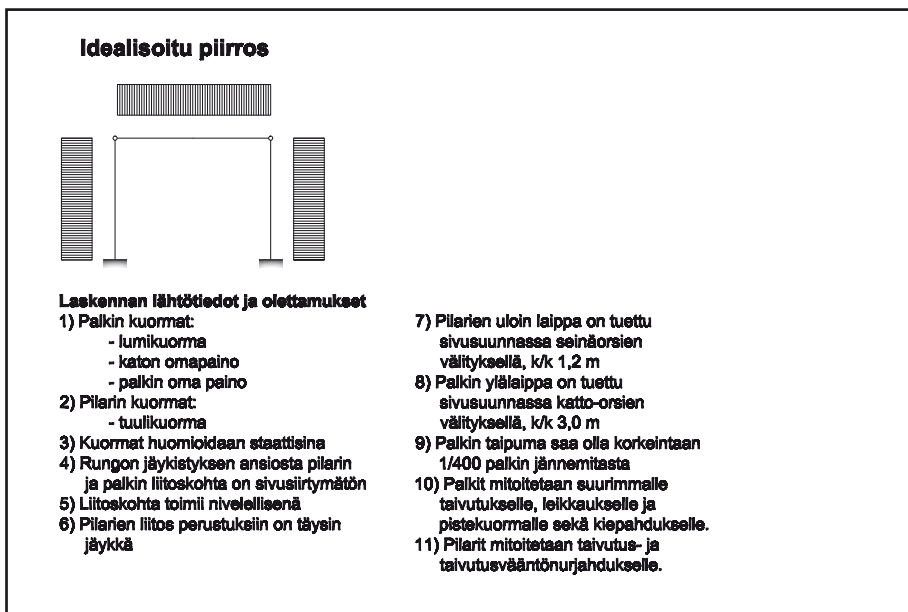


Kuva 16.3 Pilaripalkkirunko.

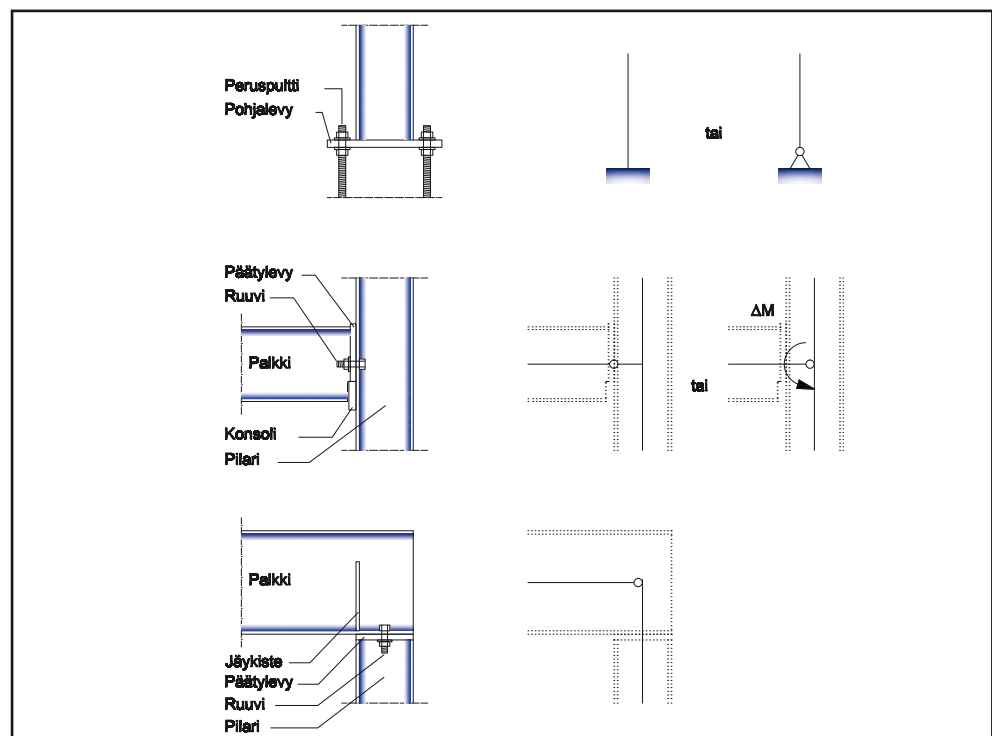
Rajatilamitoituksen mukaiset kuormien osavarmuusluvut määritellään Eurokoodi ohjeiston osassa EN 1990 (Taulukko 16.1). Esitetyt varmuusluvut ovat yleisiä ja käytettävissä kaikkialla Euroopassa.

Kun rakenneosaan vaikuttaa useampia muuttuvia kuormia, voidaan muita kuin määrävintä kuormaa pienentää ns. yhdistelytekijällä ψ . Normaalitilanteessa käytettävät yhdistelytekijät on esitetty taulukossa 16.2.

Näiden kertoimien perusteella muodostetaan mitoitusessa käytettävät kuormitusyhdistelmät. Kuormitusyhdistelmien kaava on yleisessä muodossaan:



Kuva 16.4 Esimerkki laskentamallista.



Kuva 16.5 Esimerkkejä teräsrakenteiden liitosdetaljien esittämisestä.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \gamma_{Q,i} Q_{k,i} \quad (16.1)$$

Yleisin rakennusten luotettavuusluokka on 2. Kun rakennukseen vaikuttavat yleisimmät kuormat kuten pysyvät kuormat, lumi- ja tuulikuormat, voidaan murtorajatilassa käyttää esimerkiksi seuraavanlaisia yhdistelmiä:

$$\begin{aligned} 1,15 * G_{\text{pysyvät}} & \\ 1,15 * G_{\text{pysyvät}} & + 1,5 * G_{\text{lumi}} \\ 1,15 * G_{\text{pysyvät}} & + 1,5 * G_{\text{tuuli}} \\ 1,15 * G_{\text{pysyvät}} & + 1,5 * G_{\text{lumi}} + (0,6 * 1,5) * G_{\text{tuuli}} \\ 1,15 * G_{\text{pysyvät}} & + 1,5 * G_{\text{tuuli}} + (0,7 * 1,5) * G_{\text{lumi}} \end{aligned}$$

Lisäksi eri materiaalien kestävyysominaisuudet otetaan huomioon mitoituksessa materiaalin osavarmuuskertoimilla. Teräksen materiaaliosavarmuudet on annettu ohjeessa EN 1993-1-1 ja ovat taulukon 16.3 mukaisia.

16.1.3 Laskentamalli

Rakenneanalyysiä varten täytyy ensiksi luoda laskentamalli. Se on yksinkertaistettu malli rakenteesta ja sen vaikutustavasta. Jos täytyy esimerkiksi mitoittaa pilari-palkkirunko, kuten kuvassa 16.3, tulee se aloittaa tekemällä selväksi seuraavat asiat:

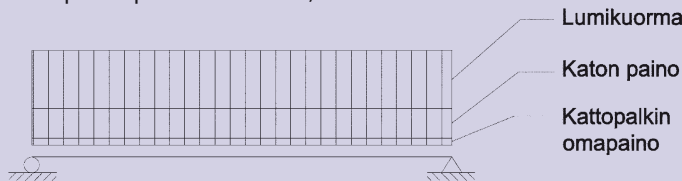
ESIMERKKI 16.1

Kattopalkkia rasittaa katon omapaino ja lumikuorma.

Rakenne kuuluu luotettavuusluokkaan 2.

Kuormitukset ovat tasan jakautuneet palkin pituudelle ja niiden ominaisarvot ovat:

| | |
|-------------------|----------|
| Lumikuorma | 15 kN/m |
| Katon omapaino | 4,0 kN/m |
| Kattopalkin paino | 0,8 kN/m |



Laske kyseisen tapauksen mitoituskuormitus EN 1990 (FI) Taulukon 1 kertoimilla (KFI = 1,0) kaavasta 16.1 saadaan:

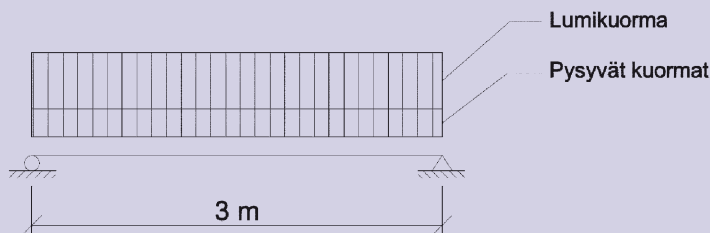
$$\begin{aligned} q_d &= 1,15 \cdot (4,0 + 0,8) \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 15 \text{ kN/m} \\ q_d &\approx 28,0 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

ESIMERKKI 16.2

Kattopalkkia rasittaa katon omapaino ja lumikuorma. Kuormitusten ominaisarvoiksi saadaan:

Pysyvät kuormat (sisältäen palkin painon) 3,0 kN/m

Lumikuorma 10 kN/m



Rakenteen luotettavuusluokka on 2.

Laske palkin määräävä rasitus (oletuksena taivutusmomentti).

Mitoituskuorma:

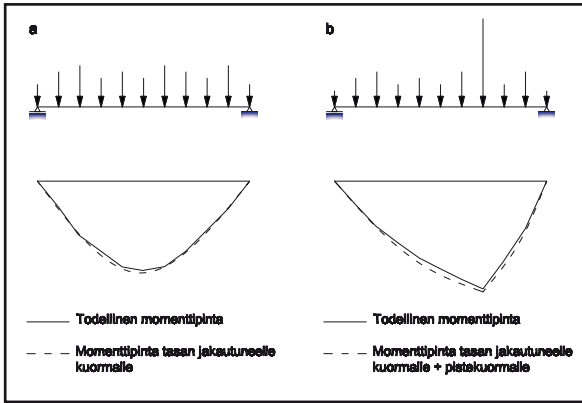
Vapaasti tuetun yksiaukkoisen palkin maksimi taivutusmomentti on:

$$q_d = 1,15 \cdot 3,0 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 10 \text{ kN/m}$$

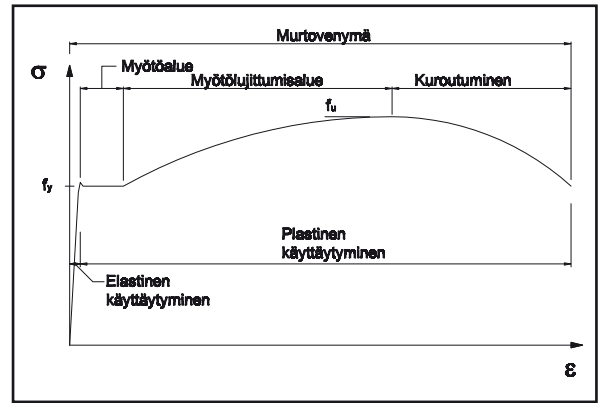
$$q_d = 18,45 \text{ kN/m}$$

$$M_{\text{max}} = q l^2 / 8, \text{ joten lopputuloks: } M_{Ed} = \frac{q_d l^2}{8} = \frac{18,45 \text{ kN/m} \cdot (3,0 \text{ m})^2}{8} = 20,76 \text{ kNm}$$

Palkin tulee kestää vähintään taivutusmomentin $M_{Ed} = 20,8 \text{ kN/m}$ suuruinen rasitus.



Kuva 16.6 Todellinen ja yksinkertaistettu momenttipinta.



Kuva 16.7 Yksinkertaistettu rakenne teräksen jännitys-venymäkäyrä.

- mitä kuormia rakenteisiin vaikuttaa (kuormatyyppi, suuruus ym.)
- mikä on rakenteen toimintatapa, toisin sanoen miten se käyttäytyy kuormituksen alaisena, miten se on tuettu ja jäykistetty
- mitoituskriteerit, mitä ohjeita ja määräyksiä käytetään

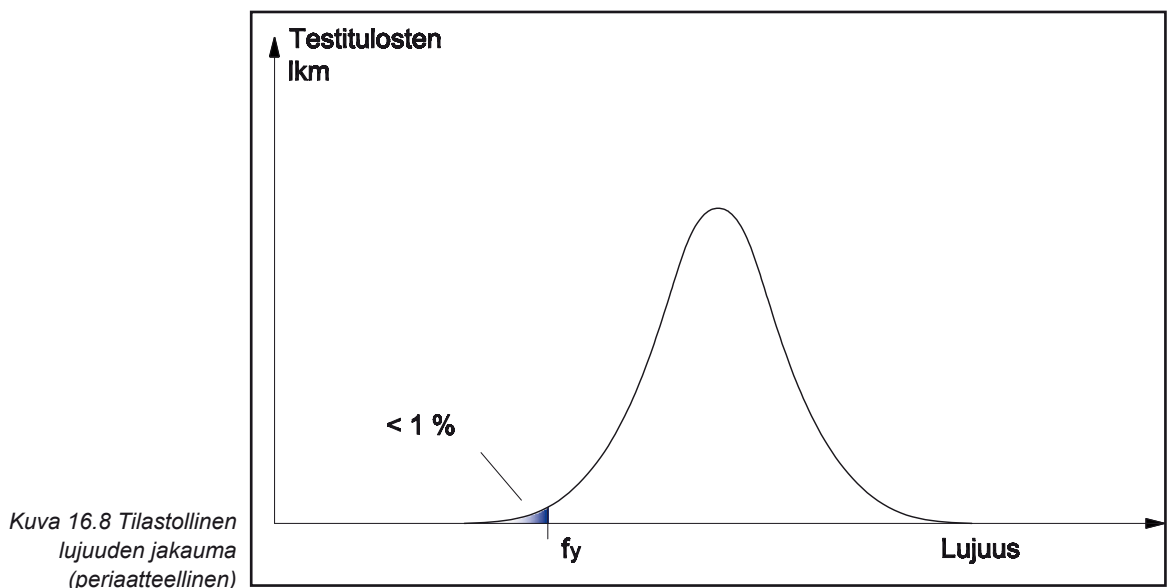
Kun nämä mitoituksen lähtökohdat on selvitetty, voidaan laskentamalli muodostaa.

Laskentamallin tulee esittää rakennetta riittävän tarkasti rakenteen toiminnan ja voimien siirtymisen selvittämiseksi. Kuvassa 16.4 on todelliset liitokset kuvattu nivelillä. Tämän tarkoituksena on yksinkertaistaa mallia niin paljon, että voimien jakautuminen sekä momentin, leikkaus- ja normaali-voiman suuruudet voidaan ratkaista. Koska palkin tukiehdot vaikuttavat merkittävästi voimien jakautumiseen ja suuruuteen, tulee niiden mallintamiseen kiinnittää erityistä huomiota. Esim. kuvassa 16.5 on esitetty muutamia esimerkkejä tyypillisistä detalleista ja niiden mallintamisesta. On tärkeää huomioida, että voimien laskennassa ja mitoituksessa käytetään aina samaa mallinnustapaa.

Mitoituskaavat sisältävät tietyn varmuuden myös laskentamallin pienten poikkeamien varalta. Mikäli laskentamalli sisältää merkittäviä yksinkertaistuksia, tulee niiden olla mitoituksen kannalta varmallalla puolen.

Laskentamallin kuormitukset esitetään yleensä karkeasti yksinkertaistamalla todellista tilannetta. Kuormana käytetään usein tasan jakautunutta kuormaa, vaikka todellisudessa kuormitus voi olla monimutkaisempi. Jos esimerkiksi täytyy selvittää taivutusmomentin jakautuminen palkille jossa on useita pistekuormia, voidaan kuormitus yksinkertaistaa käyttämällä tasan jakautunutta viivakuormaa. Tällöin on kuitenkin varmistuttava, että rasitukset ovat samansuuruisia tai vähän suurempia kuin todellisella kuormituksella. Kuvassa 16.6 on esitetty kuormitusten mallintamista tasan jakautuneella kuormalla.

Eurokoodi -ohjeissa annetaan joidenkin kuormitusten, kuten yleisimpien hyötykuormien sekä lumi- ja tuulikuormien, suuruudet ja jakautumat. Usein kuormitukset joudutaan määrittelemään tapauskohtaisesti yhdessä tilaajan ja viranomaisten kanssa.



Kuva 16.8 Tilastollinen lujuuden jakauma (periaatteellinen)

| Teräslaji EN 10025 | Ainepakkaus | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | t ≤ 40 mm | | 40 mm < t ≤ 80 mm | |
| | f _y [N/mm ²] | f _u [N/mm ²] | f _y [N/mm ²] | f _u [N/mm ²] |
| S235 | 235 | 360 | 215 | 360 |
| S275 | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S355 | 355 | 510 | 335 | 470 |
| S420 | 420 | 520 | 390 | 520* |
| S460 | 460 | 540 | 430 | 540* |

Nämä arvoja voidaan käyttää yleisesti kaikille rakenneteräksille. Tarkemmat arvot mm. rakenneputkille löytyvät ohjeesta EN 1993-1-1 sekä materiaalistandardeista.
* vaihtelee hieman materiaalin käsittelytavasta riippuen (N/NL/M/ML)

Taulukko 16.4 Yleisimpien rakenneterästen nimellislaajuudet, EN 1993-1-1.

16.1.4 Materiaaliominaisuudet

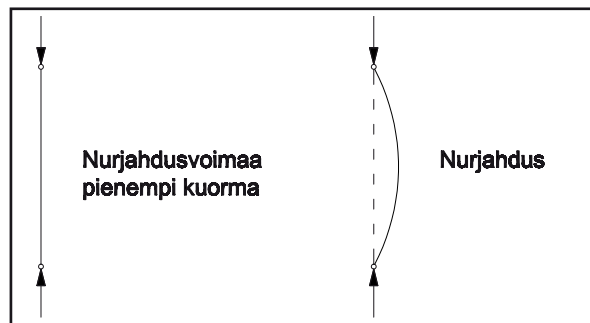
Materiaaliominaisuuksilla on vaikutusta teräsrakenteen toimintaan ja kestävytyteen. Kestävytyden ja muodonmuutosten kannalta tärkeimpiä ovat seuraavat materiaaliarvot:

- myötö- ja murtolujuus: f_y, f_u
- kimmo- ja leikkausmoduuli: E, G

Kuvassa 16.7 on esitetty venymän ja jännityksen välinen yhteys tavallisille rakenneteräksille. Jännitys-muodonmuutoskuvaaja on havainnollinen kuvattaessa teräsrakenteelle tyypillisiä ja mitoituksen kannalta merkittäviä käyttäytymismalleja.

Myötölujuutta f_y käytetään yleisimmin mitoituskaavoissa mittaamaan materiaalin kestävytyttä. Sillä tarkoitetaan sitä jännitystä, jonka jälkeen materiaali alkaa käyttäytymään plastisesti toisin sanoen materiaali myötää. Jännitysten ollessa myötöjännitystä alempia, venymät ovat vielä hyvin pieniä. Tällöin puhutaan noin 0,1 - 0,2 prosentin muodonmuutoksesta materiaalin lujuudesta riippuen. Materiaalin myötöämistä kutsutaan myös plastisoitumiseksi. Kun koko poikkileikkauksessa jännitykset ylittävät myötörajan, puhutaan poikkileikkauksen plastisoitumisesta.

Murtolujuudella f_u tarkoitetaan materiaalin suurinta jännitystä, joka on saatu vetokokeiden perusteella. Jännityksen ylittäessä murtolujuuden, rakenteen muodonmuutokset kasvavat nopeasti murtovenymään saakka, jolloin rakenne murtuu. Normaalilla rakenneteräksellä murtolujuus saavutetaan venymän ollessa noin 10-15 prosenttia. Murtovenymä normaalilla rakenneteräksellä on luokkaa 15-25 prosenttia. Materiaalin riittävä murtovenymä on erittäin tärkeää rakenteen sitkeyden kannalta. Teräksen lujuuden



Kuva 16.9 Pilarin nurjahdus.

Tietoisku

Robert Hooke (1635 – 1703) syntyi Wightsaarella, jossa hänen isänsä työskenteli pappina. Jo pienenä hän kiinnostui mekaniikasta ja loi leikeissään mekaanisia rakenteita. Täytettyään 18 vuotta hänet lähetettiin Oxfordiin kuoripojaksi ja samalla hän sai mahdollisuuden jatkaa opintojaan. Vuonna 1662 hän suoritti filosofian lisensiaatin tutkinnon ja pääsi Royal Society:n jäseneksi Robert Boylen suosituksesta (kuuluu fysiikka ja kemisti). Lahjakkuutensa ja erinomaisen mekaniikan hallinnan ansiosta hän pääsi työskentelemään aikansa tunnetuimpien tiedemiesten kanssa.

Vuonna 1664 Hooke nimitettiin geometrian professoriksi Gresham Collegeen ja vuonna 1678 julkaistiin hänen tutkimuksensa "De potentia Restitutiva", joka sisälsi tuloksia Hooken kokemuksista elastisista kappaleista. Tässä tutkimuksessa Hooke määritteli voiman ja siirtymän välisen yhteyden. Tätä lineaarista yhteyttä kutsutaankin Hooken laiksi ja tunnemme sen parhaimmin jännityksen ja muodonmuutoksen yhteydestä, $\sigma = E \cdot \epsilon$

Hooke ei koskaan käsitellyt jännitystä, vaan käsitteen toi ranskalainen matemaatikko Augustin Cauchy (1789 – 1857), joka n. vuonna 1822 määritteli elastisuusteorian mukaisen jännityksen. Cauchy oli kiinnostunut elastisuudesta luettuaan Navierin (1785 – 1836) tutkimuksen aineiden olomuodoista.

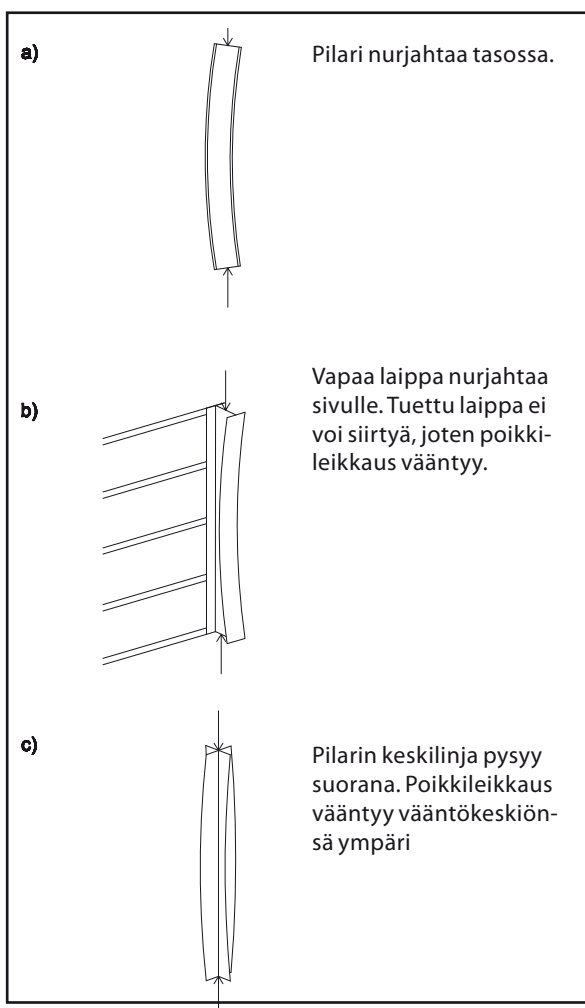
Tietoisku

Bernoullin perhe joutui pakenemaan uskonnollisen vainon vuoksi Hollannista Sveitsiin n. vuonna 1570. Sveitsissä he asettuivat asumaan Baseliin. Bernoullit tulivat tunnetuiksi erityisen lahjakkaina matemaatikkoina. Jacob Bernoulli (1654 – 1705) ja John Bernoulli (1667 – 1748) olivat veljeksiä ja molemmat valittiin ulkomaalaisina jäseniksi Ranskan tiedeakatemiaan.

Jacob Bernoulli käytti ensimmäisenä differentiaalilaskentaa johtaakseen laskentakaavat palkin elastiselle taipumalle. Bernoulli käytti kaavan johtamisessa otaksumaa: ”Ennen kuormitusta sauvan akselia vastaan kohtisuora taso säilyy taivutuksessa tasona ja sauvan akselia vastaan kohtisuorana”. Tätä otaksumaa kutsutaan Bernoullin otaksumaksi, johon perustuu ns. teknillinen taivutusteoria, missä poikkileikkauksen venymät jakautuvat lineaarisesti taivutuskeskeisakselin suhteen.

John Bernoulli oli Jacobin nuorempi veli. John oli aikansa suurimpia matemaatikkoja. Hän oli mukana kehittämässä mm. virtuaalisten siirtymien periaatetta, joka on erityisen tehokas rakenteiden mekaniikan ratkaisumenetelmä. Monet Johnin työt olivat ristiriidassa hänen vanhemman veljensä näkökantojen kanssa, minkä seurauksena veljesten välit rikkoutuivat myöhemmin.

Vaikka John Bernoulli kiinnostui aineiden kestävyyydestä, oli hänen panoksensa lujuusopin kehitykselle vaatimaton. Sen sijaan hänen pojallansa **Daniel Bernoullilla** (1700 – 1782) yhdessä aikalaisensa **Leonhard Eulerin** (1707 – 1783) kanssa on ollut suuri merkitys lujuusopin ja rakenteiden mekaniikan saralla (Bernoulli-Eulerin taivutusteoria eli teknillinen taivutusteoria.).



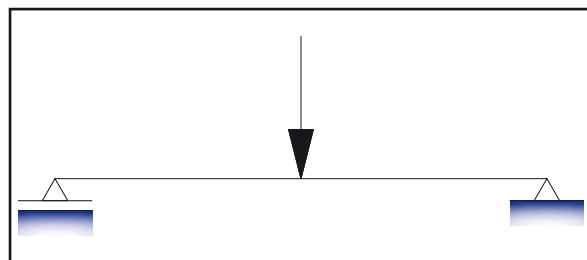
Kuva 16.10 Nurjahdusmuotoja:
a) taivutusnurjahdus (tasossa),
b) taivutusvääntönurjahdus,
c) vääntönurjahdus

kasvaessa sen murtovenymä yleensä pienenee ja sitkeys heikkenee. Tämä on otettava huomioon käytettäessä lujuempia teräslaatuja.

Kimmomoduuli E kertoo jännitysten ja muodonmuutosten suhteen. Toisin sanoen kimmomoduuli on jännitysmuodonmuutoskäyrän kulmakerroin kimmoisella alueella venymän ollessa alle myötörajan. Toisin kun muut lujuusarvot, kimmomoduuli on sama kaikilla teräslajeilla lujuudesta riippumatta. Laskennassa käytettävä kimmomoduulin arvo on 210 000 MPa.

Leikkausmoduuli G ei käy selville suoraan jännitys-muodonmuutoskuvaajasta. Leikkausmoduulin arvo voidaan laskea kimmoisella alueella suoraan kimmomoduulista kaavalla: $G = E/(2(1-\nu))$. Suppeumaluvun ν ollessa 0,3 saadaan leikkausmoduulin arvoksi rakenneteräksille 81 000 MPa.

Lämpölaajenemiskerroin α on teräkselle n. $12 \times 10^{-6} 1/C^\circ$. Lämpölaajenemiskerrointa tarvitaan laskettaessa teräsrakenteen lämpöliikkeitä tai rakenteisiin tulevia pakko-voimia lämpöliikkeen ollessa estetty.



Kuva 16.11 Vapaasti tuettu pistekuorman kuormittama palkki.

Tietoisku

Leonhard Euler (1707 – 1783) syntyi Baselin lähellä Sveitsissä luterilaisen pastorin poikana. Euler alkoi ensin opiskella teologiaa, mutta vaihtoi sen pian matematiikan opintoihin John Eulerin ohjauksessa yhdessä opettajan poikien Danielin ja Nicolaksen kanssa. Vuonna 1727 Euler muutti Pietariin työskennelläkseen sikkäläisessä tiedeakatemiassa ja seurasi siellä vuonna 1733 Daniel Bernoullia matematiikan professorina. Vuodesta 1741 lähtien hän työskenteli Berliinin tiedeakatemiassa 25 vuoden ajan ja palasi sen jälkeen takaisin Pietariin.

Euler on yksi modernin matematiikan perustajista. Hän on antanut suuren panoksen mm. geometrian, differentiaalilaskennan, lukuteorian ja mekaniikan kehitykselle, mutta kehitti myös tähtitieteelle matemaattisia ratkaisuja. Variaatiolaskennasta sai alkunsa mm. Eulerin nurjahduskaava, joka on alla olevan homogeenisen differentiaaliyhtälön variaatiotehtävän ratkaisu.

$$EI \frac{d^2 v}{dx^2} + Pv = 0$$
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

Ratkaisu on tunnettu vuodesta 1744 lähtien Eulerin nurjahduskuormana.

Jo aikaisemmin Euler menetti toisen silmänsä näkökyvyn. Myöhemmin hän sai vielä kaihin terveeseen silmäänsä, minkä vuoksi hän joutui elämään viimeiset 14 vuotta täysin sokeana. Siitä huolimatta hän jatkoi työtään – vain sillä eroituksella, että nyt hänen oli ratkaistava vaikeita matemaattisia ongelmia pääsälaskuna.

Leonhard Euleria pidetään yhdessä Joseph-Louis Lagrangen (1736 – 1813) ohella edistyksellisimpänä 1700-luvun matemaatikkona. Euleria ei voida koskaan aliarvioida hänen tuotteliaisuudestaan tai taidoistaan sekä kekseliäisyydestään kehittää laskentaproseduureja ongelmien ratkaisuun.

Tilastollinen jakauma saman lujuusluokan teräkselle voi periaatteessa olla kuvan 16.8 mukainen. Lujuusluokan taakaama nimellislujuus vastaa arvoa, jonka alle jää vain n. 1 % tilastollisesta materiaalista. Teräslaadun todellinen lujuus on siis yleensä suurempi kuin suunnittelussa käytetty nimellislujuus. Suunnittelussa nimellislujuus jaetaan lisäksi materiaalin osavarmuusluvulla, mikä luo lisävarmuutta suunnitteluun materiaalin kestävyuden suhteen. Kuvassa 16.8 on esitetty nimellislajuuden fy arvo, jota kutsutaan toiselta nimeltään myös suunnittelulujuuden perusarvoksi. Mitoituksessa käytettävät rakenneterästen nimellislujudet on esitetty taulukossa 16.4.

16.1.5 Stabiileetti

Mitoituksessa on huomioitava paitsi materiaalin lujuuteen perustuva kestävyys myös rakenteen ja sen osan riittävä stabiilius. Epästabiiliutta voi esiintyä rakenneosan yksityiskohdissa, esim. uuman lommahtaessa, tai toisaalta koko palkki tai pilari voi nurjautaa tai kiepahtaa. Lopulta koko rakennus tai sen osa voivat romahtaa kokonaistabiileetin ylittyessä esim. kehän nurjauttaessa. Kokonaistabiileetin epästabiiliusmuotoja ei käsitellä tässä kirjassa. Näissä mitoitusohjeissa on esitetty ainoastaan lujuuteen perustuvan kestävyuden ja yksittäisten palkkien tai pilarien epästabiiliuksien laskentakaavat.

Nurjahdus

Yleisin ja tunnetuin epästabiiliuden ilmentymä on pilarin nurjahdus (Kuva 16.9). Puhdas nurjahdusilmiö voi tapahtua pelkästään puristetulle sauvalle. Riippuen siitä, miten pilari sijoittuu muihin rakenteisiin nähden, voi nurjahdusmuoto vaihdella esim. kuvassa 16.10 esitetyllä tavalla. Nurjahdusmuodosta riippuen voidaan puhua taivutusnurjahduksesta,

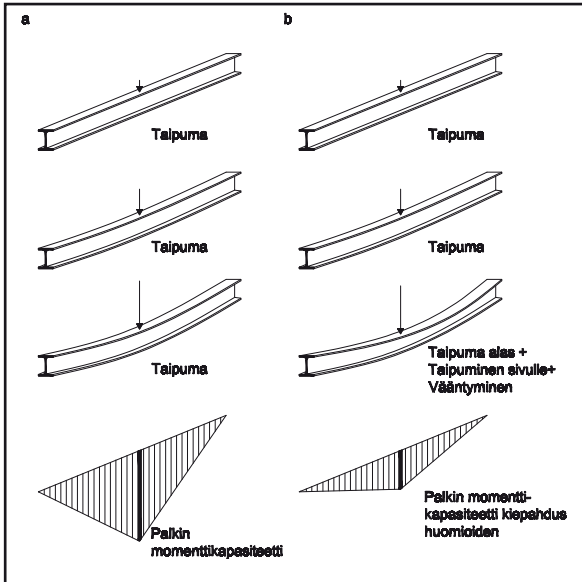
taivutusväätönurjahduksesta tai väätönurjahduksesta. Se minkä nurjahdusmuodon pilari saa, riippuu oleellisesti pilarin kiinnityksistä ja poikkileikkauksen muodosta. Jokaiselle nurjahdusmuodolle voidaan mitoituksessa laskea teoreettinen kriittinen nurjahduskuorma, johon todellisia kuormia voidaan verrata. Keskeisesti kuormitetun pilarin nurjahduksen laskenta ja mitoitus on esitetty luvussa 16.3.3.

Kiepahdus

Kiepahdus voi ilmentyä palkeilla, joihin tulee poikittaista kuormaa tai pelkästään taivutusta palkin vahvemmassa suunnassa. Kuvassa 16.11 on esitetty keskeisen pistekuorman kuormittama palkki. Palkin taipuminen voi tapahtua esim. kuvassa 16.12 esitetyllä tavalla. Ideaalitaipauksessa taivutusmomentti voi kasvaa siihen asti, että saavutetaan palkin poikkileikkauksen taivutuskapasiteetti (Kuva 16.2 a).

Kuvassa 16.12 b palkin taipuma ja rasitukset ovat aluksi yhtenevät kuvan a kanssa. Tietyllä kuormituksella palkin puristettu laippa alkaa kuitenkin taipua sivulle ja poikkileikkaus vääntyy. Palkin taipuessa yhä enemmän sivulle sen kantokyky heikkenee oleellisesti. Tätä kutsutaan palkin kiepahtamiseksi.

Kiepahdus voidaan ymmärtää puristetun laipan nurjahdamisena sivusuunnassa vastaavana ilmiönä kuin pilarin nurjautaminen tasossa. Kiepahdukselle voidaan laskea kriittinen taivutusmomentti, jota käytetään palkin mitoituskaavoissa. Palkin mitoitusta kiepahdukselle on käsitelty luvussa 16.2.4.



Kuva 16.12 Muodonmuutosten kulku kuvan 16.11 tapaukselle: a) palkki, jonka kestävyys ei riipu kiepahduksesta b) palkki, jonka kestävyden määrittää kiepahdus.

Taivutetun ja puristetun sauvan nurjahdus

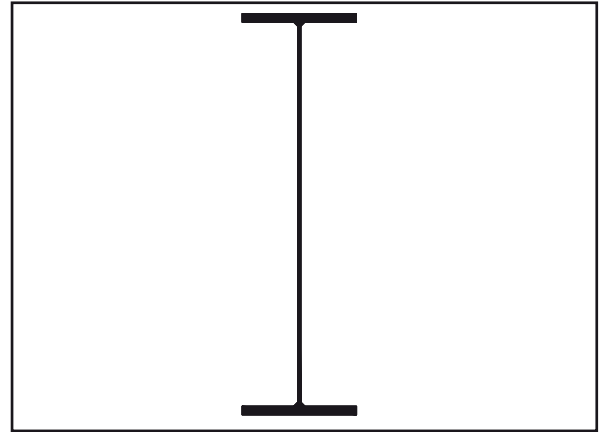
Nurjahdus ja kiepahdus ovat pelkistettyjä epästabiliuden muotoja, jotka voivat ilmentyä pelkästään puristetulle tai pelkästään taivutetulle palkille. Kun kuormitus aiheuttaa sekä taivutusta että normaalivoimaa, täytyy lisäksi huomioida rasiusten yhteisvaikutukset. Taivutus lisää pilarin herkkyyttä mm. puristetun sauvan tasonurjahdukselle. Vastaavasti puristava aksiaalinen voima voi yhdessä taivutuksen kanssa aiheuttaa palkin kiepahtamisen. Nämä yhteisvaikutukset ovat ns. 1. kertaluokan rasituksia. Lisäksi taivutusrasitettuun sauvaan aiheutuu taipumasta 2. kertaluokan lisämomenttia, kun siihen vaikuttaa samanaikainen puristusvoima. Taivutetun ja puristetun sauvan nurjahdusta on käsitelty tarkemmin luvussa 16.4.1.

Lommahdus

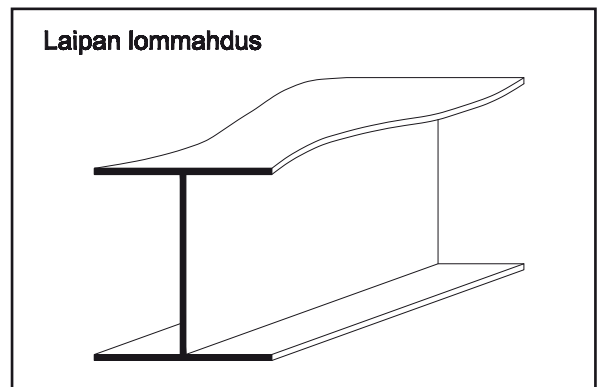
Teräsrakenteisten palkkien ja pilarien poikkileikkaukset voivat olla suhteellisen hoikkia. Toisin sanoen yksittäisillä poikkileikkauksen osilla voi olla melko suuri leveyden ja paksuuden välinen suhde, kuten on esitetty kuvassa 16.13. Tyypillisiä hoikkia poikkileikkauksia ovat mm. ohutlevyprofiilit, joita on esitelty luvussa 13.

Hoikkien poikkileikkausten koko lujuutta ei voida varmuudella hyödyntää, koska osa siitä voi lommahtaa (Kuva 16.14). Lommahdus on epästabiliusilmiö, jossa levyn pinnassa tapahtuu pintaa vastaan kohtisuora taipuminen puristusjännitysten vaikutuksesta. Sitä voidaan verrata nurjahdukseen, jossa puristettu pilari taipuu kohtisuorassa suunnassa. Hoikassa palkin uumassa voi tapahtua lommahdus myös leikkausjännitysten vaikutuksesta. Tätä kutsutaan leikkauslommahdukseksi.

Periaatteellisella tasolla lommahduksen vaikutusta voidaan kuvata hyvin esimerkiksi kuvan 16.15 neljältä sivulta tuetulla puristusvoiman kuormittamalla levyllä. Kes-



Kuva 16.13 Levypalkin poikkileikkaus, jonka uumalla korkeuden ja paksuuden suhde on suuri.



Kuva 16.14 Hoikan rakenneosan lommahdus.

keisellä puristusvoimalla jännityksen levyn keskellä ovat tasan jakautuneita. Mikäli levyn leveyden suhde paksuuteen ei ole kovin suuri, voi puristusvoiman kuormittaman levyn poikkileikkauksen puristusjännitykset kasvaa materiaalin lujuuteen asti. – Kun levyn leveyden suhde paksuuteen on riittävän suuri, eli levy on hoikka, voi levy alkaa lommahtaa jo jännitysten ollessa alla myötörajan. Lommahduksesta johtuen saavutetaan myötöraja vain osassa poikkileikkausta. Levyn poikkileikkauksen kestävyttä ei voida tällöin laskea suoraan kertomalla lujuutta poikkileikkauksen alalla, vaan laskennallinen kestävyys voi olla huomattavasti pienempi. Mitä suurempi hoikkuus on, sitä alhaisemmilla jännityksillä lommahdus tapahtuu ja sitä pienempi on poikkileikkauksen laskennallinen kestävyys.

Profiilissa tapahtuva lommahdus ei tarkoita sitä, että silloin profiilin kestävyys olisi saavutettu. Monissa tapauksissa, erityisesti suurilla hoikkuuksilla, voidaan sallittua kuormitusta vielä kasvattaa. Tällöin lommahdus ei aiheuta välitöntä vaaraa profiilin kestävyydelle tai muodonmuutokset eivät jää pysyviksi. Kuormitusta, jolla lommahdus tapahtuu, kutsutaan kriittiseksi kuormaksi. Jos kuormitusta voidaan edelleen kasvattaa, puhutaan ylikriittisestä tilasta ja sen hyödyntämisestä. Mitoituskriteerinä on tällöin myötörajan saavuttaminen esim. levyn reunoilla, jossa levy ei lommahtaa.

Neljältä sivulta tuettu ja keskeisesti kuormitettu levyjä, kuten kuvassa 16.15, esiintyy vain tietyissä tapauksissa teräsrakenteissa. Yleisemmin levykentät poikkeavat ominaisuuksiltaan, kuormituksiltaan ja tuennoiltaan. Tyypillinen lommahdukselle mitoitettava levykenttä on levypalkin uuma (Kuva 16.6).

Kuvan 16.16 b palkin uumassa vaikuttaa taivutusmomentti ja leikkausvoima. Palkin keskellä momentti on suurimmillaan ja leikkausvoima pienimmillään. Taivutusmomentista aiheutuu puristusjännitystä uuman yläosaan ja vetojännitystä alaosaan. Puristusjännityksen aiheuttama lommahdus voi siis vain taivutetun uuman yläosassa. Palkin päissä on suuri leikkausrasitus ja pieni taivutusmomentti. Siellä voi tulla mahdolliseksi uuman lommahdus leikkausjännityksen vaikutuksesta.

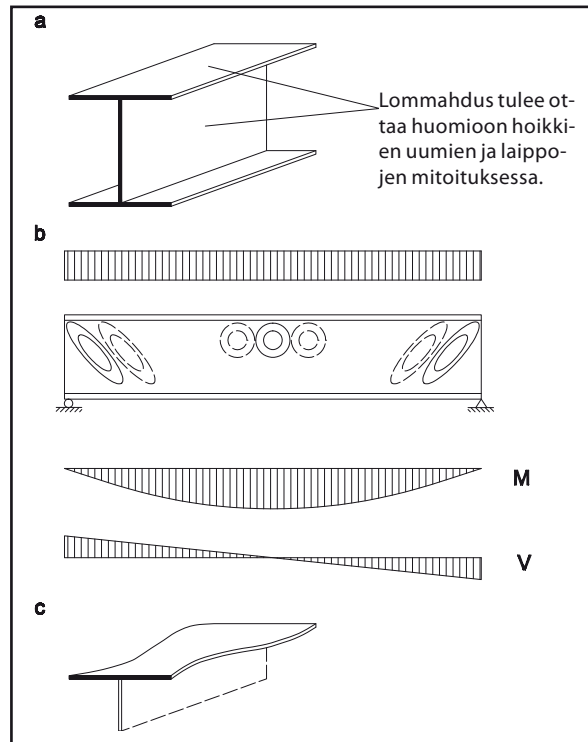
Palkin laipan uloin reuna on esimerkki levykentästä, jonka yksi reuna on vapaasti tuettu, ja joka voi lommahtaa kuvan 16.16 c tavoin.

Kriittinen nurjahduskuorma ja jännitys

Klassisen nurjahdusteorian mukaisilla kaavoilla voidaan laskea erilaisille epästabiliuden ilmiöille kriittinen kuorma tai jännitys, jolla stabiilius menetetään. Yleisiä laskentakaavoja on esitetty kuvassa 16.17. Tuloksena saadaan arvo, jolla voidaan laskea geometrialtaan ja materiaaliltaan häiriöttömän rakenteen nurjahduskuorma tai jännitys. Tunnetuin kriittisen nurjahduskuorman lauseke on tasonurjahduksen ns. Eulerin -nurjahduskaava. Mitoituksessa kriittinen nurjahduskuorma ja jännitys merkitään muuttujilla N_{cr} ja σ_{cr} .

Hoikkuusluku ja pienennyskerroin

Todellisissa teräsrakenteissa on useita poikkeamia, joita klassinen nurjahdusteoria ei huomioi. Tällöin klassisen nurjahdusteorian mukainen arvo ei suoraan kerro rakenteen kestävyttä. Joissain tapauksissa kuten levykentän



Kuva 16.16 Lommahduksen vaikutus hoikkien uumien ja laippojen kestävyteen.

Klassinen teoria perustuu:

- jännityksen ja muodonmuutoksen yhteyteen,
- pieniin muodonmuutoksiin,
- täydelliseen geometriaan (ennen lommahdusta levy on täysin tasomainen ja palkki tai pilari täysin suora).

Esimerkkejä laskentakaavoista:

- tasonurjahdus (Euler):

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

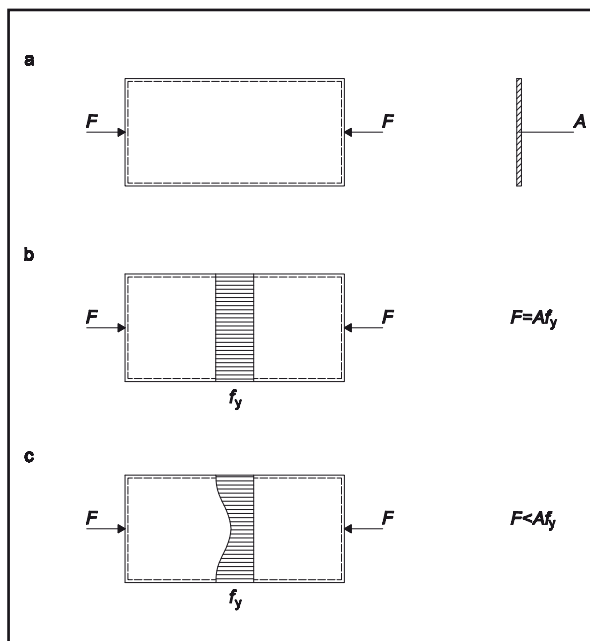
- leikkauslommahdus:

$$\tau_{cr} = \left(5,34 + 4\left(\frac{h_w}{a}\right)^2\right) \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2$$

- kiepahdus (rasituksena vakiosuuruinen mometti):

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$$

Kuva 16.17.



Kuva 16.15 a) Neljältä sivulta tuettu puristusvoiman kuormittama levy, b) jännitysjaakauma levyssä, joka ei lommahda, kun jännitykset ovat alle myötörajan, c) jännitysjaakauma levyssä, joka on niin hoikka, että lommahtaa myötörajaa alemmilla jännityksillä

Hoikkuusluku $\bar{\lambda}$:

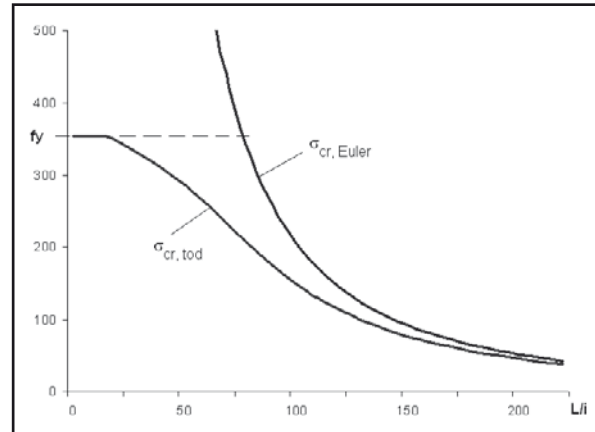
Yleinen muoto:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \quad \left(= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}, \sqrt{\frac{W \cdot f_y}{M_{cr}}} \right)$$

f_y = materiaalin nimellislujuus (alempi myötöraja)

σ_{cr} = kriittinen jännitys

Kuva 16.18 Hoikkuusluku $\bar{\lambda}$ antaa yhdenmukaisen määrittymisen stabiiliudelle, jota voidaan käyttää eri tapauksille.



Kuva 16.19 Todellinen nurjahduskestävyys ja klassisen teorian mukainen kriittinen nurjahdusjännitys hoikkuuden muuttujana.

lommahduksessa on kestävyteen vaikuttavia tekijöitä, joiden ansiosta todellinen kestävyys on kriittistä kuormaa suurempi. Toisaalta esimerkiksi pilarin nurjahdukseen liittyy tekijöitä, joiden vuoksi todellinen kestävyys on kriittistä nurjahduskuormaa pienempi.

Kriittisen nurjahduskuorman teoreettista arvoa ei voida käyttää suoraan kestävyden laskennassa. Sen sijaan sauvojen mitoituksessa käytetään normaalivoimakestävyyden pienennyskerrointa χ , jolla kerrottuna saadaan esimerkiksi pilarin laskennallinen nurjahduskestävyys.

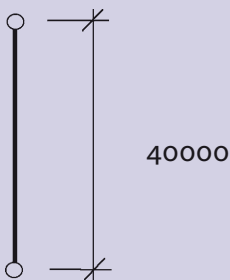
Mitoituksessa käytettävien pienennyskertoimien laskennassa tarvittavat parametrit ovat hoikkuusluku $\bar{\lambda}$ ja epätodellisuusvakio α .

Hoikkuusluku $\bar{\lambda}$ kuvaa rakenneosan herkkyyttä epästabiiliuden suhteen. Eurokoodissa kullekin eri epästabiiliusilmioille on määritelty omat hoikkuusparametrit. Yleisesti ottaen hoikkuusluku on neliöjuuri poikkileikkauskestävyyden suhteesta kriittiseen jännitykseen. Yleinen hoikkuusluvun kaava on esitetty kuvassa 16.18. Hoikkuusluku voidaan laskea vastaavasti eri stabiliteetti tapauksille, joiden kriittinen nurjahduskuorma tai jännitys voidaan laskea esimerkiksi kuvassa 16.17 esitetyillä kaavoilla. Näin saadaan hoikkuusluvut eli muunnettu hoikkuus eri tapauksille:

- $\bar{\lambda}$ on muunnettu hoikkuus taivutusnurjahduksen tapauksessa
- $\bar{\lambda}_{LT}$ on muunnettu hoikkuus kiepahdukselle
- $\bar{\lambda}_W$ on muunnettu hoikkuus leikkauslommahdukselle

ESIMERKKI 16.3

Laske hoikkuusluku $\bar{\lambda}$ taivutusnurjahduksen suhteen alla olevalle pilarille.



HEA 240
 $I_z = 37,7 \times 10^6 \text{ mm}^4$
 $A = 7680 \text{ mm}^2$
 $f_y = 355 \text{ MPa}$

Laskenta Eulerin kriittisen nurjahduskuorman perusteella: $N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2}$,
 kun $E = 210000 \text{ N/mm}^2$
 $L = 4000 \text{ mm}$

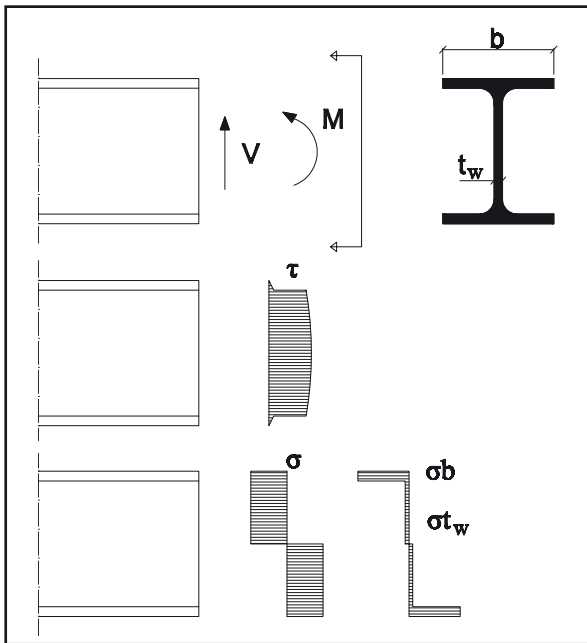
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 27,7 \cdot 10^6}{4000^2} = 3,588 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Kuvan 16.18 mukaan:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{7680 \cdot 355}{3,588 \cdot 10^6}} = 0,871$$

Pienennyskertoimen χ käytölle nurjahduskestävyyden laskennassa on useita perusteita. Ensinnäkin klassisen teorian mukainen kriittinen nurjahduskuorma ei huomioi aiheen myötäämistä, minkä vuoksi nurjahduskuorma kasvaa äärettömiin hoikkuuden pienentyessä (Kuva 16.19). Lisäksi klassinen teoria ei huomioi alkukäyryyttä, kuorman epäkeskisyyttä eikä valmistuksesta johtuvia jäännösjännityksiä. Nämä vaikutukset on huomioitu Eurokoodi 3 mukaisessa mitoituksessa, joka perustuu paitsi matemaattisiin ratkaisuihin myös lukuisiin testituloksiin. Tarkempi selostus ja mitoituskaavat on esitetty tapauskohtaisesti myöhemmissä luvuissa.

Vakiota α käytetään, kun lasketaan sauvan kestävyyttä taso- ja vääntönurjahdukselle sekä kiepahdukselle. Tällä huomioidaan poikkileikkauksen muodon ja valmistusmenetelmän (jäännösjännitykset) vaikutukset nurjahduksessa.



Kuva 16.20 Normaali- ja leikkausjännitysten jakauma I-poikkileikkauksessa.

16.2 TAIVUTUSMOMENTIN KUORMITTAMAN PROFIILIN KESTÄVYYS

Taivutusmomentin kuormittamien profiilien eli palkkien mitoituksessa tulee varmistua siitä, että palkilla on riittävä kapasiteetti sen suurimman taivutusmomentin ja leikkausvoiman suhteen. Lisäksi tulee tarkistaa, ettei palkin taipuma kasva liian suureksi.

Taivutusmomentti ja taipuma eivät aina ole kaikkein mitoitettavimmat suureet. Leikkauskestävyys voi tulla määrävimmäksi esimerkiksi, kun kyseessä on lyhyt jänneväli tai merkittävä pistekuorma.

Yleensä suurin taivutusmomentti vaikuttaa eri kohdassa kuin suurin leikkausrasitus. Näin ollen riittää, kun tarkastaa ne erillisinä tapauksina. Joissakin tapauksissa voi samassa poikkileikkauksessa olla myös merkittäviä leikkausrasituksia, jolloin mitoituksessa käytetään niin sanottua yhteisvaikutuskaavaa.

Yleisesti teräsprofiilit voivat kuitenkin ottaa vastaan varsin suuria leikkausrasituksia vaikka niiden taivutuskapasiteetti olisikin jo täysin hyödynnetty. Samoin, jos poikkileikkauksessa on suuri leikkausrasitus, sillä on vielä momenttikapasiteettia jäljellä. Tämä voidaan selittää sillä, että taivutusmomentin ja leikkausvoiman aiheuttamat jännitykset vaikuttavat profiilin eri osissa. Esimerkiksi I- ja U-poikkileikkauksissa taivutusjännitykset kohdistuvat pääosin palkin laippoihin. Leikkausjännitykset taas kohdistuvat lähes yksinomaan palkin uumaan. Leikkaus- ja taivutusjännitysten jakautuminen on esitetty kuvassa 16.20.

16.2.1 Taivutusmomenttikapasiteetti, ei hoikat poikkileikkaukset

Taivutusmomentti aiheuttaa normaalijännityksiä koko poikkileikkauksen alalle. Se miten jännitys jakautuu, riippuu taivutusmomentin suuruudesta ja poikkileikkauksen hoikkuudesta. Tämä luku käsittelee hoikkuudeltaan sellaisia poikkileikkauksia, joissa ei esiinny lommahduksen vaikutusta.

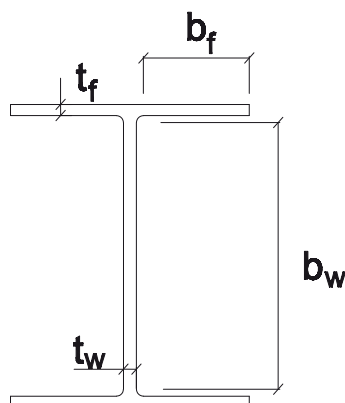
Ehdot taivutetun palkin poikkileikkauksiluokille 1 ja 2 lujuusluokassa $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

Poikkileikkauksiluokka 1:

$$\frac{b_f}{t_f} \leq 7,3 \quad \frac{b_w}{t_w} \leq 58,6$$

Poikkileikkauksiluokka 2:

$$\frac{b_f}{t_f} \leq 8,1 \quad \frac{b_w}{t_w} \leq 67,5$$



Kuva 16.21.

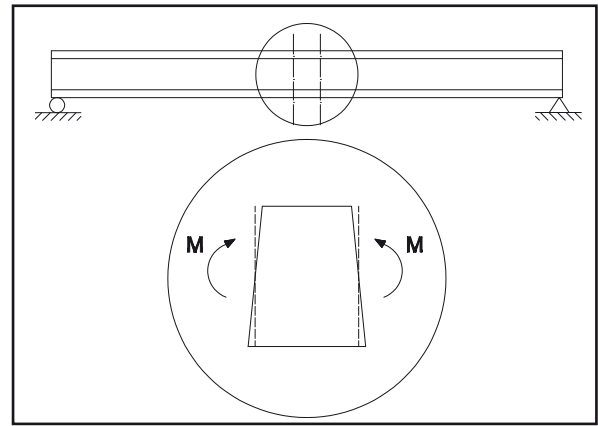
Tällaiset riittävän vahvat poikkileikkaukset kuuluvat poikkileikkausluokkiin 1 ja 2. Tähän ryhmään kuuluvat useimmat IPE-, HEA-, HEB-profiilit. Myös suuri osa putkiprofiileista kuuluu tähän ryhmään. Jotta poikkileikkaus voidaan katsoa kuuluvaksi ko. poikkileikkausluokkiin, tulee sen osien leveyksien suhde paksuuksiin täyttää Eurokoodi 3:n mukaiset vaatimukset. Poikkileikkausluokkien ehdot ovat riippuvaisia materiaalin lujuudesta.

Kuvassa 16.21 on esitetty laippojen ja uumien hoikkusuorien rajat eri poikkileikkausluokissa. Taulukossa on lisäksi esitetty laskennassa käytetyt kaavat. Mikäli taivutetun poikkileikkauksen laippojen ja uuman hoikkusuorien rajat kuuluvat poikkileikkausluokkiin 1 tai 2, voidaan kapasiteetti laskea tässä luvussa esitetyllä tavalla. Muissa tapauksissa kapasiteetti lasketaan luvun 16.2.2 mukaan.

Taivutusmomentin rasittama poikkileikkaus luokassa 1 ja 2 käyttäytyy seuraavalla tavalla. Taivutusmomentti aiheuttaa palkin tietyn käyrityksen. Tarkasteltaessa hyvin lyhyttä osaa palkista, palkin muodonmuutokset ovat kuvan 16.22 mukaisia. Positiivinen taivutusmomentti puristaa poikkileikkauksen yläosaa kasaan ja alaosaan tulee vastaava venymä. Venymät vastaavat materiaalin jännityksiä. Kun tiedetään venymän ja jännityksen yhteys, voidaan poikkileikkauksen jännitykset sen eri osissa laskea.

Voidaan olettaa, että taivutettu palkin poikkileikkaus käyristyy ympyrän kaaren muotoon siten, että palkin akselia vastaan kohtisuora poikkileikkauksen taso säilyy tasana ja palkin akselia vastaan kohtisuorana (Bernoullin otaksuuma). Venymä on nolla poikkileikkauksen neutraaliakselilla ja se kasvaa lineaarisesti maksimiinsa poikkileikkauksen ylä- ja alareunoille mentäessä. Venymä-jännityskäyrän avulla (Kuva 16.7) saadaan selville jännitysten suuruus taivutetun poikkileikkauksen eri osissa. Mitoituksessa käytetään yksinkertaistettua venymä-jännityskäyrää (Kuva 16.23). Todellisten ja yksinkertaistettujen jännitysten ero mitoituksessa ei ole merkittävä ja lisäksi yksinkertaistettu plastinen jännitys antaa varmallalla puolen olevia tuloksia.

Yksinkertaistettu jännitys-venymäkäyrä koostuu lineaarisesta kasvavasta elastisesta osuudesta ja vakiosuuruisesta plastisesta osuudesta. Myötöraja ja myötöjännitys saavutetaan venymän arvolla ϵ_y . Venymän ollessa



Kuva 16.22 Taivutusmomentin aiheuttamat muodonmuutokset.

alle tämän rajan jännitys kasvaa lineaarisesti suhteessa venymään. Kun poikkileikkauksen maksimi venymät ovat alle tämän rajan, myös poikkileikkauksen jännitykset käyttäytyvät lineaarisesti kuten esitetty kuvassa 16.24 a. Taivutusmomentin arvo M_y , jolla maksimijännitys saavuttaa myötörajan, on esitetty kuvassa 16.24 b.

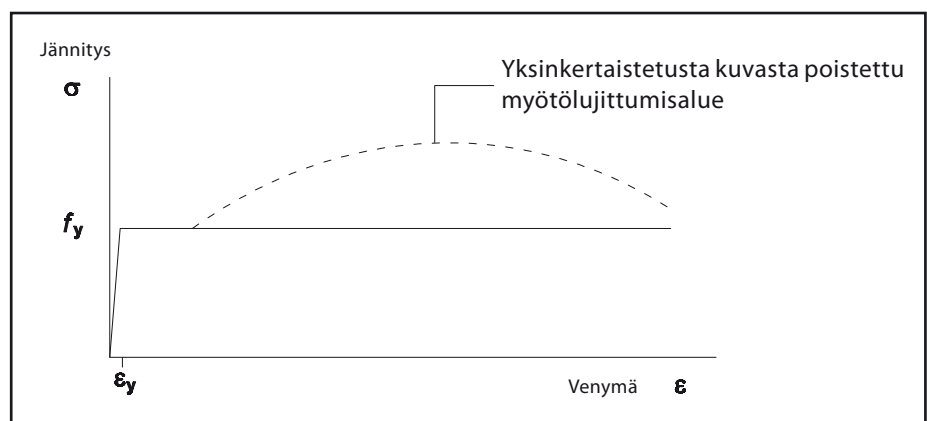
Kun poikkileikkauksen jännitykset käyttäytyvät lineaarisesti, voidaan yhteys maksimijännityksen ja taivutusmomentin välillä laskea elastisen taivutusvastuksen W_{el} avulla kaavasta:

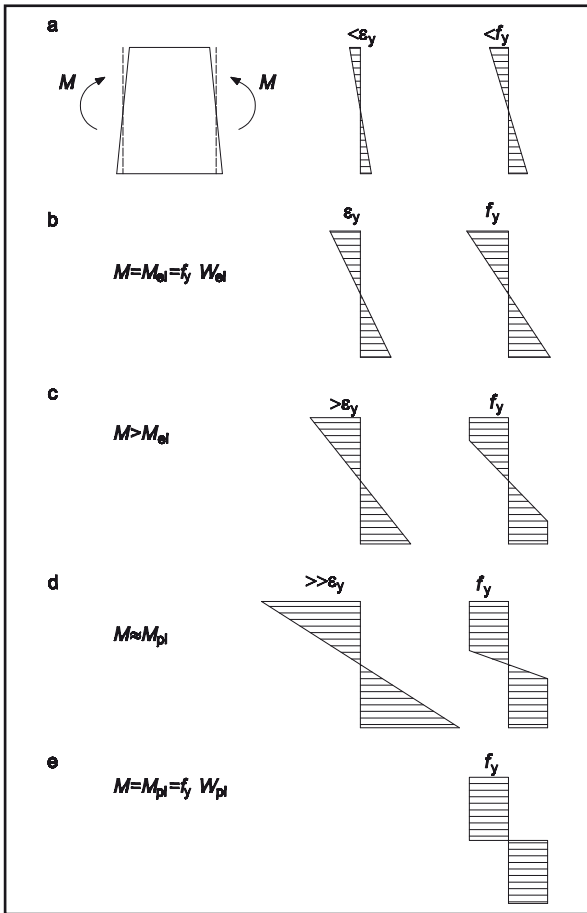
$$\sigma_{\max} = M/W_{el} \quad (16.2)$$

Kuvan 16.24 b mukainen jännitysten ja venymän jakauma kuvaa siis tilannetta, jossa reunajännitys saavuttaa myötörajan. Yksinkertaistelun jännitys-venymäkäyrän mukaisesti materiaali saavuttaa silloin suurimman mahdollisimman jännityksensä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että taivutusmomentti M_y olisi suurin mahdollinen taivutusrasitus, jonka poikkileikkaus voi ottaa vastaan. Materiaalilla on kykyä vastaanottaa huomattavasti myötörajaa suurempia venymiä, joten poikkileikkauksen taivutuskapasiteettia on vielä jäljellä.

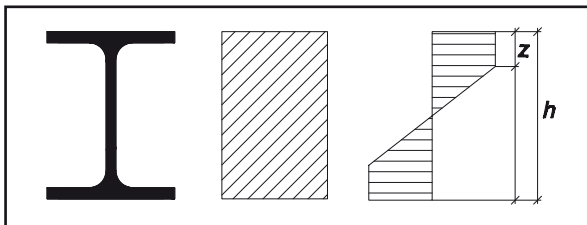
Kun momenttia kasvatetaan, taipuma ja venymät kasvavat. Venymät kasvavat suuremmiksi kuin myötövenymä ϵ_y tietyllä alueella poikkileikkauksen reunoilta alkaen.

Kuva 16.23 Yksinkertaistettu jännityksen ja venymän suhde.

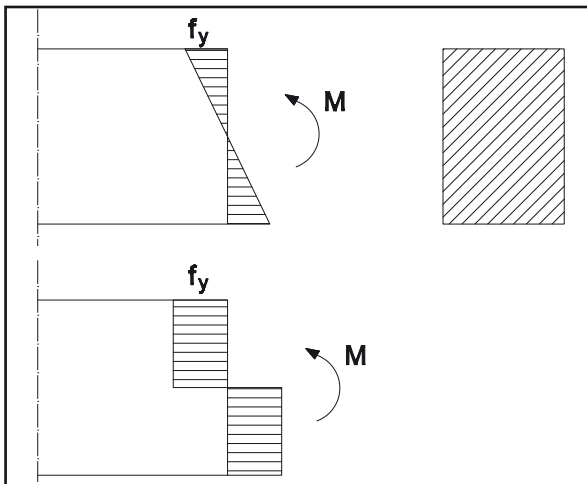




Kuva 16.24 Jännitys jakauma taivutusmomentin kasvaessa vähittäin poikkileikkausluokissa 1 ja 2.



Kuva 16.25 Kimmoisen ja plastisen momenttikestävyyden suhde suhteessa plastisoituneen alueen korkeuteen I - ja suorakaidepoikkileikkauksella.



Kuva 16.26 Taivutusvastus W ja Z perustuvat eri muotoisille jännitys jakaumille.

Jännitys-venymäkäyrän mukaisesti tällä alueella jännitys saa vakioarvon f_y . Toisaalta alueilla, joissa venymät jäävät alle myötörajan, jännitykset käyttäytyvät edelleen lineaarisesti venymän suhteen. Taivutusmomentin arvoilla $M > M_y$ poikkileikkauksen jännitys jakauma on siten kuvassa 16.24 c esitetyn kaltainen.

Jännitysten suuruus sisemmällä, elastisella, alueella riippuu suoraan käyritymästä. Mitä enemmän taivutusmomentti kasvaa, sitä suuremmaksi tulee palkin käyritymä. Venymät kasvavat ja yhä suurempi osa poikkileikkauksesta saavuttaa myötövenymän (kuva 16.24 d). Materiaali ei murru niin kauan kuin venymät ovat murtovenymää ϵ_u pienempiä. Voidaan ajatella lopputilanne, jossa koko poikkileikkaus on saavuttanut myötövenymän (kuva 16.24 e). Tällöin jännitys jakauma on suorakaiteen muotoinen. Tätä jännitys jakaumaa vastaavaa momenttia kutsutaan plastiseksi taivutusmomentiksi M_{pl} . Koska poikkileikkauksen jännitykset eivät voi kasvaa myötörajaa suuremmiksi, tämä on suurin mahdollinen taivutusmomentin arvo, jonka poikkileikkaus kykenee vastaanottamaan. M_{pl} on siten poikkileikkauksen taivutusmomenttikapasiteetti poikkileikkausluokissa 1 ja 2.

Kun jännitys jakauma muuttuu lisääntyneen taivutusmomentin myötä lineaarisesta kolmiomaisesta jakaumasta täysin suorakulmaiseksi sanotaan, että poikkileikkaus plastisoituu. Plastisoituminen edellyttää tällöin sitä, että poikkileikkaus pystyy vastaanottamaan plastisella alueella olevia kokoonpuristumia ilman, että näillä alueilla tapahtuu paikallisia lommahduksia. Tämä on syynä siihen, että poikkileikkausluokissa 1 ja 2 ei sallita liian hoikkia poikkileikkauksen osia.

Todellisuudessa plastinen taivutuskapasiteetti ei vastaa täysin kuvan 16.24 e mukaista jännitys jakaumaa vaan tilannetta, jossa poikkileikkauksen neutraaliakselin kohdalla on pieni elastinen alue ja plastisoituneella alueella jännitykset ylittävät myötölujittumisen seurauksena myötöjännityksen. Yksinkertaistettu jännitys-venymäkäyrä antaa kuitenkin sen verran varman puolella olevia lopputuloksia, että taivutusmomenttikapasiteettina voidaan käyttää kuvassa 16.24 e esitettyä jännitys jakaumaa ilman, että laskennallinen taivutuskapasiteetti koskaan ylittäisi todellista kapasiteettia.

Kuvan 16.25 kaaviossa on esitetty momentin suhde plastiseen taivutuskapasiteettiin plastisoituneen alueen suuruuden suhteessa sekä massiiviselle suorakaidepoikkileikkaukselle että I -poikkileikkaukselle. Kaaviosta nähdään, että plastisoitumisella on suurempi vaikutus massiivisilla poikkileikkauksilla kuin I -poikkileikkauksilla. Se miten paljon taivutuskapasiteetti kasvaa plastisoitumisen seurauksena riippuu siis poikkileikkauksen muodosta.

Kuvan 16.24 erilaiset jännitys jakaumat esittivät erilaisia yhteyksiä momentin ja reunajännitysten välille riippuen plastisoituneen alueen suuruudesta. Kuvassa 16.26 on esitetty elastisen ja plastisoituneen poikkileikkauksien jännitysten ja taivutusmomenttien suhde. Ylempi elastisen tapaus saa kolmiomaisen jakauman reunajännityksen

Elastinen taivutusvastus:

$$I_y = \frac{120 \cdot 240^3}{12} - \frac{(120 - 6,2) \cdot (240 - 2 \cdot 9,8)^3}{12} = 36,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

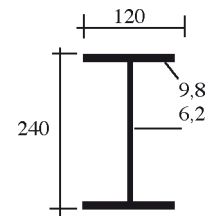
$$W_{el,y} = \frac{2 \cdot I_y}{h} = \frac{2 \cdot 36,7 \cdot 10^6}{240} = 306 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Plastinen taivutusvastus:

$$W_{pl,y} = 120^2 \cdot \frac{240}{2} - (120 - 9,8)(120 - 6,2) \frac{(240 - 2 \cdot 9,8)}{2} = 346 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Taivutusvastusten suhde:

$$\frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{346 \cdot 10^3}{306 \cdot 10^3} = 1,13$$



Kuva 16.27 Taivutusvastusten vertailu I-poikkileikkaukselle-

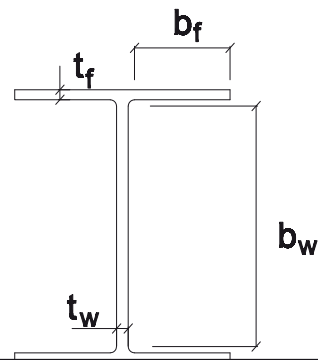
Ehdot taivutetun palkin poikkileikkausluokille 3 ja 4 lujuusluokassa $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

Poikkileikkausluokka 3:

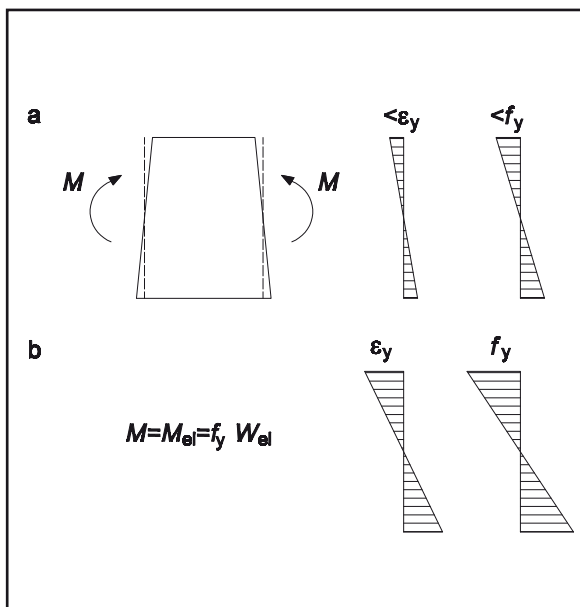
$$\frac{b_f}{t_f} \leq 11,4 \quad \frac{b_w}{t_w} \leq 100,9$$

Poikkileikkausluokka 4:

$$\frac{b_f}{t_f} > 11,4 \quad \frac{b_w}{t_w} > 100,9$$



Kuva 16.28.



ollessa: $\sigma_{maks} = f_y$. Elastiselle tapaukselle momentin ja jännitysten yhteys on muotoa:

$$M_y = W_{el} f_y, \quad (16.3)$$

(ts. Taivutusmomentti = elastinen taivutuskapasiteetti \times reunajännitys)

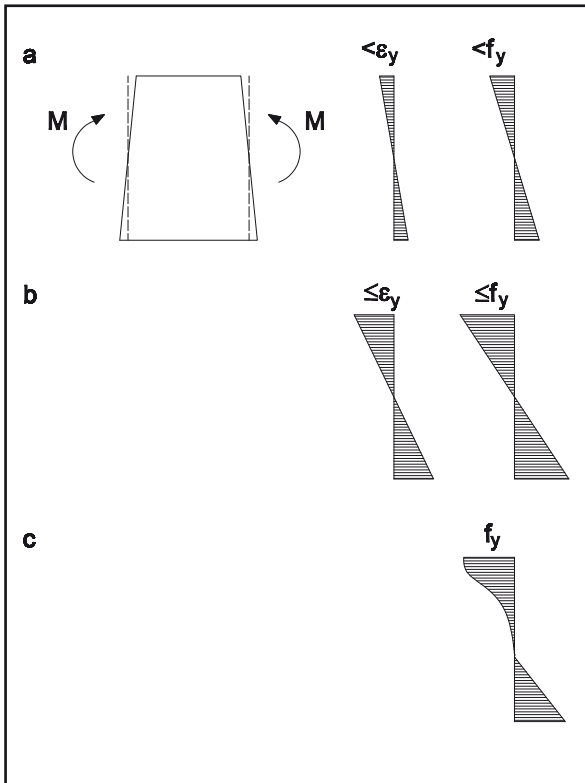
Alemman osan suorakaiteen muotoiselle jännitysjakaukselle kaava on muotoa:

$$M_{pl} = W_{pl} f_y, \quad (16.4)$$

Plastisoituneen poikkileikkauksen jännitysten ja taivutusmomentin suhde voidaan siis laskea käyttämällä plastista taivutusvastusta W_{pl} .

Massiivisella suorakaidepoikkileikkauksella elastisen ja plastisen taivutusvastuksen suhde on $W_{el}/W_{pl} = 1,5$. Plastisoitumisen huomioimisella taivutuskapasiteetti kasvaa siis jopa 50 % verrattuna vastaavaa elastiseen taivutuskapasiteettiin.

Kuva 16.29 Jännitysjakauma poikkileikkausluokassa 3.



Kuva 16.30 Jännitysjakama poikkileikkausluokassa 4.

I-poikkileikkauksilla plastisoitumisen hyödyntäminen ei anna yhtä suurta etua. Kuvassa 16.27 on esitetty yksinkertaistettu IPE240 poikkileikkaus. Tälle poikkileikkaukselle laskettu plastisen ja elastisen taivutusvastuksen suhde osoittaa, että plastinen taivutuskapasiteetti on vain 13 % elastista suurempi. Tätä voidaan pitää suuntaa-antavana kaikille I-poikkileikkauksille, vaikka arvo hieman vaihtelee poikkileikkauksen koosta riippuen.

16.2.2 Taivutusmomenttikapasiteetti, hoikat poikkileikkaukset

Mikäli poikkileikkauksen jonkin osan leveyden ja paksuuden suhde ei ole poikkileikkausluokkien 1 ja 2 rajoissa, tarkoittaa se sitä, että täyttä plastisoitumista ei voida hyödyntää laskettaessa taivutuskapasiteettia. Tällöin on kyseessä jonkin poikkileikkauksen osan lommahtaminen ennen kuin täysi plastinen suorakaiteen muotoinen jännitysjakama saavutetaan poikkileikkauksessa. Nämä hoikkien poikkileikkausten tapaukset voidaan edelleen jakaa poikkileikkausluokittain kahteen eri tapaukseen:

- 1) Lomahdusta ei tapahdu elastisella alueella eli reunajännityksen ollessa pienempi tai yhtä suuri kuin myötöjännitys. Poikkileikkauksen jokin osa kuitenkin lommahtaa ennen kuin saavutetaan poikkileikkauksen täysi plastisoituminen eli plastisoitumista ei voida täysin hyödyntää. Poikkileikkausluokka 3.
- 2) Poikkileikkauksen jokin osa lommahtaa ennen kuin reunajännitys saavuttaa myötörajan. Toisin sanoen jonkin poikkileikkauksen hoikkuus on niin suuri, että edes sen elastista kestävyttä ei voida täysin hyödyntää. Poikkileikkausluokka 4.

Poikkileikkausluokan 3 ja 4 taivutuskapasiteetin laskenta voidaan laskea seuraavalla tavalla.

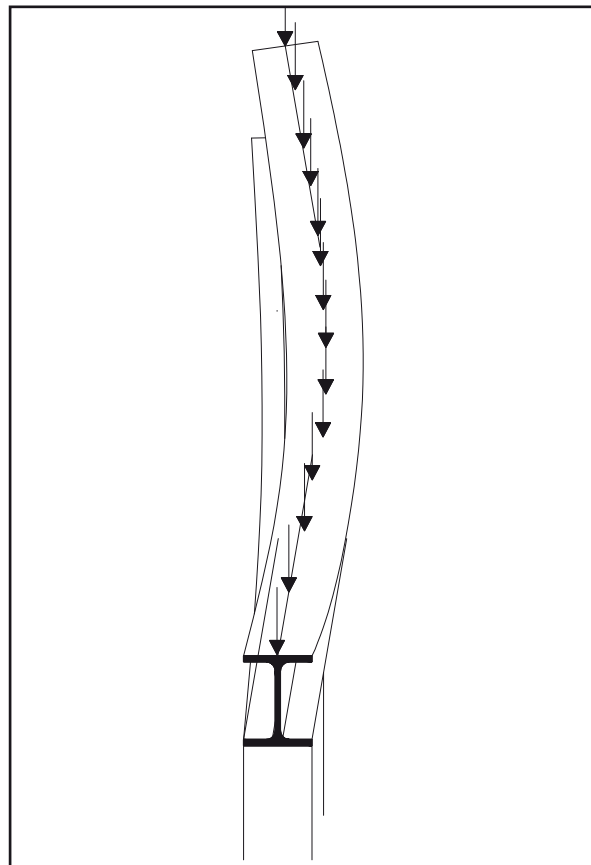
Poikkileikkausluokka 3:

Tähän luokkaan kuuluvat poikkileikkaukset, joiden laippa tai uuma on hoikempi kuin luokassa 2 kuitenkin täyttää luokan 3 ehdot (Kuva 16.28). Yksinkertaisin tapa luokitella poikkileikkaus on se, että määritetään koko poikkileikkauksen yhteen luokkaan sen hoikimman osan suhteen. Eli jos laippa on luokassa 2 ja uuma luokassa 3 on poikkileikkausluokka silloin 3. Eurokoodi sallii myös eritellyn mitoituksen poikkileikkausluokilta erilaisille poikkileikkauksen osille, mutta sitä ei esitellä tässä luvussa. Poikkileikkauksen rajat taivutetuille I-poikkileikkauksille on esitetty kuvassa 16.28.

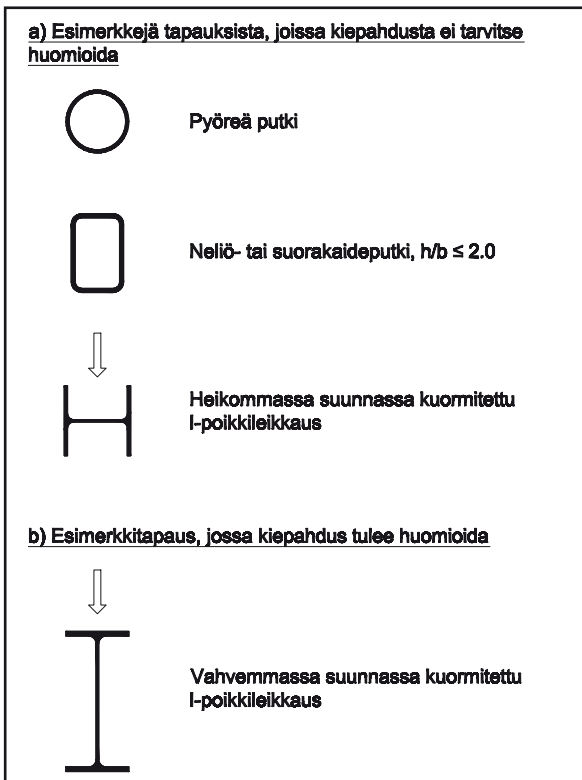
Luokkaan 3 kuuluva poikkileikkauksen puristettu osa siis lommahtaa ennen kuin täysi plastinen poikkileikkaukskestävyys voidaan saavuttaa. Taivutusmomenttikapasiteettina käytetään poikkileikkauksen elastisen taivutusvastuksen mukaisista kestävyistä ja jännitysjakamaa (Kuva 16.29). Poikkileikkauksen tarkastamisella on merkitystä ainoastaan täysin tai osittain puristetuille osille poikkileikkauksessa.

Poikkileikkausluokka 4:

Tähän luokkaan kuuluvat poikkileikkaukset, joiden laippa tai uuma eivät täytä luokan 3 vaatimuksia. Tämä tarkoittaa siis sitä, että jokin poikkileikkauksen puristetuista osista lommahtaa ennen kuin maksimijännitys poikkileikkauksessa saavuttaa myötörajan.



Kuva 16.31 Kiepahdus.



Kuva 16.32 Kiepahdusherkkyys riippuu myös poikkileikkauksen muodosta.

Taivutusmomentin kasvaessa kyseinen poikkileikkaus toimii seuraavalla tavalla. Aluksi taivutusmomentin ollessa riittävän pieni, poikkileikkaus käyttäytyy täysin elastisesti ja poikkileikkauksen jännitykset kasvavat kolmiomaisesti reunoja kohden (Kuva 16.30 a). Niin kauan kuin lommahdusta ei pääse tapahtumaan, jännitykset ja venymät kasvavat samassa suhteessa.

Puristusjännitysten kasvaessa niin suuriksi että lommahdus tapahtuu, poikkileikkauksen jännityskuvio ei enää säily lineaarisena kolmiomaisena muotona. Poikkileikkauksen lommahtaneessa osassa tämä tarkoittaa sitä, että sen jännitykset eivät kasva enää lineaarisesti vaan venymän kasvaessa kyseisen osan jännitys ja kyky vastaanottaa rasituksia jää vajaaksi. Lommahtanut osa on ns. ylikriittisessä tilassa (k. 16.1.5). Poikkileikkauksen taivutusrasitusta voidaan vielä kasvattaa ylikriittistä tilaa hyödyntäen. Mitoituksellisenä rajana pidetään tilannetta, jossa maksimi reunajännitys saavuttaa myötörajan (Kuva 16.30 c). Poikkileikkauksen taivutuskapasiteetti vastaa kyseisen kuvan mukaista jännitysjakautumaa. Tällöin lommahtaneen osan vaikutus otetaan mitoituksessa huomioon pienentämällä tehollista poikkileikkauksalaa. Pienentyneelle teholliselle poikkileikkaukselle lasketaan mitoitusta varten sen teholliset poikkileikkauksarvot kuten tehollinen pinta-ala ja taivutusvastus.

16.2.3 Poikkileikkausluokat

Eurokoodi 3 määrittelee poikkileikkaukset 4 eri luokkaan. Luokituksella määritellään sallittava jännitystaso poikkileikkauksen puristetuissa osissa. Poikkileikkausluokka riippuu siten poikkileikkauksen osien hoikkeudesta eli sen leveyden

ja paksuuden suhteesta. Poikkileikkauksen eri osat, kuten laipat ja uuma, voivat olla eri luokkaan kuuluvia. Poikkileikkauksaluokka määritellään eritavalla riippuen siitä onko poikkileikkauksen osa puristettu vai taivutettu.

Poikkileikkausluokka 1:

Poikkileikkauksen osien hoikkuus on riittävä, jotta poikkileikkauksen täysi plastinen taivutuskestävyys voidaan hyödyntää. Toisin sanoen mitoituksessa ja voimasuureiden laskennassa voidaan sallia plastisten nivelten syntyminen.

Poikkileikkausluokka 2:

Poikkileikkauksen osien hoikkuus on riittävä, jotta poikkileikkaus kestää sen plastisen taivutuskestävyyden mukaisia rasituksia. Poikkileikkauksella ei ole kuitenkaan täyttä muodonmuutoskykyä, joten plastisia niveliä ei sallita voimasuureiden laskennassa.

Poikkileikkausluokka 3:

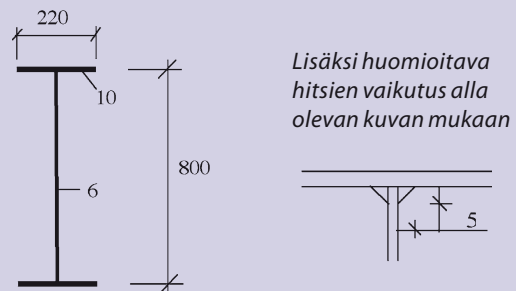
Poikkileikkauksen osien hoikkuus ei ole riittävä, jotta poikkileikkauksen plastista taivutuskapasiteettia voitaisiin hyödyntää. Toisin sanoen jokin poikkileikkauksen osa lommahtaa ennen poikkileikkauksen plastisoitumista. Mitoituksessa käytetään poikkileikkauksen kimmoista taivutuskapasiteettia.

Poikkileikkausluokka 4:

Poikkileikkauksen osien hoikkuus ei ole riittävä, jotta poikkileikkauksen täyttä kimmoista taivutuskapasiteettia. Toisin sanoen jokin poikkileikkauksen osa lommahtaa ennen kuin poikkileikkauksen maksimi puristusjännitys

ESIMERKKI 16.4

Laske oheisen poikkileikkauksen laipan ja uuman hoikkeudet, sekä määrittele poikkileikkausluokka.



$$c = \frac{220 - (6 + 2 \cdot 5)}{2} = 102 \text{ mm}$$

Laipan hoikkuus: $t = 10 \text{ mm}$, joten $\frac{c}{t} = \frac{102}{10} = 10,2$

Uuman hoikkuus: $c = 800 - 2 \cdot (10 + 5) = 770 \text{ mm}$, $t = 6 \text{ mm}$, joten $\frac{c}{t} = \frac{770}{6} = 128$

Poikkileikkausluokka:
 Laippa: $c/t = 10,2 < 11,4$ (luokka 3)
 Uuma: $c/t = 128 > 100,9$ (luokka 4)
 => Poikkileikkausluokka 4

saavuttaa myötörajan. Mitoituksessa käytetään poikkileikkauksen tehollisen pinta-alan mukaista taiputus- ja puristuskapasiteettia.

Paikallisen lommahduksen vaikutukset siis huomioidaan mitoituksessa käyttämällä tehollisia poikkileikkausarvoja. Mitoitusohjeet on esitetty Eurokoodi 3:n osassa EN 1993-1-5, jossa poikkileikkauksen puristetun osan leveydestä huomioidaan pienennyskertoimen ρ mukainen suhteellinen osuus. Tehollisen pinta-alan perusteella lasketaan edelleen muut poikkileikkausarvot. Tehollisten poikkileikkausarvojen laskentaa ei ole käsitelty tässä luvussa.

16.2.4 Kiepahdus

Kiepahduksella tarkoitetaan ilmiötä, jossa vahvemmassa suunnassaan kuormitettu palkki pääsee taipumaan sivulle ja kiertymään kuten kuvassa 16.31. Jos tämä tapahtuu poikkileikkauksen taiputuskapasiteettia pienemmällä taiputusmomentin arvolla, tulee kiepahduksen vaikutus huomioida mitoituksessa.

Alttius kiepahdukselle on suurin sellaisilla palkeilla, jotka ovat suhteellisen taipuisia sivusuunnassa ja joilla on pieni vääntöjäykkyys. Kuorman vaikutuskorkeudella on myös merkitystä. Mitä korkeammalla kuorma vaikuttaa, sitä pienemmällä taiputuksella palkki kiepahtaa.

Vahvemmassa suunnassaan kuormitetut I-palkit ovat esimerkkejä tapauksista, joissa kiepahdus täytyy huomioida. Sen sijaan suljetuilla poikkileikkauksilla, kuten pyöreät ja suorakaiteen muotoiset putket (sivusuhte $h/b \leq 2$), ei kiepahdus tule mitoittavaksi (Kuva 16.32). Tämä johtuu mm. putkiprofiilien suuremmasta vääntöjäykkydestä.

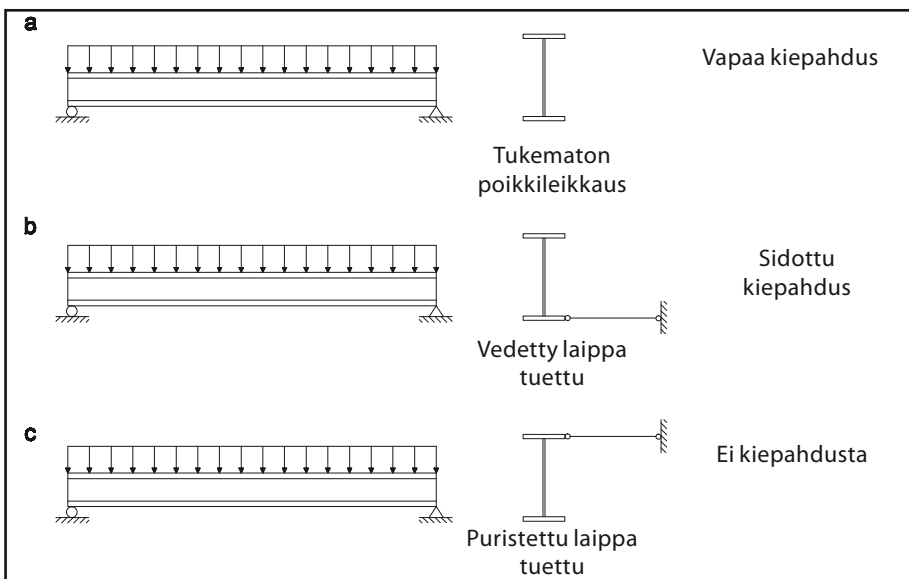
Kun palkki on sidottu ylälaipastaan esim. kattolevyllä tai -orsilla, voidaan kiepahdus usein kokonaan estää tai pienentää sen vaikutusta. Koska kiepahdus johtuu puristetun laipan nurjahtamisesta sivusuunnassa, ei kiepahdusta tarvitse huomioida ollenkaan ylälaipan ollessa riittävästi

sidottuna koko pituudeltaan. Jos puristettu laippa on vapaa ja vedetty alalaippa on sidottu, kiepahdus voi tapahtua. Tosin se ei tapahdu aivan yhtä herkästi kuin vapaassa kiepahduksessa vaan kyseessä on ns. sidottu kiepahdusmuoto. Täysin vapaassa kiepahdusmuodossa koko poikkileikkaus taipuu sivulle puristetun ylälaipan vetäessä myös vedetyn alalaipan mukaansa.

Kiepahdusmuoto riippuu siitä, miten palkki on sidottu (Kuva 16.33). Vapaan kiepahduksen edellytyksenä on, että palkkia ei ole ollenkaan tuettu sivusuunnassa. Sidotussa kiepahdusmuodossa taas puristettu laippa on vapaa, mutta jokin muu osa palkin poikkileikkauksesta on sidottu. Yleensä sidotussa muodossa tuettuna on palkin vedetty alalaippa.

Jatkuissa palkeissa, joissa taiputusmomentti vaihtaa merkikään, kiepahdus määritellään eri tavalla, kun vain palkin toinen laippa on sidottu. Eräs esimerkki on jatkuva kattopalkki, jonka ylälaippa on sivusuunnassa tuettu katto-orsilla tai -levyllä. Tällöin palkin jänteellä vaikuttaa positiivinen ja tuella negatiivinen taiputusmomentti, kuten kuvassa 16.34. Sidottu ylälaippa on puristettuna jänteen keskellä ja vedettynä tuen läheisyydessä. Tuen läheisyydessä vedetty ylälaippa ei voi nurjahtaa sivulle. Sivusuunnassa täysin tukematon alalaippa saa vetojännityksiä jänteen keskeltä ja on puristettuna tuen läheisyydessä. Puristusjännitysten vuoksi palkki voi kiepahtaa puristetun alalaipan nurjahtessa sivulle tukemattomalta osuudeltaan.

Usein sivutukena toimivat orret tai siteet ovat sijoittuneet tietyin välein. Kuvassa 16.35 on esitetty katto-orsien tukevan palkin sidonta ja rasitukset. Katto-orret tukevan palkin ylälaipan sivusuunnassa ja estävät sen kiepahtamisen koko pituudeltaan. Näin ollen on huomioitava ainoastaan palkin kiepahdus orsien väliseltä matkalta. Jotta voitaisiin varmistua sivutuntojen riittävydestä, tulee ne mitoittaa Eurokoodi 3:ssa annetuilla ehdoilla.



Kuva 16.33 Eri kiepahdustapauksia:
a) vapaa kiepahdus, jossa tarkasteltava poikkileikkauksen osa on täysin tukematta
b) sidottu kiepahdus, jossa vedetty laippa on sidottu
c) ei kiepahdusta, puristetulla laipalla on riittävä sivusuuntainen tuenta.

Sidonnan lisäksi myös muilla liittyvillä rakenteilla on vaikutusta kiepahdusmuotoon. Tukirakenteet ja liitokset vaikuttavat kiepahduskuorman suuruuteen. Vaikutus riippuu siitä, miten tukirakenteet ja liitokset tukevat palkin eri osia sivusuunnassa. Kuvassa 16.36 on esitetty palkin kiepahdus palkin yläpuolelta katsoen. Kuvassa näkyy palkin päässä tapahtuva kulmamuuutos. Jos tuenta on sellainen, että tämä kulmamuuutos on estetty, on sillä luonnollisesti vaikutusta kiepahduskestävyyteen. Kyseisestä kulmamutoksesta käytetään mitoituksessa nimitystä poikkipinnan käyristyminen.

Palkin tuennan vaikutusta voidaan verrata pilarin tukien merkitykseen nurjahduskuorman suhteen (Kuva 16.37). Kiepahduksessa voidaan samalla tavalla puhua erilaisista tukiehdosta, jotka vaikuttavat palkin kiertymiseen ja laipan nurjahtamiseen sivulle. Kiepahduksen määrittelyssä voidaan puhua tukiehtojen vaikutuksesta ainakin seuraavilla tavoilla:

- Palkin päiden tuenta kuorman suunnassa (Kuva 16.38 a). Tuennat voivat olla nivelellisiä tai jäykkiä. Tuennalla on vaikutusta taivutusmomentin jakaumaan ja siten kiepahduskuorman suuruuteen. Jäykässä kiinnityksessä palkin kiertymä on estetty.
- Palkin päiden tuenta kuormaa vastaan kohtisuorassa suunnassa (Kuva 16.38 b). Pään tuennalla voidaan estää palkin poikkipinnan käyristyminen, jolloin palkin laippojen kiertyminen sivusuunnassa on tuen läheisyydessä estetty.
- Palkin päiden tuenta väännön suhteen (Kuva 16.38 c). Jos tukirakenteet kiinni, palkin laippojen siirtyminen sivusuunnassa on estetty.

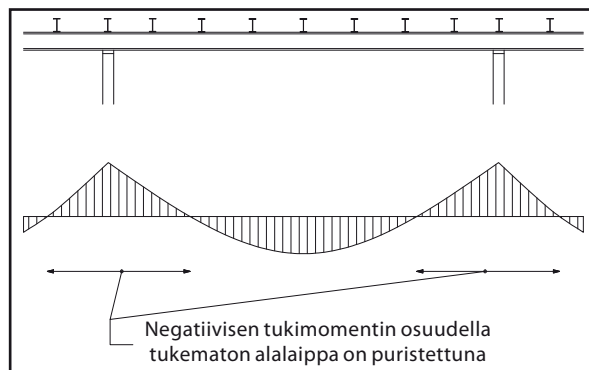
Kiinnitysehdolle on olemassa pelkistettyjä tapauksia, joiden avulla kiepahdusmuoto voidaan saada selville. Laskennassa tulee käyttää sellaisia oletuksia, joille on olemassa teoreettiset perusteet ja jotka tuottavat mitoituksellisesti varmallu puolen olevia tuloksia. Kuvassa 16.39 on esitetty eräitä pelkistettyjä kiinnitystapauksia.

Kiinnitysehtojen vaikutukset kiepahduspituuteen otetaan huomioon kriittisen kiepahdusmomentin laskennassa kertoimilla k ja k_w . Kertoimet eri tapauksille on esitetty kuvassa 16.41.

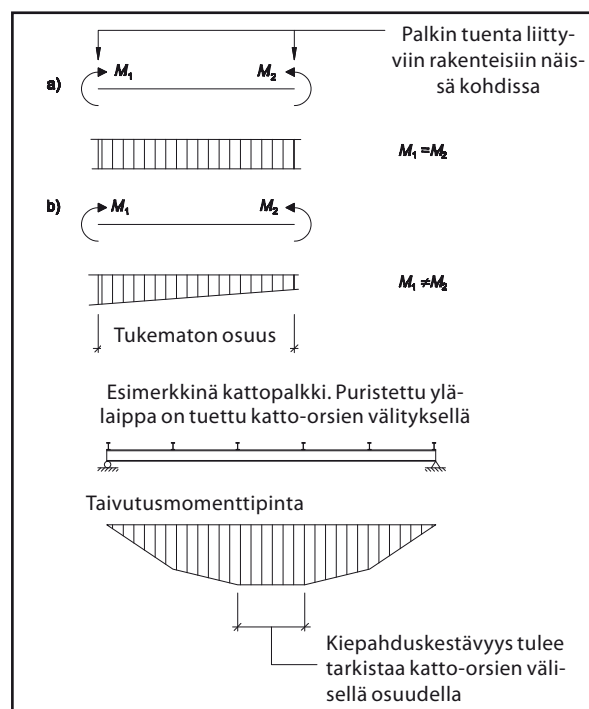
Kiepahduksen vaikutukset palkin kestävyyteen otetaan huomioon mitoituksessa kertomalla palkin poikkileikkauksen momenttikestävyys pienennyskerroinella χ_{LT} . Kuten aksiaalisesti kuormitetun pilarin nurjahduksessa, myös kiepahduksessa pienennyskerroin lasketaan muunnetun hoikkuuden λ_{LT} avulla. Muunnetun hoikkuuden kaava on muotoa:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad (16.5)$$

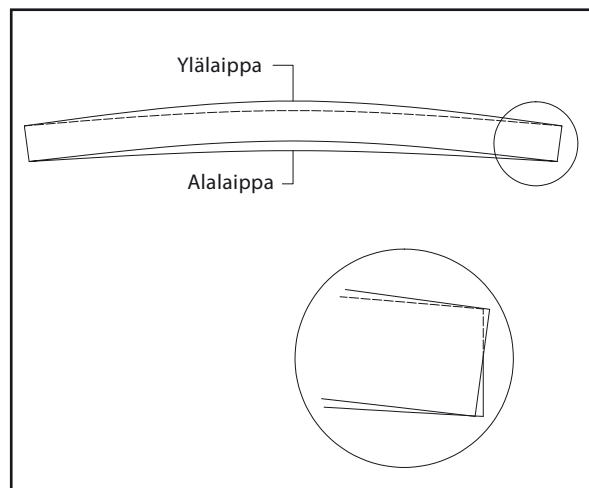
Kiinnitysehtojen ja sidonnan lisäksi kriittisen kiepahdusmomentin laskennassa tulee huomioida kuormituksen sijainti poikkileikkauksen vääntökeskiön suhteen ja taivutusmomenttijakauman muoto. Kriittisen kiepahdusmomentin laskentaa ei ole esitetty Eurokoodi 3:ssa. Laskentakaavat



Kuva 16.34 Kiepahdus tuen läheisyydessä riippuu puristetun alueen pituudesta.



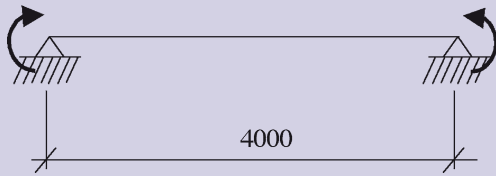
Kuva 16.35 Palkin kiepahdus tasaisen tai suoraviivaisesti muuttuvan taivutusmomentin vaikutuksesta.



Kuva 16.36 Kiepahduksessa laipat kiertyvät sivuille. Kun tuenta estää vapaan väännön, kiepahduskestävyys on suurempi.

ESIMERKKI 16.5

Laske kriittinen kiepahdusmomentti M_{cr} ja vastava hoikkuusluku alla esitetulle päistään nivelellisesti kiepahdustuetulle palkille, jossa vaikuttaa tasainen jakautunut taivutusmomentti. Palkin profiili on IPE240 ja teräksen lujuusluokka $f_y = 355$ MPa.



Laskenta ohjeen EN 1993-1-1 mukaan:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}, \quad (\text{ENV 1993-1-1:1992, Liite F})$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad (\text{EN 1993-1-1:2005, 6.3.2.2})$$

$$E = 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 80769 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$I_z = 2,84 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$L = 4000 \text{ mm}$$

$$I_w = 3,8 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6$$

$$I_t = 1,3 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 3,243 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2,84 \cdot 10^6}{4000^2} \sqrt{\frac{3,8 \cdot 10^{10}}{2,84 \cdot 10^6} + \frac{4000^2 \cdot 80769 \cdot 1,3 \cdot 10^5}{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2,84 \cdot 10^6}}$$

$$M_{cr} = 367889,5 \cdot \sqrt{13380 + 28541}$$

$$M_{cr} = 75,3 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 75,3 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{3,243 \cdot 10^5 \cdot 355}{75,3 \cdot 10^6}} = 1,236$$

esitetään yleensä muissa opastavissa ohjeissa.

16.2.5 Leikkausvoimakapasiteetti

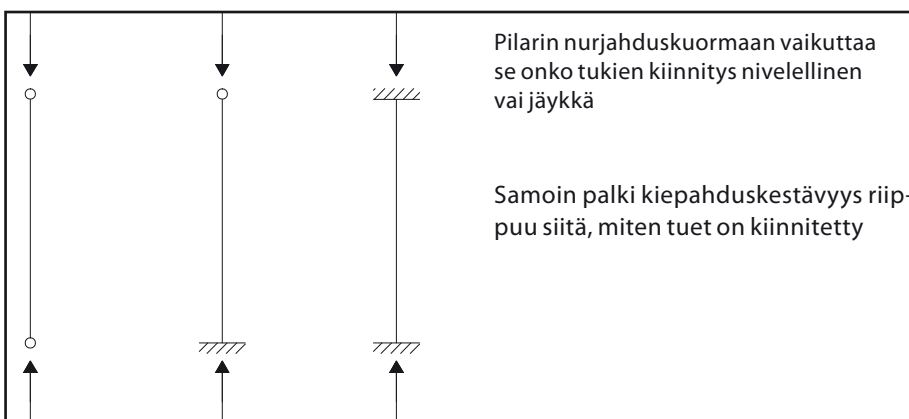
Leikkausvoima on harvoin mitoittava voimasuure. Kuitenkin mitoituksessa täytyy huolehtia siitä, että valitun poikkileikkauksen leikkauskapasiteetti on riittävä. Palkissa vaikuttaa yleensä samaan aikaan sekä leikkausvoima että taivutusmomentti. Siitä huolimatta on yleensä riittävä tarkastaa leikkaus- ja taivutusrasitukset erillisinä. Tämä perustuu muun muassa seuraaviin kahteen tosiasiaan:

1. Yleensä suuren taivutusmomentin vaikuttaessa leikkausvoima on pienimmillään ja päinvastoin.
2. Monissa poikkileikkausmuodoissa, kuten esim. I-poikkileikkauksissa, taivutusmomentti otetaan laippojen ja leikkausvoima uuman välityksellä. Tämä seikka mahdollistaa sen, että poikkileikkaus voi ottaa vastaan suuria leikkausrasituksia ilman, että sillä on vaikutusta taivutuskapasiteettiin.

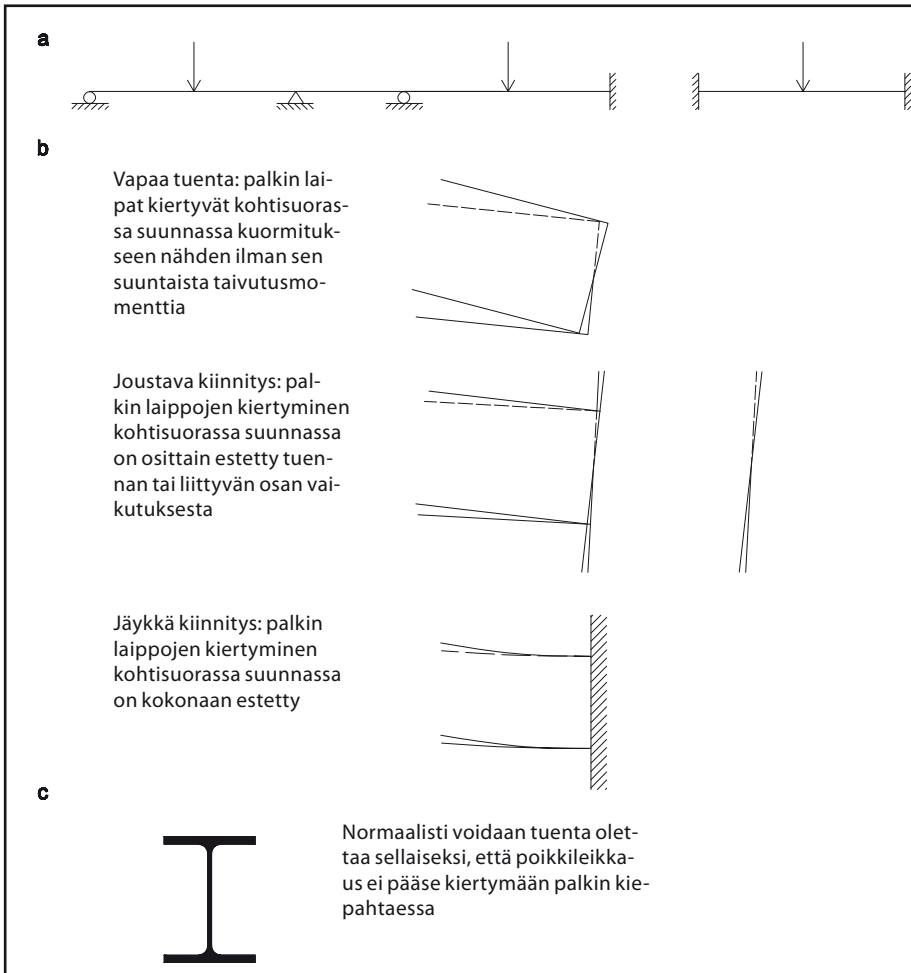
Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää yksiaukkoista tasaisen kuorman kuormittamaa palkkia, jossa taivutusmomentti ja leikkausvoima vaihtelevat kuvan 16.42 a mukaisesti. Keskikohdassa, jossa taivutusmomentti on suurin, leikkausvoima saa arvon nolla. Leikkausvoima on puolestaan suurin palkin päissä, joissa taivutusmomentti on nolla. Ne kohdat, joissa vaikuttaa sekä taivutusmomentti että leikkausvoima, eivät ole tässä tai vastaavissa rakenteissa mitoittavia.

On kuitenkin olemassa myös sellaisia tapauksia, joissa leikkausvoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutus tulee tarkastaa. Esimerkkinä sellaisesta on kuvassa 16.42 b esitetty jatkuva 2-aukkoinen tasaisen kuorman kuormittama palkki. Keskituella vaikuttaa sekä suuri taivutusmomentti että leikkausvoima. Myös suurten pistekuormien kuormittamat palkit tulee tarkastaa yhteisvaikutukselle.

Leikkausvoiman vaikutuksesta poikkileikkauksessa vaikuttaa leikkausjännitys. Uuman hoikkuudesta riippuen voidaan erottaa toisistaan kaksi tapausta, joilla voi olla ratkaisevasti erilainen kyky vastaanottaa leikkausrasituksia. Jos uuman korkeuden suhde paksuuteen on riittävän pieni, määrätty leikkauskapasiteetti suoraan uuman jännitysten perusteella. Uuman ollessa hoikempi vaikuttaa leikkauksenkestävyys uuman kestävyys (Kuva 16.43).



Kuva 16.37 Tukien kiinnityksien vaikutus nurjahdus- ja kiepahduskestävyyteen.



Kuva 16.38 Kieppahduskestävyyteen vaikuttavat tukiehdot:
 a) palkin tuennat kuorman suunnassa
 b) laippojen tuenta kuormaa vastaan kohti suorassa suunnassa
 c) vääntöjäykkä tuenta.

| Tuentatapa | Pelkistetty piirros | Merkintä rakennemallissa |
|---------------------------------------|--|--------------------------|
| Pystysuuntainen laakerointi | a | |
| Jäykkä kiinnitys sivusuunnassa | b | |
| Joustava kiinnitys kiertymien suhteen | c m osittainen kiinnitysmomentti suhteessa laippojen kiinnitykseen kiertymisen suhteen | |

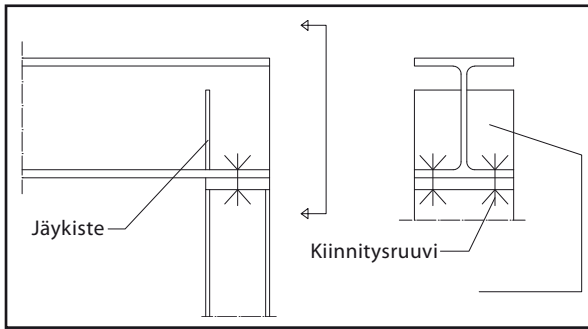
Kuva 16.39 Pelkistettyjä tuentatapauksia.

Uuman kestävyys ilman leikkauslommahdusta:

I-poikkileikkauksen uumassa leikkausjännityksen jakautuma on lievästi parabolinen (kuva 16.44 a). Jännityksen ääriarvojen vaihtelu on kuitenkin niin pientä, että voidaan yleensä yksinkertaistaen olettaa jännitys tasan jakautuneeksi kuten kuvassa 16.44 b. Von Misesin myötöehdon mukaisesti materiaalin leikkausmyötö alkaa jännitysten arvolla $\tau_y = f_y / \sqrt{3}$, eli kun $\tau_y = 0,58f_y$.

Yleisesti, kun leikkauslommahdusta ei tarvitse huomioida, voidaan leikkausvoimalle asettaa seuraava mitoitusehto (EN 1993-1-1):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad , \text{ missä } V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (16.6)$$



Kuva 16.40. Jäykisteellinen tuenta.

Uuman kestävyys leikkauslommahdus huomioiden:

Hoikan uuman kestävyys ei määrydy materiaalin myödon perusteella. Hoikkuudesta riippuen uuman lommahdus saattaa tapahtua jo myötörajaa alhaisemmilla leikkausjännityksillä. Tätä kutsutaan leikkauslommahdukseksi. Mitä hoikempi uuma on, sitä aikaisemmin se lommahdtaa (Kuva 16.45).

Leikkauslommahdus tulee huomioida, mikäli uuman hoikkuus toteuttaa seuraavat ehdot:

$$h_w/t > \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon, \text{ kun uuma on jäykistämätön} \quad (16.7)$$

$$h_w/t > \frac{31}{\eta} \cdot \varepsilon \sqrt{k_\tau}, \text{ kun uuma on jäykistetty} \quad (16.8)$$

missä h_w on I-palkin uuman korkeus
 t on uumalevyn paksuus
 $\eta = 1,2$, kun teräslujuus on enintään 460 MPa
 $= 1,0$, kun teräslujuus on suurempi

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ N/mm}^2}{f_y}}$$

Leikkauslommahdusjännityksen teoreettinen arvo voidaan laskea klassisen nurjahdusteorian kaavoilla. Todellinen uuman kestävyys poikkeaa jonkin verran tästä erityisesti hoikilla uumilla, kun ns. ylikriittistä tilaa voidaan hyödyntää.

Klassinen teoria

Klassinen teoria perustuu seuraaviin olettamuksiin:

- uumalevy on suora taso ennen lommahdusta
- materiaali toimii lineaarielastisesti; toisin sanoen jännitysten ja venymän suhde on vakio
- muodonmuutokset ovat pieniä.

Teorian mukaisesti uumalevy lommahtaa tasossa, kun leikkausjännitykset saavuttavat kriittisen jännityksen τ_{cr} kuvassa 16.46 esitetyllä tavalla. Kuvaaja osoittaa kriittisen jännityksen suhdetta hoikkuuslukuun, joka on esitetty kohdassa 16.1.5.

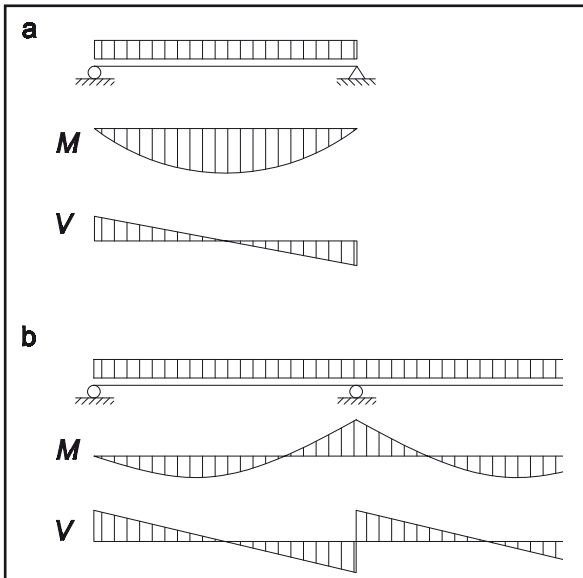
Voidaan kuitenkin osoittaa, ettei klassinen lommahdusteoria kerro todellista kestävyttä kaikilla uuman hoikkuuden arvoilla. Erittäin hoikilla uumilla kestävyys voi olla kriittistä jännitystä τ_{cr} suurempi johtuen ylikriittisestä tilasta. Toisaalta keskihoikilla uumilla voi kestävyys olla kriittistä jännitystä pienempi, jolloin uuma osin myötää ennen lommahtamista. Myötöjännitysten ylittyminen voi tapahtua esimerkiksi uumassa olevien jäännösjännitysten vaikutuksesta.

Kriittisen leikkauslommahdusjännityksen kaavan johtamisessa edellytetään, että levyn kohdistuu puhdasta leikkausrasitusta. Pääjännitykset suuntautuvat tällöin kuvan 16.47 mukaisesti 45 asteen kulmaan. Voidaan sanoa, että leikkauslommahdus tapahtuu pääjännitysten suunnassa olevan puristuksen johdosta. Toisessa pääjännityssuunnassa on vastaavasti vetojännityksiä, jotka vastustavat lommahdusta ja vetävät lommahduskenttiä takaisin. Näin ollen aaltomaiset leikkauslommahduskentät muodostuvat pääjännitysten suuntaisesti 45 asteen kulmaan.

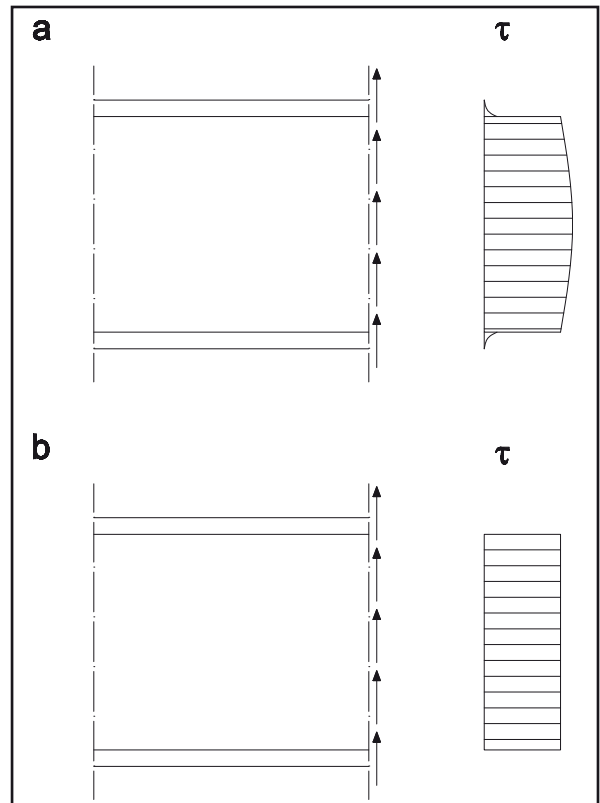
Tutkittaessa todellisia lommahdusmuotoja huomataan, ettei kulma ole 45 astetta vaan pienempi. Lisäksi todellisessa tilanteessa kestävyys on usein suurempi kuin klassisen teorian mukainen kriittinen jännitys. Pääasiallinen syy tähän on

| Tuentatapaus | k- ja k_w -arvot |
|--------------|--------------------|
| | 1,0 |
| | 0,7 |
| | 0,5 |

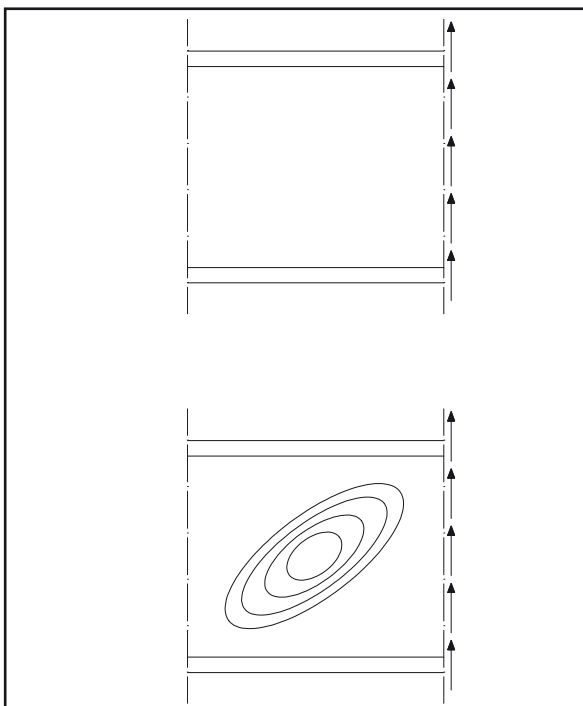
Kuva 16.41 Eri tuentatapauksien k ja k_w kertoimia.



Kuva 16.42 a) vapaasti tuettu palkki. Esimerkki tapauksesta, jossa suurin taivutusmomentti ja leikkausvoima vaikuttavat eri paikoissa. b) jatkuva palkki. Esimerkki tapauksesta, jossa suurin taivutusmomentti ja leikkausvoima vaikuttavat samassa poikkileikkauksessa.

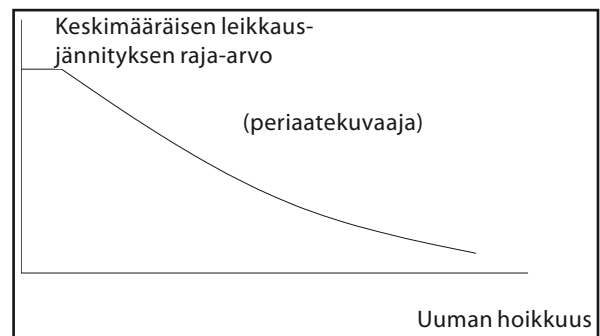


Kuva 16.44 Leikkausjännitys palkin uumassa. Laskennassa käytetään yksinkertaistettua jännitysjakaumaa b) todellisen jakauman a) sijaan.



Kuva 16.43 Hoikan uuman mitoittavana tekijänä on leikkauslommahdus.

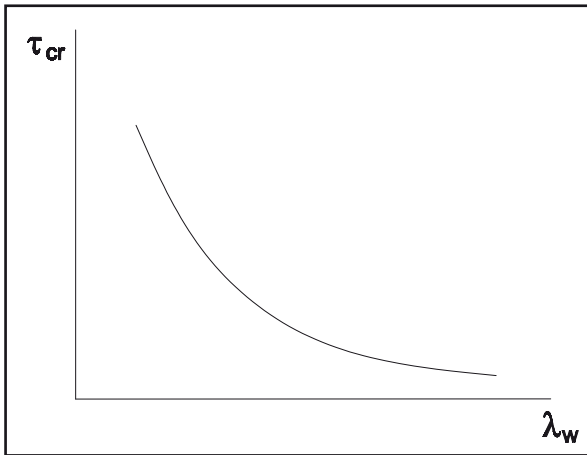
siinä, että uuma muuttaa käyttäytymistään lommahduksen yhteydessä. Näitä kestävyiden kannalta edullisia ilmiöitä klassinen lommahdusteoria ei huomioi.



Kuva 16.45 Uuman hoikkuuden vaikutus keskimääräisen leikkausjännityksen mukaiseen rajakestävyYTEEN.

Vetokenttäteoria

Klassisen lommahdusteorian vastaista käyttäytymistä voidaan selittää niin sanotulla vetokenttien teorialla. Pelkistetyn klassisen lommahdusteorian sijasta kestävyttä arvioidaan tilanteessa, jossa uumalevyn lommahtaneet osat toimivat ainoastaan vetovoimia välittävinä vetokenttinä. Vetokentät muodostuvat pääjännitysten suuntaisiksi eli hieman 45 astetta pienempään kulmaan kuvan 16.48 mukaisesti. Levyuuman muuttuessa vetokentiksi se alkaa toimia ikään kuin ristikko, jossa on veto- ja puristussauvoja. Vetosauvat muodostuvat lommahtaneisiin kohtiin ja puristussauvat niitä vastaan kohtisuoraan, kuten kuvassa 16.48 on esitetty. Tällainen malli vastaa paremmin hoikkien kestävyttä kuin klassisen lommahdusteorian mukainen laskenta.



Kuva 16.46 Kriittinen leikkausjännitys hoikkuuden suhteen klassisen teorian mukaan.

Leikkauslommahduskestävyys Eurokoodi 3:n mukaan

Eurokoodi mitoituksessa kestävyys lasketaan käyttämällä lommahduksen pienennyskerrointa χ_w . Mitoitus perustuu yksinkertaistettuun ylikriittisen tilan laskentamalliin. Menetelmä pätee eripituisille vetokentille ja huomioi uuman jäykisteiden vaikutuksen. Lommahduskestävyys saadaan seuraavasta kaavasta:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \quad (16.9)$$

missä on huomioitu sekä uuman että laippojen vaikutus

Laipan vaikutus voidaan huomioida, mikäli niiden taivutusmomentti-kapasiteettia ei ole käytetty täysin hyväksi. Yleensä kuitenkin riittää pelkän uuman kestävyuden tarkastelu. Uuman kestävyuden kaava Eurokoodi 3:n mukaan on:

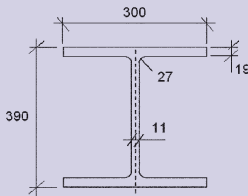
$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad (16.10)$$

missä χ_w on leikkauslommahduksen pienennyskerroin
 f_{yw} uuman teräslujuus
 h_w uuman korkeus
 t uumalevyn paksuus
 γ_{M1} materiaaliosavarmuuskerroin

Pienennyskerroin χ_w lasketaan taulukon 16.5 mukaisesti. Kerroin lasketaan hoikkuuden perusteella kolmelle perustapaukselle: täysin jäykälle, keskijäykälle ja hoikal- le uumalle.

ESIMERKKI 16.6

Laske oheisen HEA400 profiilin leikkausvoimakkestävyys. Teräksen lujuusluokka on $f_y = 355$ MPa.



Laskenta ohjeen EN 1993-1-1 mukaan:

$$V_{Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}, \text{ kun}$$

$$h_w / t_w < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 15900 - 2 \cdot 300 \cdot 19 + (11 + 2 \cdot 27) \cdot 19 = 5735 \text{ mm}^2$$

$$h_w = 390 - 2 \cdot 19 = 352 \text{ mm}$$

$$f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \gamma_{M0} = 1,0$$

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 0,81$$

$$\eta = 1,2$$

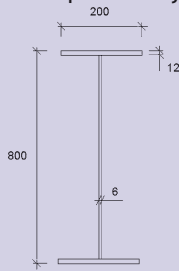
$$h_w / t_w = 352 / 11 = 32 < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,81 = 48,6 \quad \text{ok!}$$

=>

$$\frac{V_{pl,Rd}}{1,0} = \frac{5735(355/\sqrt{3})}{1,0} = 1175,4 \cdot 10^3 \text{ N} = 1175,4 \text{ kN}$$

ESIMERKKI 16.7

Laske oheisen hitsatun profiilin leikkausvoimakkestävyys. Teräksen lujuusluokka on $f_y = 355$ MPa. Palkki päissä on jäykät päätytuennat.



Laskenta ohjeen EN 1993-1-1 ja EN 1993-1-5 mukaan:

$$h_w/t_w = 776/6 = 129 > \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = 48,6$$

$$\Rightarrow V_{Rd} = \min \begin{cases} V_{pl,Rd} \\ V_{b,Rd} \end{cases}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_v = \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 776 \cdot 6 = 5587 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \gamma_{M0} = 1,0, \gamma_{M1} = 1,0$$

$$\underline{V_{pl,Rd}} = \frac{5587(355/\sqrt{3})}{1,0} = 1145,1 \cdot 10^3 \text{ N} = 1145,1 \text{ kN}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{86,4 \cdot t \cdot \varepsilon} = \frac{776}{86,4 \cdot 6 \cdot 0,81} = 1,848$$

χ_w taulukosta 5.77

$$\chi_w = 1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w) = 1,37 / (0,7 + 1,848) = 0,538$$

$$\underline{V_{b,Rd}} = \frac{0,538 \cdot 355 \cdot 776 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 513,4 \cdot 10^3 \text{ N} = 513,4 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min \begin{cases} 1145,1 \text{ kN} \\ 513,4 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\underline{V_{Rd}} = 513,4 \text{ kN}$$

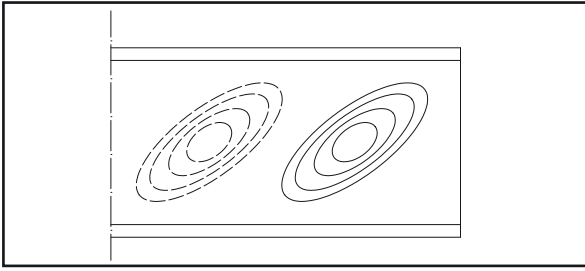
Vetokentän muodostuminen riippuu uuman jäykistyksestä. Vetokentät voivat olla joko osittaisia tai täydellisiä riippuen siitä miten hyvin kentät ovat reunoiltaan tuettuina. Tästä johtuen lommahduskertoimen arvot esitetään taulukossa tuen jäykistystavan perusteella sekä jäykille ja ei-jäykille päätytuille. Tukijäykisteiden ja hoikkuuden vaikutus kertoimeen χ_w on esitetty kuvassa 16.49.

Jäykkä päätytuki toteutetaan kaksilla molemminpuolisilla jäykisteillä, jolloin sen jäykkyys on riittävä vaakasuuntaisille vetojännityksille täydellisen vetokentän tapauksessa. Ei-jäykällä päätytuella vetokenttä ei voi kehittyä täydelliseksi. Molemmat perustapaukset on esitetty kuvassa 16.50.

Levyn muunnettu hoikkuus saadaan laskentakaavasta:

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_{yw}/3}{\tau_{cr}}} \quad (5.11)$$

missä $\tau_{cr} = k_t \cdot \sigma_E$



Kuva 16.47 Leikkausjännitys palkin uumassa. Laskennassa käytetään yksinkertaistettua jännitysjakautumaa b) todellisen jakauman a) sijaan.

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2)b^2} = 190000 \left(\frac{t}{b}\right) \text{MPa}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4 \cdot (h_w / a)^2 + k_{\text{tst}} \quad \text{kun } \frac{a}{h_w} \geq 1$$

$$k_\tau = 4 + 5,34 \cdot (h_w / a)^2 + k_{\text{tst}} \quad \text{kun } \frac{a}{h_w} < 1$$

b on levykentän korkeus
a jäykisteiden välinen etäisyys

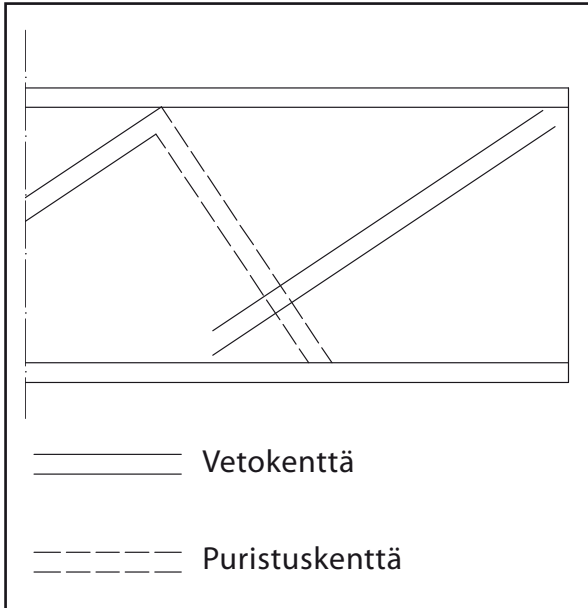
Kaavoissa esitetty kerroin k_{tst} ottaa huomioon pituussuuntaisten jäykisteiden vaikutuksen. Yksinkertaistuksen vuoksi tässä osassa ei käsitellä pituussuuntaisia jäykisteitä, jolloin se voidaan jättää huomioimatta mitoituksessa.

Kun kaavaan 16.11 sijoitetaan yleistäen edellä esitetyt arvot, voidaan muunnetun hoikkuuden laskennassa käyttää myös seuraavia yksinkertaistettuja lausekkeita:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{86,4 \cdot t \cdot \varepsilon} \quad \text{kun jäykisteet pelkästään tuella} \quad (5.12)$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} \quad \text{kun lisäksi välijäykisteitä} \quad (5.13)$$

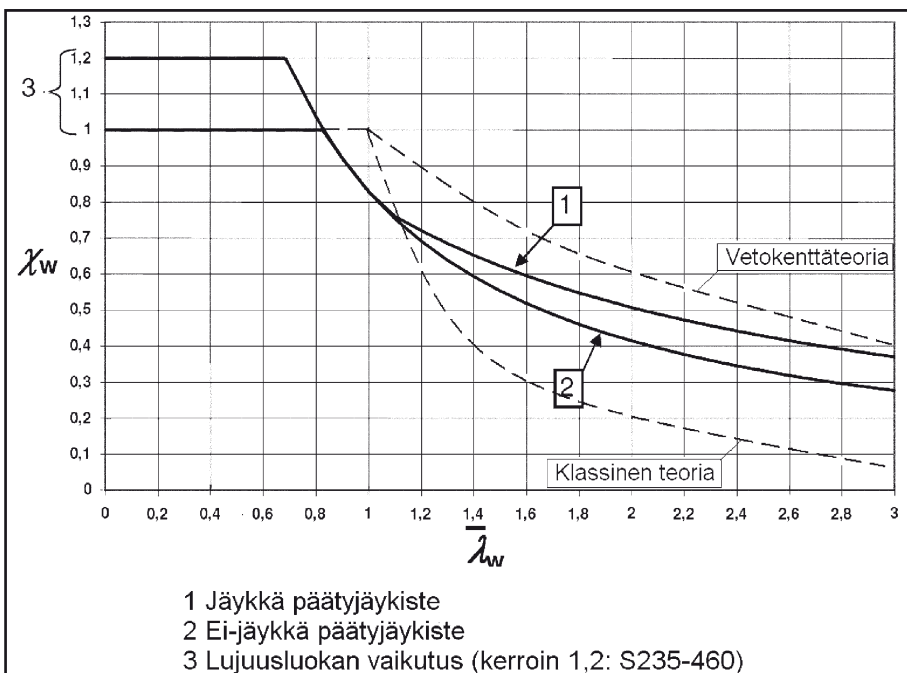
Lisäksi mitoituksessa tulee huomioida paikalliset rasitukset, reikien vaikutus sekä vaatimukset jäykisteille Eurokoodi ohjeen EN 1993-1-5 mukaisesti.



Kuva 16.48 Palkin uuma, jonka täysin kehittyneet vetokentät toimivat ristikon veto- ja puristussauvojen tapaan.

16.2.6 Pistekuormakestävyys

Joissakin rakenteiden osissa saattavat paikalliset voimat siirtyä toiseen rakenneosaan hyvin rajoitetun alueen kautta. Esimerkiksi kuvan 16.51 a kahden ristikkäisen palkin välillä,



Kuva 16.49 Pienennyskerroin χ_w , EN 1993-1-5.

| Hoikkuus | χ_w jäykkä päätyjäykiste | χ_w ei-jäykkä päätyjäykiste |
|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| $\bar{\lambda}_w < 0,69$ | 1,2 | 1,2 |
| $0,69 \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$ | $0,83/\bar{\lambda}_w$ | $0,83/\bar{\lambda}_w$ |
| $\bar{\lambda}_w < 1,08$ | $1,37/(0,7+\bar{\lambda}_w)$ | $0,83/\bar{\lambda}_w$ |

Taulukko 16.5 Uuman hoikkuuden ja tuennan vaikutus leikkauskestävyyteen, EN 1993-1-5 (teräslujuudet S235-S460).

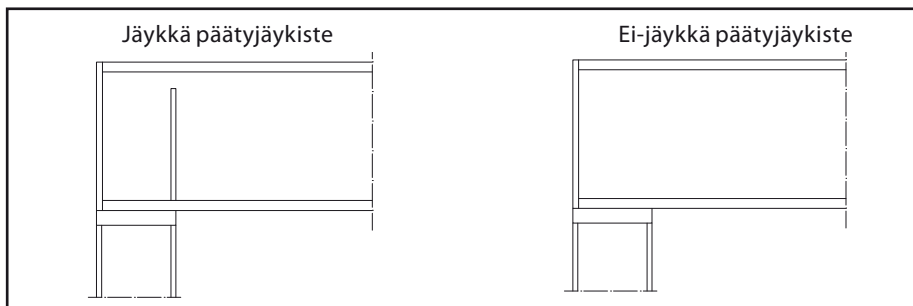
voimat siirtyvät alemman palkin uumalle hyvin pieneltä alueelta. Toinen tavallinen esimerkki on nosturiratapalkki, jossa pyöräkuormien välittämät pistemäiset voimat täytyy siirtää palkille (Kuva 16.51 b).

Palkin mitoituksessa täytyy huolehtia siitä, että paikalliset voimat voivat välittyä uumalle ilman kestävyys ylittymistä. Jos voimat ovat liian suuria, voi palkin osa voin painua kasaan. Tämä vaurio voi syntyä joko materiaalin myötäämisen tai uuman paikallisen lommahduksen seurauksena. Näin ollen mitoituksessa on tarkasteltava seuraavat kaksi asiaa:

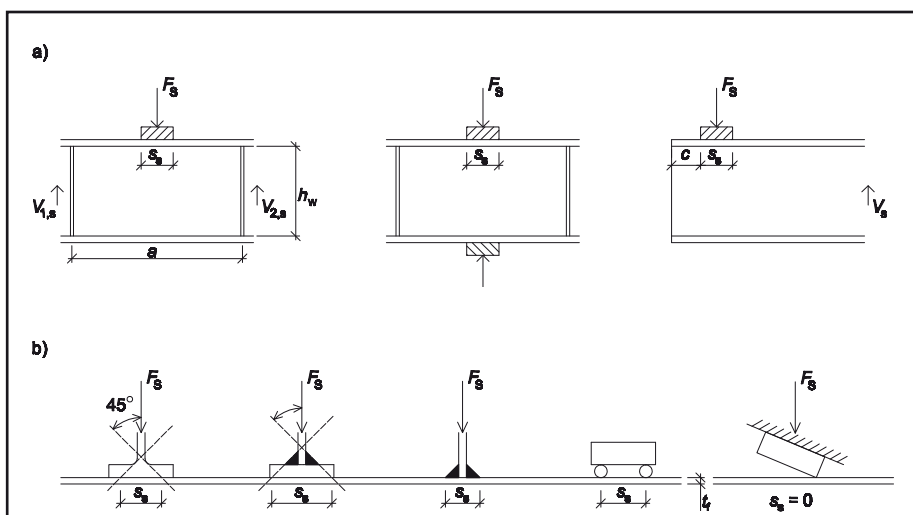
1. Pistekuorman aiheuttamat paikalliset jännitykset eivät saa ylittää materiaalin kestävyyttä
2. Palkin uumassa ei saa tapahtua paikallista lommahdusta pistekuorman vaikutuksesta

Uuman hoikkuus vaikuttaa siihen, kumpi näistä tapauksista on määrävämpi. Hoikilla uumalevyillä voi lommahdus tapahtua ennen materiaalin myötäämistä ja tapaus 2 tulee määräväksi.

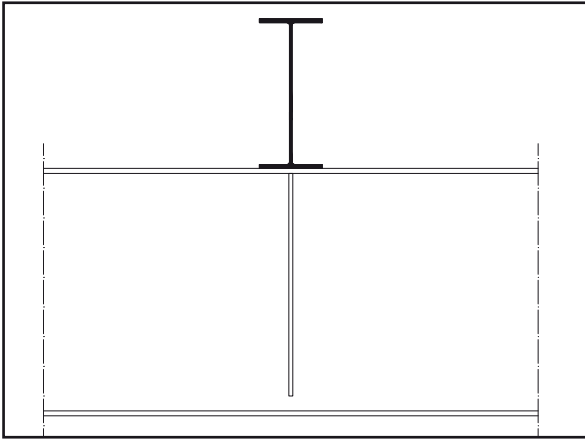
Uuman myötääminen ja lommahdus voidaan estää vahvistamalla uumalevyä poikittaissuuntaisella jäykisteellä pistekuorman alla (Kuva 16.52). Jäykisteellä pistekuorman rasitukset välitetään koko uuman korkeuden matkalle. Usein halutaan kuitenkin mitoittaa palkit ilman jäykisteitä. Tällöin palkin poikkileikkaus on valittava riittävän vahvaksi. Toisinaan tämä on perusteltua, joskus taas on parempi vahvistaa palkkia paikallisesti. Esimerkiksi nosturiratapalkkeilla ei nosturipyörien pistekuorma vaikuta aina samassa paikassa, jolloin palkin täytyy kestää tämä rasitus ilman paikallisia jäykisteitä.



Kuva 16.50 Jäykkä ja ei-jäykkä päätyjäykistys.



Kuva 16.51 Esimerkkejä pistemäisistä paikallisista rasituksista.



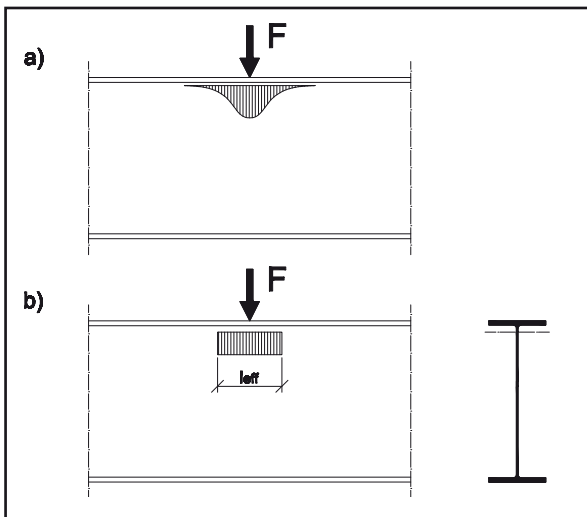
Kuva 16.52 Uumajäykiste pistemäisen kuorman kohdalla.

Pystysuuntaiset voimat ovat suurimmillaan välittömästi kuormituksen alla ja pienenevät nopeasti sivuille tai alaspäin mentäessä. Uumalevyn käyttöaste ja jännitykset ovat suurimmillaan uuman ja laippojen välisen pyörityksen tai hitsin alareunassa (Kuva 16.53 a). Yksinkertaistettu voidaan jännitykset ajatella tasan jakautuneeksi kuvan 16.53 b mukaan. Tällöin uuman kestävyys F_{Rd} voidaan laskea myötöjännityksen perusteella kaavasta:

$$F_{Rd} = L_{eff} \cdot t_w \cdot f_{yw} / \gamma_{M1} \quad (5.14)$$

missä L_{eff} tehollinen pituus
 t_w uuman paksuus
 f_{yw} uuman suunnittelulujuus
 γ_{M1} materiaaliosavarmuuskerroin

Paikallisen kestävyuden kaavan laskennassa tehollinen pituus lasketaan uuman muunnetun hoikkuuden avulla. Tällä laskentatavalla huomioidaan sekä uumalevyn paikallinen kestävyys että lommahdus. Tarkemmat laskentakaavat pistekuormakestävyydelle on esitetty Eurokoodi ohjeen EN 1993-1-5 luvussa 6.



Kuva 16.53 Jännitysten jakautuminen pistekuorman vaikutuksesta.

Palkin kestävyyttä arvioitaessa tulee lisäksi tarkistaa paikassa vaikuttavien jännitysten ja paikallisen rasituksen yhteisvaikutus ohjeen EN 1993-1-5 kohdan 7.2 mukaan. Kun uumalevy jäykistetään poikittaisella jäykisteellä, jäykisteen vaatimuksenmukaisuus ja nurjahduskestävyys tarkistetaan myös kyseisen ohjeen mukaan.

16.2.7 Taipumat

Kestävyuden ja stabiliteetin tarkastelun lisäksi, suunnittelijan tulee myös laskea miten suuria taipumia kuormat aiheuttavat. Sallitut taipumat määritellään tapauskohtaisesti tai voimassa olevien normien mukaan.

Haitallisia taipumia voidaan ehkäistä myös esikorottamalla rakenneosia. Esikorotuksella tarkoitetaan valmistuksessa tehtävää pysyvää muodonmuutosta. Esikorotuksen suuruus voidaan määritellä yhtä suureksi kuin lopullisen rakenteen pysyvien kuormien aiheuttama taipuma. Tällöin lopulliseen rakenteeseen aiheutuu taipumia ainoastaan muuttuvista kuormista. Kuvassa 16.54 on esitetty esikorotuksen periaatteet.

Taipumat lasketaan käyttörajatilan kuormituksilla eli ilman kuormien osavarmuuskertoimia. Suurimmat sallitut taipumat ja siirtymät annetaan Eurokoodi ohjeessa EN 1990 sekä sen kansallisissa liitteissä.

16.2.8 Mitoitus Eurokoodi 3:n mukaan

Momenttikestävyys:

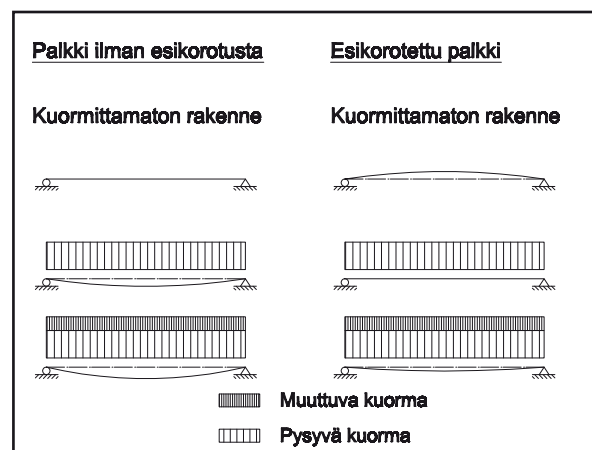
Momenttikestävyys lasketaan ohjeen EN 1993-1-1 luvun 6 mukaan. Mitoituksen ensimmäisessä vaiheessa määritellään palkin poikkileikkausluokka, jonka jälkeen kestävyys voidaan tarkastaa seuraavilla mitoitusheidoilla:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

, taivutuskestävyys (5.15)

missä

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M1}, \text{ poikkileikkausluokat 1,2} \quad (5.15a)$$



Kuva 16.54 Esikorotuksen periaate lopullisen taipuman rajoittamiseksi.

ESIMERKKI 16.8

Tarkista palkin kestävyys, kun siihen vaikuttaa samanaikaisesti seuraavan suuruiset taivutusmomentti ja leikkausvoima:

$$M_{Ed} = 470 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 350 \text{ kN}$$

Palkin kestävyudet pelkälle momentille tai leikkausvoimalle ovat:

$$M_{Rd} = 600 \text{ kNm}$$

$$V_{Rd} = 480 \text{ kN}$$

Laskenta:

Koska $V_{Ed} > 0,5 V_{Rd}$ leikkauskestävyyden vaikutus taivutusmomenttikestävyyteen tulee huomioida.

Vähennyskerroin ohjeen EN 1993-1-1 mukaan on:

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 350}{480} - 1 \right)^2 = 0,21$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{350}{480} = 0,73 \leq 1,0$$

ok!

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,V,Rd}} = \frac{470}{(1 - 0,21) \cdot 600} = 0,99 \leq 1,0$$

ok!

$$M_{c,Rd} = W_{el,min} \cdot f_y / \gamma_{M1}, \text{ poikkileikkausluokka 3} \quad (5.15 \text{ b})$$

$$M_{c,Rd} = W_{eff,min} \cdot f_y / \gamma_{M1}, \text{ poikkileikkausluokka 4} \quad (5.15 \text{ c})$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0, \text{ kiepahduskestävyys} \quad (5.16)$$

missä

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}, \text{ pl-luokka 1 ja 2} \quad (5.16 \text{ a})$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}, \text{ pl-luokka 3} \quad (5.16 \text{ b})$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{eff,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}, \text{ pl-luokka 4} \quad (5.16 \text{ c})$$

Profiilit voivat olla joko yhteen tai kahteen suuntaan symmetrisiä kuten kuvassa 16.55. Kaavat ovat yleispäteviä sekä symmetrisille että epäsymmetrisille profiileille, mutta on huomattava, että epäsymmetrisille profiileille on valittava mitoittava taivutusvastuksen arvo: taivutuskestävyyttä laskettaessa valitaan pienempi kahdesta taivutusvastuksesta ja kiepahduskestävyyttä laskettaessa ylemmän, puristetun, osan taivutusvastus.

Leikkausvoimakestävyys:

Leikkausvoimakestävyys lasketaan ohjeen EN 1993-1-1 luvun 6 mukaan, mikäli leikkauslommahdusta ei tarvitse ottaa huomioon. Leikkauslommahduskestävyys lasketaan ohjeen EN 1993-1-5 mukaan. Näissä ohjeissa esitetyt mitoitusehdot ovat seuraavat:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0, \text{ leikkauskestävyys} \quad (5.17)$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1,0, \text{ leikkauslommahduskestävyys} \quad (5.18)$$

Mitoitus tehdään siten, että tarkastetaan ensin leikkauskestävyys ilman lommahdusta. Hoikilla uumilla tulee tämän lisäksi tarkastaa myös leikkauslommahduksen mitoitusehto. Leikkausvoimakestävyyden kaavat ja ehdot mm. lommahduksen tarkastamiselle on esitetty tarkemmin tämän luvun kohdassa 16.2.5.

Taivutusmomentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutus:

Taivutusmomentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutus otetaan huomioon Eurokoodi ohjeissa vähentämällä taivutusmomenttikestävyyden laskenta-arvoa. Tätä vähennystä ei tarvitse tehdä, mikäli leikkausvoima on pienempi puolet leikkauskestävyydestä ($V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$). Vähennys otetaan huomioon ohjeen EN 1993-1-1 kohdan 6.2.8 mukaan seuraavasti:

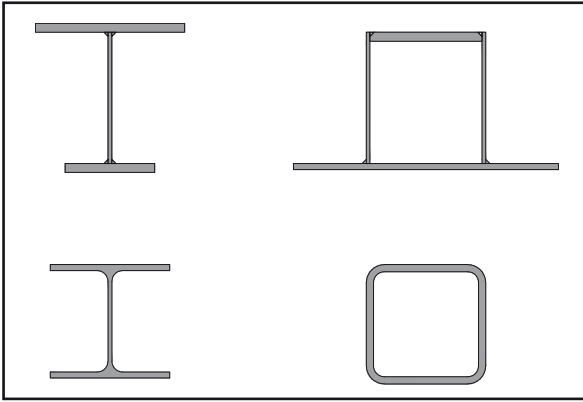
$$M_{c,Rd} = (1 - \rho) \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1} \quad (5.19)$$

missä

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (5.20)$$

Kestävyys paikalliselle pistekuormalle:

Pistekuormakestävyys F_{Rd} lasketaan Eurokoodi ohjeen EN 1993-1-5 luvun 6 mukaan. Laskennan perusteet on esitetty tämän luvun kohdassa 16.2.6.



Kuva 16.55 Symmetrisiä ja epäsymmetrisiä (yhteensuuntaan symmetrisiä) palkkeja.

16.3 NORMAALIVOIMAN KUORMITTAMAN PROFIILIN KESTÄVYYS

16.3.1 Vetokestävyys

Vedetyin poikkileikkauksen kestävyys lasketaan suoraan materiaalin lujuuden ja poikkileikkauksen pinta-alan avulla. Toisin sanoen koko poikkileikkaus toimii tehollisena. Vetokestävyys $N_{t,Rd}$ lasketaan ohjeen EN 1993-1-1 mukaan pienempi seuraavien lausekkeiden arvoista:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.21)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (5.22)$$

Nettopinta-alan A_{net} laskennassa vähennetään kiinnittimien reikien vaikutus pinta-alaan.

16.3.2 Puristuskestävyys (ilman nurjahdusta)

Puristetun poikkileikkauksen kestävyys laskennassa huomioidaan epästabiiliuksien vaikutus. Paikallisten lommahdusten vaikutuksesta tulee tehollista pinta-alaa pienentää poikkileikkausluokassa 4. Puristuskestävyys $N_{c,Rd}$ lasketaan ohjeen EN 1993-1-1 mukaan seuraavien lausekkeiden avulla:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ poikkileikkausluokissa 1,2 ja 3} \quad (5.23)$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ poikkileikkausluokassa 4} \quad (5.24)$$

Tämän lisäksi tulee tarkistaa profiilin **nurjahduskestävyys**, mikäli profiilin hoikkuusluku on suurempi kuin $0,2 (\bar{\lambda} \geq 0,2)$.

16.3.3 Nurjahduskestävyys

Pilarin nurjahduskestävyyteen vaikuttavia suureita ovat:

- pilarin hoikkuus
- materiaalin lujuus
- päiden tuennat
- välituennat
- alkuepäkeskisyydet ja käyryydet
- alkujännitykset

Nurjahduksessa pilari taipuu sivulle puristavan normaaliavoiman vaikutuksesta. Sen vuoksi nurjahduksen kannalta on merkitystä sillä, ovatko pilarin päät vapaasti, nivelellisesti tai täysin tuettuja. Joissakin tapauksissa pilari saatetaan tukea myös päiden tukien väliseltä matkalta siihen liittyvillä rakenteilla. Kun nurjahdusmuotoa rajoitetaan tuennoilla, voidaan pilarin nurjahduskestävyyttä parantaa merkittävästi.

Teoreettista nurjahduskuormaa voidaan laskea eri nurjahdustapauksille klassisen nurjahdusteorian mukaisilla kaavoilla. Eräs esimerkki näistä on Eulerin kriittisen nurjahduskuorman lauseke. Seuraavassa on esitetty eri nurjahdustapauksia, niiden kriittisten nurjahduskuormien laskentaa, sekä muita nurjahduksessa huomioon otettavia tekijöitä, joita klassisen teorian mukaiset kaavat eivät huomioi.

Nurjahdusmuodot:

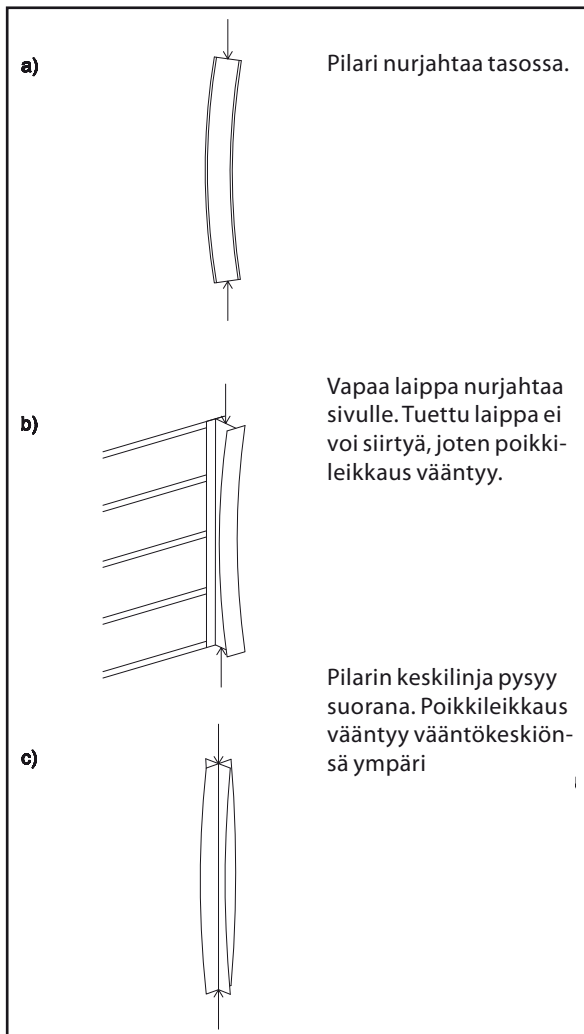
Riippuen siitä, millaisen muodonmuutoksen nurjattava pilari saa, voidaan esittää seuraavat yleiset nurjahdustapaukset (Kuva 16.56):

- taivutusnurjahdus
- taivutusvääntönurjahdus
- vääntönurjahdus

Taivutusnurjahdusta kutsutaan myös tasonurjahdukseksi tai Eulerin nurjahdukseksi. Siinä pilari taipuu sivulle siten, että sen muoto kaareutuu tasossa (Kuva 16.56 a). Taivutusnurjahdus voi tapahtua kaksoisymmetriselle profiilille, mikäli se on täysin tukematon tai mikäli se on tuettu vain toisessa suunnassa. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää hallin keskipilaria (Kuva 16.57). Se on tuettu ainoastaan alapäästään perustuksiin ja yläpäästään kattotasoon. Näin ollen pilarin keskivaiheilla ei ole mitään tuentaa estämässä taipumista sivuille.

Taivutusvääntönurjahdus voi tulla kyseeseen I-pilarille, jonka yksi laippa on tuettu profiilin heikommassa suunnassa, kuten kuvassa 16.56 b. Tälle sidotun väännön tapaukselle on ominaista se, että aluksi vain vapaa laippa taipuu sivulle ja tuettu laippa pysyy paikallaan. Tuennan vuoksi pilari vääntyy ja nurjahdus tapahtuu taivutuksen ja väännön yhdistettynä muotona. Tyypillinen esimerkki tällaisesta tapauksesta on hallin ulkoseinän pilari (Kuva 16.58), jonka ulompi laippa tukeutuu ulkokuoreen ja sisälaippa on vapaa.

Taivutusvääntönurjahdus voi tapahtua myös yhteen suuntaan symmetriselle profiilille (Kuva 16.59), jonka laippoja ei ole sidottu sivusuunnassa. Kun toinen laippa on sivusuunnassa selvästi toista jäykempi, profiilin nurjahdusmuodoksi voi tulla taivutusvääntönurjahduksen muoto.



Kuva 16.56 Puristetun sauvan nurjahdusmuotoja.

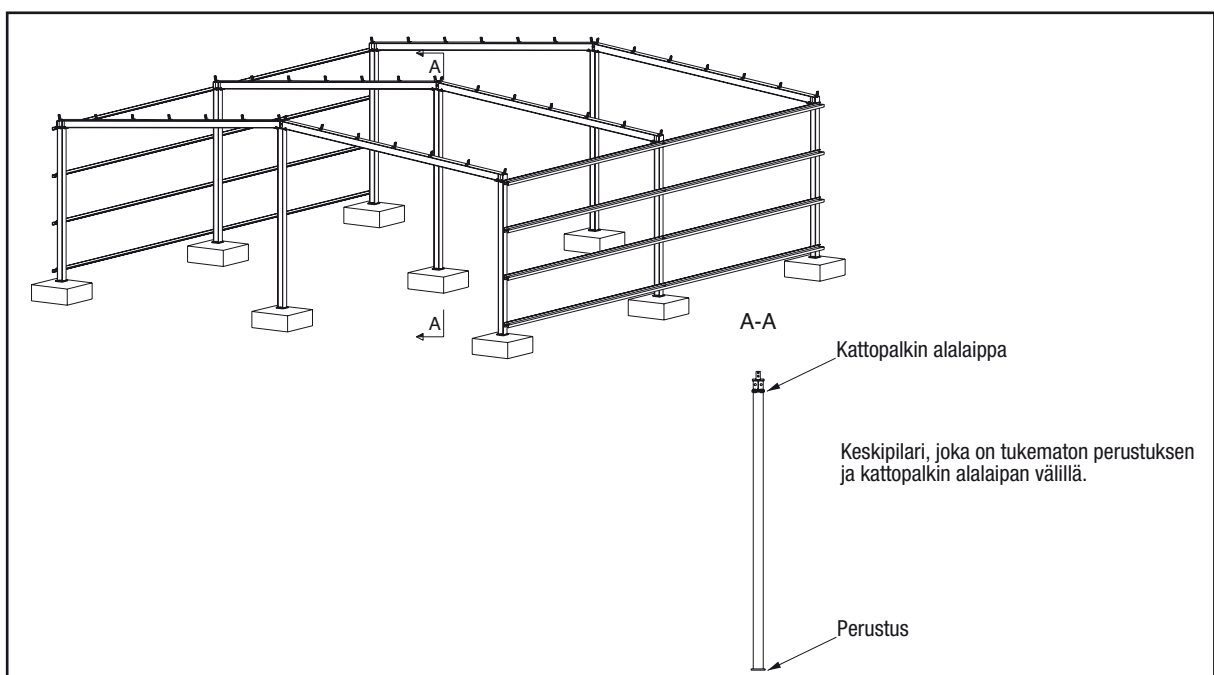
Puhdas vääntönurjahdus on harvinaisempi nurjahdusilmiö. Vääntönurjahduksessa pilarin keskilinja säilyy suorana ja pileri vääntyy ainoastaan tämän vääntökeskiönä ympäri puristusvoiman vaikutuksesta (Kuva 16.56 c). Se on mahdollinen ainoastaan tiettytyyppisille, esimerkiksi ristinmuotoisille profiileille, joilla on suhteellisen pieni vääntöjäyhyys.

Profiilin hoikkuus voidaan karkeasti sanoa olevan pituuden suhde poikkileikkauksen jäykkyyteen. Taivutusnurjahduksen hoikkuus lasketaan käyttäen poikkileikkauksen jäyhyysäädettä i ja nurjahduspituutta L_{cr} . Nurjahduspituus L_{cr} määritellään siten, että se huomioi todellisen pituuden lisäksi sauvan päiden tuennat. Pilarin hoikkuus, $\lambda = L_{cr}/i$, on eri asia kuin pilarin nurjahdusmitoituksessa käytettävä hoikkuusluku $\bar{\lambda}$. Hoikkuusluku $\bar{\lambda}$ (katso luku 16.1.5) on suhteellinen luku, joka ilmoittaa pilarin herkkyyden nurjahdukselle.

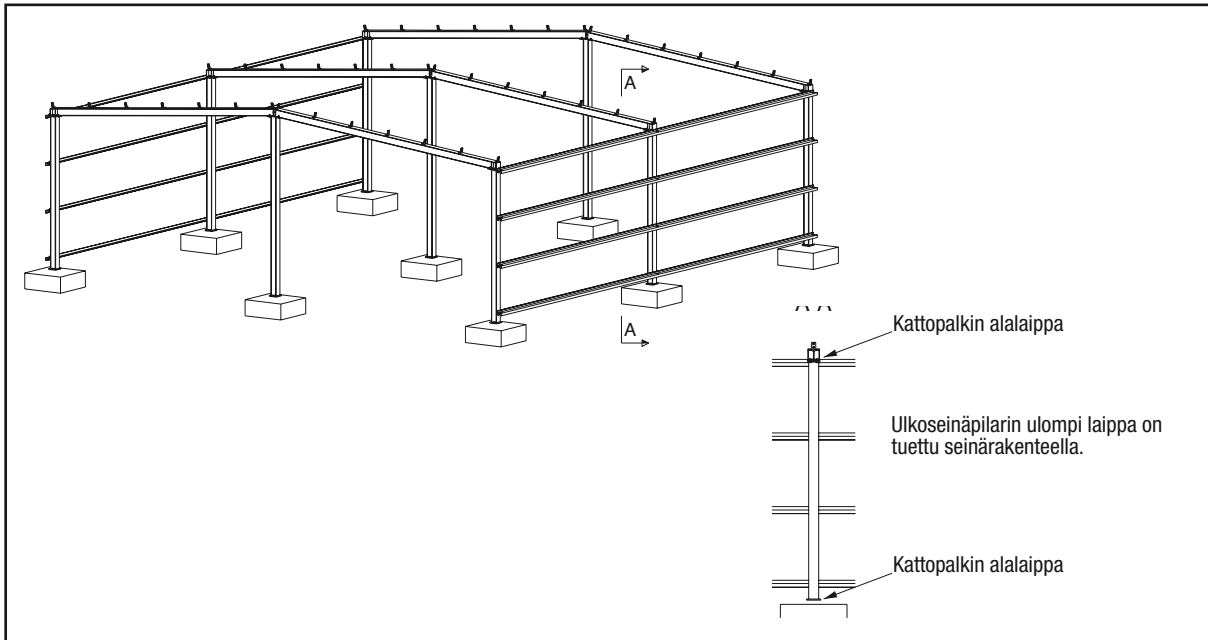
Klassisen teorian mukainen nurjahduskuorma:

Eri nurjahdusmuotojen mukaisille tapauksille voidaan laskea teoreettinen kriittisen nurjahduskuorman arvo N_{cr} . Tämä arvo on laskennallinen klassisen teorian mukainen nurjahduskuorma, jolla pileri nurjahtaa. Se ottaa huomioon pilarin hoikkuuden, kiinnitykset ja tuennat. Se ei kuitenkaan ota huomioon kaikkia nurjahduskestävyyteen vaikuttavia seikkoja, joita on esitetty kuvassa 16.60. Sen vuoksi nurjahduskuormaa N_{cr} ei saa suoraan käyttää pilarin mitoituksessa.

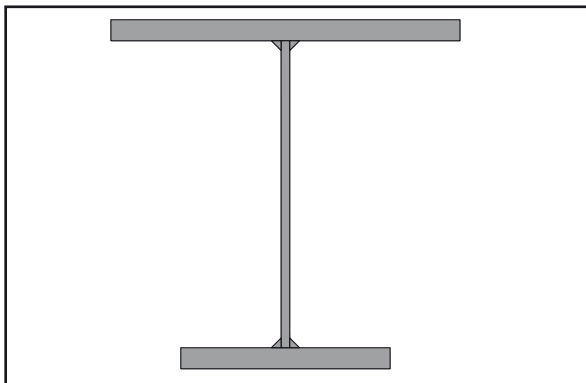
Klassisen teorian mukainen nurjahduskuorma on kuitenkin lähtökohtana mitoituksessa. Kuvassa 16.62 on esitetty eri nurjahdusmuotojen klassisen teorian mukaiset kriittisten nurjahduskuormien kaavat. Kuvassa 16.61 esitetyn laskentamenetelmän mukaisesti tulee ensin valita oikea nurjahdusmuoto ja laskea sen kriittinen nurjahduskuorma



Kuva 16.57 Esimerkki pilarista joka on tukematon alku- ja loppupisteidensä välillä.



Kuva 16.58 Esimerkki pilarista jonka toinen laippa on sidottu.



Kuva 16.59 Yhteen suuntaan symmetrinen profiili.

Pilarin nurjahduskestävyyden vaikuttavia tekijöitä:

- materiaalin lujuus
- alkukäyryys
- alkuepäkeskisyys
- jäännösjännitykset

Kuva 16.60 Nurjahduskestävyyden vaikuttavat tekijät, joita klassinen teoria ei huomioi.

1. Määritä klassisen teorian mukainen kriittinen nurjahduskuorma

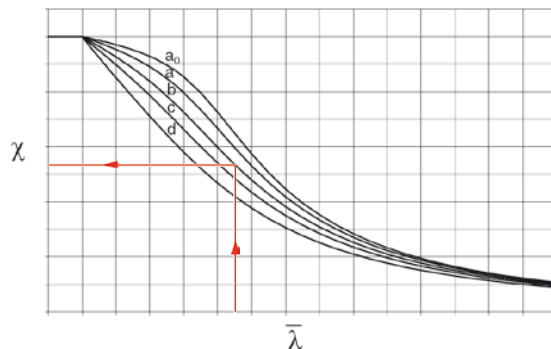
2. Laske hoikkuusluku $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

kaavasta:

missä $A \cdot f_y$ on poikkileikkauksen kestävyuden ominaisarvo,
 N_{cr} on kriittinen nurjahduskuorma kohdan 1 mukaan

3. Määritä pienennyskerroin χ oheisesta kuvaajasta



Kuva 16.61 Laskentamenetelmä nurjahduksen pienennyskerroimen määrittämiseksi.

| |
|---|
| Klassisen teorian mukaisia kriittisen nurjahduskuorman laskentakaavoja: |
| - tasonurjahdus (Euler): |
| $N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$ |
| - vääntönurjahdus: |
| $N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{I_T^2} \right)$ |
| - taivutusvääntönurjahdus: |
| $N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left[1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} \right)^2 + 4 \left(\frac{y_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right]$ |

Kuva 16.62 Esimerkkejä klassisen teorian mukaisista kriittisen nurjahduskuorman laskentakaavoista.

ESIMERKKI 16.9

Laske oheisen pilarin taivutusnurjahduksen hoikkusuulu $\bar{\lambda}$.



$$\begin{aligned} I_z &= 27,7 \times 10^6 \text{ mm}^4 \\ A &= 7680 \text{ mm}^2 \\ f_y &= 355 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Laskenta ohjeen EN 1993-1-1 mukaan:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad (\text{EN 1993-1-1:2005, 6.3.1.3})$$

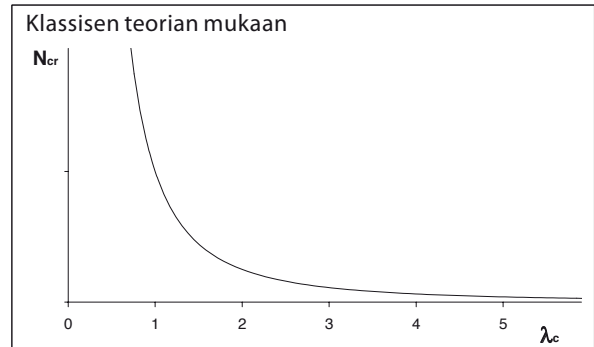
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 27,7 \cdot 10^6}{4000^2} = 3,588 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{7680 \cdot 355}{3,588 \cdot 10^6}} = \underline{0,871}$$

klassisen teorian mukaan (kohta 1). Sen jälkeen hoikkusuulu lasketaan kohdan 2 mukaisesti poikkileikkauksen kestävyyden ja kriittisen nurjahduskuorman suhteesta.

Tämän hoikkusuulun avulla saadaan mitoituksessa käytettävä jännityksen pienennyskerroimen arvo pilarin nurjahduskäyrästä kuvan 16.61 kohdan 3 osoittamalla taval-



Kuva 16.63 Pilarin nurjahduskuorma hoikkusuulun suhteen klassisen teorian mukaan.

la tai käyttämällä pienennyskerroimen laskentakaavoja. Käytännön mitoituksessa kriittistä nurjahduskuormaa ei välttämättä lasketa vaan käytetään valmiiksi sievennetyjä pienennyskerroimen χ ja hoikkusuulun $\bar{\lambda}$ kaavoja eri nurjahdustapauksille (kohta 16.3.4).

Nurjahduskestävyyteen vaikuttavat seikat:

Mikäli pilarin toimintatapa vastaisi täysin klassista teoriaa, tulisi sen nurjahduskestävyys $N_{b,Rd}$ olla yhtenevä kriittisen nurjahduskuorman N_{cr} kanssa (Kuva 16.63). Klassisen teorian mukaisesta nurjahduskäyrästä voidaan hoikkusuulun $\bar{\lambda}$ avulla määrittää suoraan pilarin teoreettinen nurjahduskestävyys. Tätä käyrää ei kuitenkaan saa käyttää käytännön mitoituksessa, koska se ei ota huomioon kaikkia nurjahduskestävyyteen vaikuttavia seikkoja. Tämä nurjahduskäyrä ottaa huomioon seuraavat ominaisuudet:

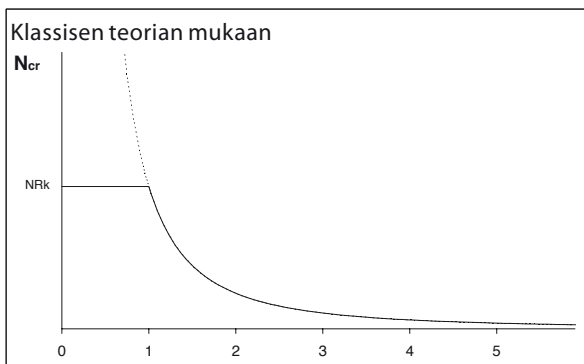
- pilarin pituuden,
- poikkileikkauksen ominaisuudet,
- kiinnitykset ja tuennat.

Pilarin todellista kestävyyttä määritettäessä tulee tämän lisäksi huomioida myös kuvassa 16.60 esitetyt muut vaikuttavat seikat.

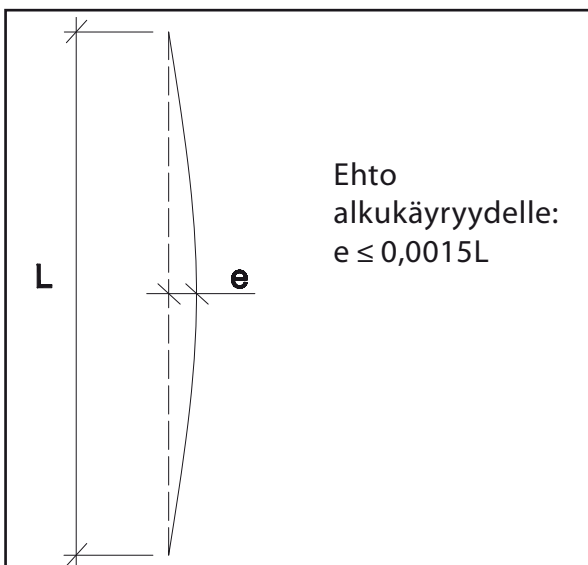
Materiaalin lujuus vaikuttaa pilarin kestävyys sen, että jännitykset pilarissa eivät voi kasvaa myötöraja suuremmiksi. Suurin mahdollinen kuorma on siten yhtä kuin poikkileikkausala kertaa myötöjännitys, $N_{Rd} = A \cdot f_y$. Tämä voidaan ottaa huomioon nurjahduskäyrässä 16.63 siten, että yhdistetään siihen materiaalikestävyyteen N_{Rd} perustuva suora. Näin saadaan kuvan 16.64 mukainen nurjahduskäyrä.

Todellisuudessa kaikki pilarit omaavat jonkunlaisen alkukäyryyden jo ennen kuormittamista. Tosin sallittu alkukäyryys on varsin pieni. Kun pilarin pituus on L , saa poikkeama suorasta linjasta olla käytössä olevan valmistusstandardin mukaan enintään $L/1000$ (Kuva 16.65). Todellisuudessa pilari voi olla suurempikin, mutta tätä enimmäisarvoa voidaan käyttää mitoituksen lähtökohtana.

Alkukäyryyden vuoksi alun perin täysin keskeisesti kuormitettu pilari saa myös alkukäyryyttä vastaavan taivutusmomentin. Epäkeskisyyden e aiheuttama momentti saadaan kertomalla se poikkileikkauksessa vaikuttavalla normaalivoimalla, $M = N \cdot e$. Tiukkojen toleranssien



Kuva 16.64 Klassisen teorian mukainen nurjahduskäyrä, johon on lisätty myötörajan vaikutus.



Kuva 16.65 Pilarin alkukäyryys.

vuoksi tämä momentti on varsin pieni, jota kuitenkin ei voida jättää huomioimatta.

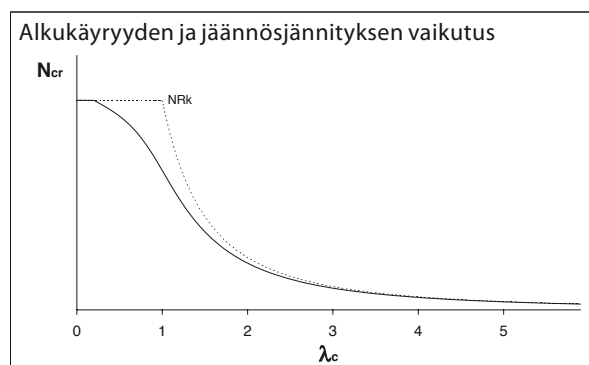
Profiilien valmistuksen yhteydessä syntyneet jäännösjännitykset vaikuttavat materiaalin kestävyys alentavasti. Kun jännitykset saavuttavat myötörajan, poikkileikkauksen plastisoitumisen vuoksi sen jäykkyys pienenee. Alkujännitykset profiilissa saavat aikaan sen, että pilari nurjahtaa alhaisemmalla kuormalla, koska pilarin tehollinen jäykkyys on pienentynyt.

Pilarin alkukäyryys ja -jännitykset yhdessä aikaansaavat sen, että pilarin nurjahduskestävyys heikkenee teoreettiseen kestävyys verrattuna kuvan 16.66 osoittamalla tavalla. Alkujännitysten merkitys riippuu poikkileikkauksen tyypistä. Tämän vuoksi Eurokoodi -ohjeissa poikkileikkaukset jaetaan neljään eri nurjahdusluokkaan ja niiden mukaisiin nurjahduskäyriin.

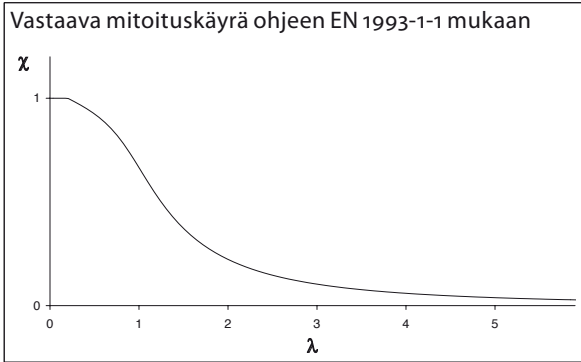
Pienennyskerrointa χ käytetään mitoituksessa nurjahduskestävyyden laskennassa. Pienennyskerroin kuvaa nurjahduskestävyyden ja poikkileikkaukskestävyyden suhdetta ja nurjahduskäyrät esitetäänkin yleisesti pienennyskerroin χ hoikkuusluvun λ muuttujana (Kuva 16.67). Tarkempi mitoitus ja nurjahduskäyrät eri poikkileikkaustyypeille on esitetty osassa 16.3.4.

Yksi asia, jota mitoituskäyrät eivät huomioi, on tuentojen ja kiinnitysten osittainen joustaminen. Kirjallisuudessa nurjahduskuorman laskennassa esitetään yleensä teoreettisia nurjahdusmuotoja, jotka vastaavat täysin jäykkiä tuentoja. Nämä Eulerin taivutusnurjahdustapaukset on esitetty kuvassa 16.68.

Todellisuudessa näitä ideaalisia tapauksia ei ole. Tavallisesti tuennat antavat jonkin verran periksi ja kestävyys pienenee ideaalitapaukseen verrattuna. Teoreettisen nurjahduskuorman laskennassa tämä voidaan huomioida käyttämällä hieman muunnettuja arvoja. Laskennassa voidaan olettamalla pilari hieman ideaalitapausta hoikemmaksi. Toisin sanoen käytetään hieman pidempiä nurjahduspituuksia. Rakennusmääräyksissä esitetään tarkemmin, miten paljon suuremmaksi nurjahduspituus pitää olettaa, jotta normaali tuennan tai kiinnityksen jousto voidaan ottaa huomioon.



Kuva 16.66 Alkukäyryyden ja jäännösjännitysten vaikutus pilarin nurjahduskestävyyteen.



Kuva 16.67 Mitoituskäyrä nurjahduskestävyyden määrittämiseksi ohjeen hoikkuuden funktiona.

16.3.4 Mitoitus Eurokoodi 3:n mukaan

Kestävyys tarkistetaan mitoitusohjasta:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0 \quad (5.25)$$

missä tapauksesta riippuen N_{Rd} on joko veto-, puristus- tai nurjahduskestävyyden arvo.

Nurjahduskestävyyden kaava ohjeen EN 1993-1-1 mukaisesti on muotoa:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}, \text{ poikkileikkausluokissa 1,2 ja 3} \quad (5.26)$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}, \text{ poikkileikkausluokassa 4} \quad (5.27)$$

missä χ = nurjahduksen pienennyskerroin
 A = poikkileikkauksen pinta-ala
 f_y = teräksen myötölujuus
 γ_{M1} = materiaalin osavarmuuskerroin

Pienennyskerroimen laskentaa varten tulee ensiksi selvittää pilarin hoikkuusluku $\bar{\lambda}$. Hoikkuusluku on neliöjuuri poikkileikkauskestävyyden ja nurjahduskestävyyden suhteesta, eli $\bar{\lambda} = \sqrt{A \cdot f_y / N_{cr}}$. Taivutusnurjahdukselle tästä voidaan johtaa seuraavat laskentakaavat:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{\pi \cdot i} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ poikkileikkausluokissa 1,2 ja 3} \quad (5.28)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{\pi \cdot i} \sqrt{\frac{f_y}{E} \cdot \frac{A_{eff}}{A}}, \text{ poikkileikkausluokassa 4} \quad (5.29)$$

missä L_{cr} = nurjahduspituus
 i = jäyhyysäde nurjahdussuunnassa
 $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$ (teräksen kimmomoduuli)

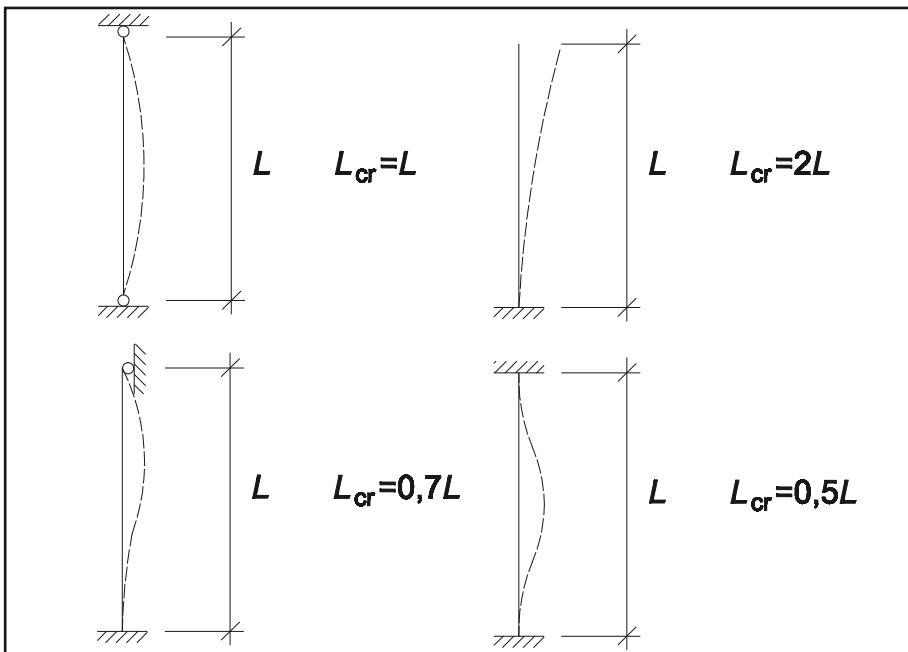
Nurjahduspituus L_{cr} riippuu sauvan päiden tuennoista. Nurjahduspituus eri tuentatavoilla voidaan laskea kuvan 16.69 mukaisesti kaavalla $L_{cr} = \gamma \cdot L$. Kuvan arvoissa on huomioitu tuentojen osittainen joustaminen, joten nurjahduspituudet ovat hieman pidempiä kuin teoreettisissa Eulerin tapauksissa.

Hoikkuusluvun $\bar{\lambda}$ laskennan jälkeen pienennyskerroin χ saadaan määritettyä kuvasta 16.70. Kuvan viittä käyrää vastaavat nurjahdusluokat riippuvat poikkileikkauksen ominaisuuksista ja nurjahdussuunnasta kuvan 16.71 mukaisesti.

Nurjahduskäyrän sijaan voidaan pienennyskerroin laskea myös suoraan käyrän matemaattisista yhtälöistä. Tätä varten tulee ensin laskea apusuure ϕ yhtälöstä:

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \quad (5.30)$$

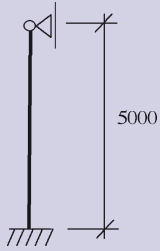
Yhtälössä esiintyvä arvo α on epätäydellisyysvakio, joka saadaan poikkileikkauksen nurjahdusluokan mukaan



Kuva 16.68 Pelkistetyt tuentatavat ja nurjahduspituudet taivutusnurjahduksessa.

ESIMERKKI 16.10

Laske oheisen pilarin taivutusnurjahduskestävyys $N_{b,Rd}$. Laske nurjahduksen pienennyskerroin χ laskentakaavojen avulla ja tarkista tulos sen jälkeen kuvan 16.70 nurjahduskäyrästä.



HEA 240
 $A = 7680 \text{ mm}^2$
 $f_y = 355 \text{ MPa}$
 $i_z = 60 \text{ mm}$
 (heikompi suunta)

Laskenta ohjeen EN 1993-1-1 mukaan:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

pl-luokat 1,2 ja 3 (EN 1993-1-1: 6.3.1.3)

$$\bar{\lambda} = \frac{0,8 \cdot 5000}{60 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{355}{210000}} = 0,872$$

epätäydellisyysvakio α HEA 240 poikkileikkaukselle (kuva 16.71):

$h/b \leq 1,2$ ja $t_f \leq 100 \text{ mm} \Rightarrow$ suunta z-z, nurjahduskäyrä c: $\alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\phi = 0,5 \left[1 + 0,49 (0,872 - 0,2) + 0,872^2 \right] = 1,045$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\chi = \frac{1}{1,045 + \sqrt{1,045^2 - 0,872^2}} = 0,617$$

tarkistus taulukosta: $\chi = 0,62$ ok!

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

pl-luokat 1,2 ja 3 (EN 1993-1-1, 6.3.1.1)

$$N_{b,Rd} = \frac{0,617 \cdot 7680 \cdot 355}{1,0} = 1682,2 \cdot 10^3 \text{ N} = 1682,2 \text{ kN}$$

kuvasta 16.72. Lopuksi määritellään pienennyskerroin χ seuraavasta yhtälöstä:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \text{ jossa } \chi \leq 1,0 \quad (5.31)$$

Kun pienennyskerroin χ on laskettu saadaan pilarin nurjahduskestävyys $N_{b,Rd}$ kaavoista 16.26 ja 16.27 ja mitoitus voidaan suorittaa loppuun mitoitusohjeen 16.25 mukaan.

Taivutusvääntönurjahdus voidaan mitoittaa samalla tavalla käyttäen kuitenkin kriittisen nurjahduskuorman N_{cr} laskennassa taivutusvääntönurjahduksen tai puhtaan

| Tuentatapa | Kerroin γ |
|--|------------------|
| Molemmista päistä niveloity sauva | 1,0 |
| Toisesta päästä jäykästi kiinnitetty sauva | 2,1 |
| Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty sauva | 0,6 |
| Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty sauva. Toinen kiinnityskohta sivusiirtävä | 1,2 |
| Toisesta päästä jäykästi ja toisesta nivelloisesti kiinnitetty sauva | 0,8 |

Kuva 16.69 Nurjahduspiituskertoimet eri tuentatapaussille..

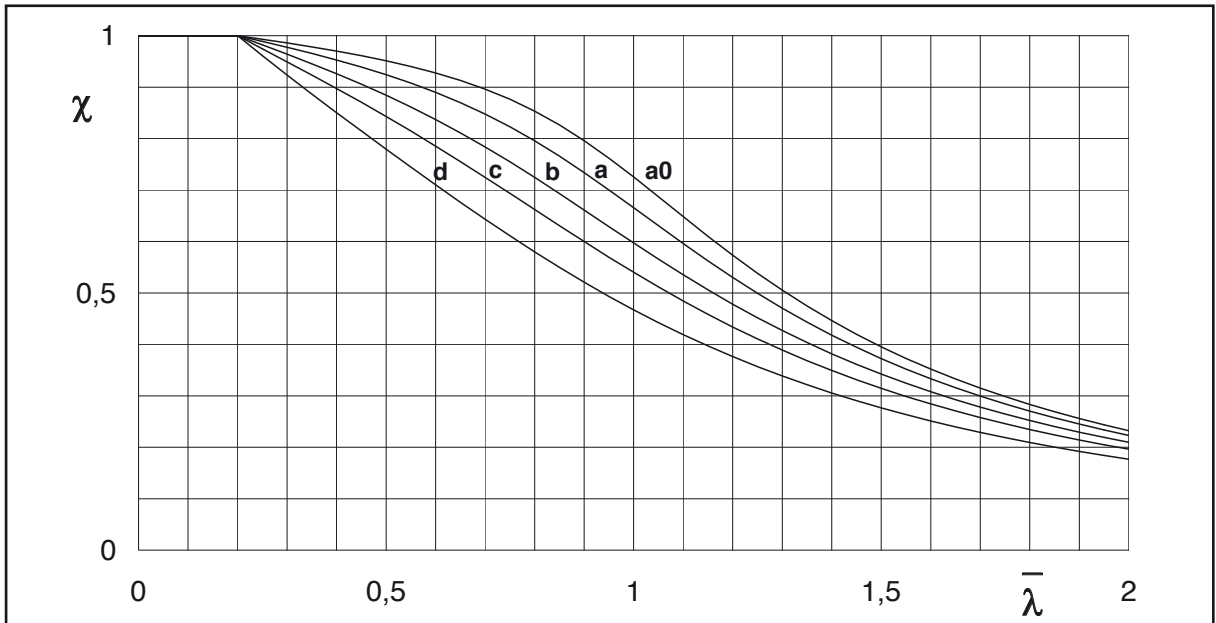
vääntönurjahduksen kriittistä arvoa. Hoikkuusluku saadaan näin ollen seuraavista laskentakaavoista:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}, \text{ poikkileikkauksiluokissa 1,2 ja 3} \quad (5.32)$$


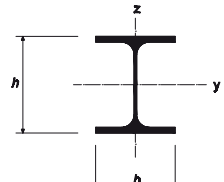
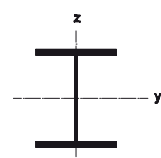
$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}}, \text{ poikkileikkauksiluokassa 4} \quad (5.33)$$

missä $N_{cr} = N_{cr,TF}$, mutta $N_{cr} < N_{cr,T}$
 $N_{cr,TF}$ on kriittinen taivutusvääntönurjahduskestävyys, Kuva 16.62
 $N_{cr,T}$ on kriittinen vääntönurjahduskestävyys, Kuva 16.62

Mikäli taivutusvääntönurjahdus on mitoittavampi, tulee pilari mitoittaa sen mukaan käyttäen vastaavia mitoitusmenetelmiä kuin taivutusnurjahdukselle.



Kuva 16.70 Taivutusnurjahduksen mitoituskäyrästä ohjeen EN 1993-1-1 mukaan.

| Poikkileikkaus | Rajat | Nurjahdus ko. akselin suhteen | Nurjahduskäyrä | | |
|---|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------|----------------|
| | | | S 235 S 275 S 355 S 420 | S 460 | |
| Valsatut profiilit  | $h/b > 1,2$ | $t_f \leq 40 \text{ mm}$ | y-y z-z | a b | a_0 a_0 |
| | | $40 \text{ mm} < t_f \leq 100$ | y-y z-z | b c | a a |
| | $h/b \leq 1,2$ | $t_f \leq 100 \text{ mm}$ | y-y z-z | b c | a a |
| | | $t_f > 100 \text{ mm}$ | y-y z-z | d d | c c |
| Hitsatut I-profiilit  | $t_f \leq 40 \text{ mm}$ | y-y z-z | b c | b c | |
| | $t_f > 40 \text{ mm}$ | y-y z-z | c d | c d | |
| Rakennepuutket  | Kuumamuovattu | Kaikki | a | a_0 | |
| | Kylmämuovattu | Kaikki | c | c | |

Kuva 16.71 Poikkileikkausten nurjahdusluokat ohjeen EN 1993-1-1 mukaan.

| Nurjahduskäyrä | epätarkkuustekijä, α |
|----------------|-----------------------------|
| a | 0,21 |
| b | 0,34 |
| c | 0,49 |
| d | 0,76 |

Kuva 16.72 Nurjahduskäyriä vastaavat epätarkkuustekijät ohjeen EN 1993-1-1 mukaan.

16.4 NORMAALIVOIMAN JA TAIVUTUSMOMENTIN KUORMITTAMAN PROFIILIN KESTÄVYYS

Hyvin yleisesti palkkien tai pilarien kuormitukset aiheuttavat niihin yhtäaikaaisesti sekä taivutusmomenttia että normaalivoimaa. Kuvassa 16.73 on esitetty seuraavanlaisia kuormitustapauksia:

- Pilari johon kohdistuu normaalivoima ja tasan jakautunut vaakasuuntainen kuormitus. Tällainen on esimerkiksi ulkoseinäpilari. Normaalivoimana vaikuttaa kattokannattajan tukireaktio pilarin yläpäähän ja vaakakuormituksen ulkokuoreen kohdistuva tuulenpaine.
- Pilari johon kohdistuu epäkeskeinen normaalivoima. Esimerkkinä on yksikerroksisen hallirakennuksen pilari, johon kohdistuu epäkeskeinen normaalivoima nosturikuormista. Toisena esimerkkinä on hallin jäykkänurkainen kehä, jonka pilariin katon kuormitukset aiheuttavat sekä normaalivoimaa että taivutusmomenttia.
- Palkki johon kohdistuu sekä normaalivoima että tasan jakautunut pystysuuntainen kuormitus. Tällainen voi olla esimerkiksi kattopalkki, joka toimii osana katon tuulisidontaa. Normaalivoima tulee tuulikuormasta ja taivuttava kuormitus katon painosta ja lumikuormasta.

Palkkeja tai pilareita, joihin vaikuttaa yhtäaikaisesti puristava normaalivoima ja taivutusmomentti, kutsutaan puristetuiksi ja taivutetuiksi sauvoiksi.

16.4.1 Vaikutustapa

Puristetun ja taivutetun sauvan kuormitus voidaan ajatella kahden eri kuormituksen yhdistelmänä:

1. Yhtäältä voidaan ajatella keskeistä normaalivoimaa, jolloin jätetään huomioimatta taivutusmomentin vaikutus, oli se sitten poikittaisen kuorman tai epäkeskeisen normaalivoiman aiheuttamaa (Kuva 16.74 a). Näin saadaan laskettua pelkän normaalivoiman vaikutuksen sauvan eri osissa.

2. Toisaalta voidaan tarkastella pelkkää taivutusmomenttia. Tällöin rakenteessa huomioidaan ainoastaan poikittainen kuormitus ja epäkeskeisen kuorman aiheuttama pistemäinen taivutusmomentti (Kuva 16.74 b).

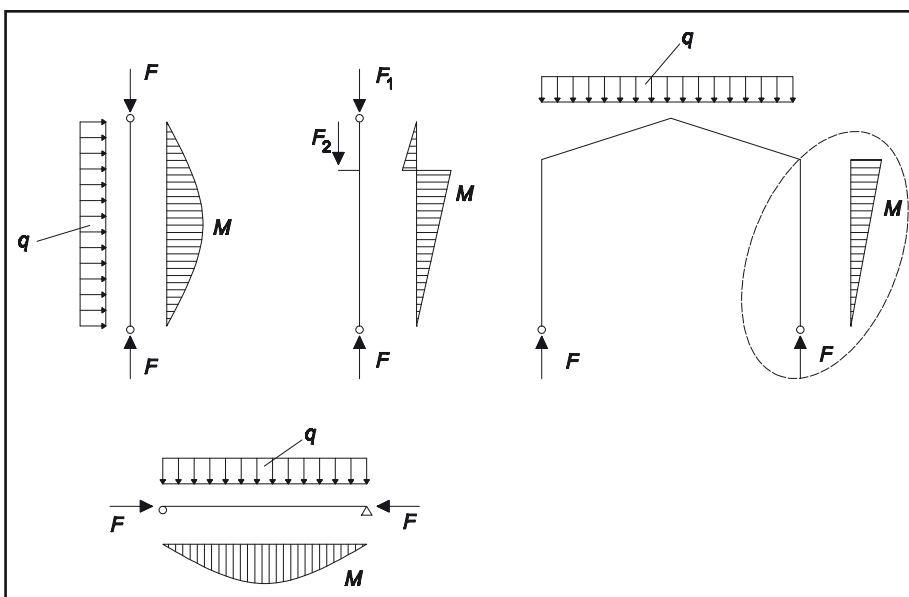
Todellista kuormitusta ei kuitenkaan voida nähdä vain näiden kahden kuormituksen summana. Kun yhdistetään puristava normaalivoima taivutettuun palkkiin tai pilariin, saadaan sauvaan lisämomentti, joka tulee lisätä varsinaisten kuormitusten aiheuttamaan taivutusmomenttiin.

Nurjahdustapauksena puristetulle ja taivutetulle sauvalle voi olla osin taivutusnurjahdus, osin taivutusväntönurjahdus. Näiden tapauksien eroja voidaan kuvata puristetulla ja taivutetulla sauvalla, johon lisätään vaihteittain kuormia.

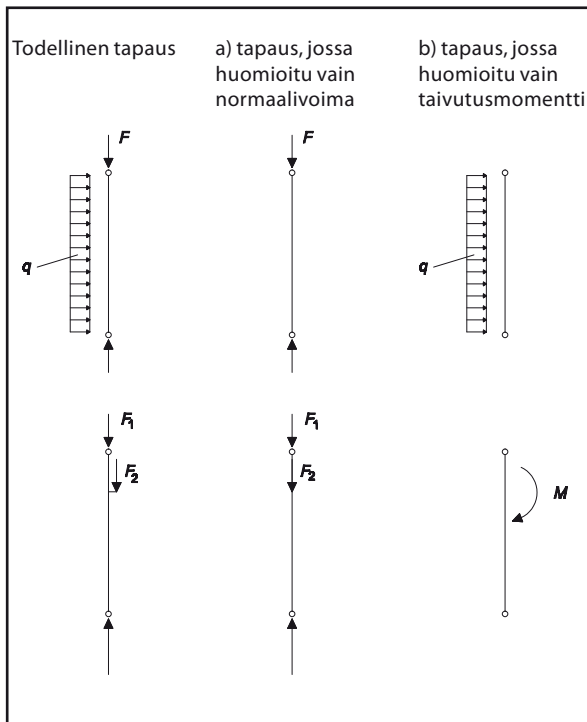
Kuvan 16.75 pilariin vaikuttaa keskeinen normaalivoima ja taivuttava kuorma profiilin heikommassa suunnassa. Osassa a ovat kuormat ja jännitykset pieniä. Kuormitus taivuttaa pilaria kaarenmuotoon tasossa. – Kun tämän jälkeen lisätään kuormitusta, taipuu pilari edelleen lisää tasossa. Toisen kertaluvun (kohta 16.4.2) vaikutusten perusteella kasvaa taipuma yhä nopeammin suhteessa kuormituksen lisäykseen. Taipuma säilyy kuitenkin edelleen tasosuuntaisena. Koska muodonmuutokseksi tulee ainoastaan taipuminen, voidaan tämä tapaus osoittaa taivutusnurjahdukseksi.

Taivutusnurjahdus tapahtuu, mikäli taivutusnurjahdus kuormituksen suunnassa on mitoittava. Tästä esimerkkinä ovat seuraavat tapaukset:

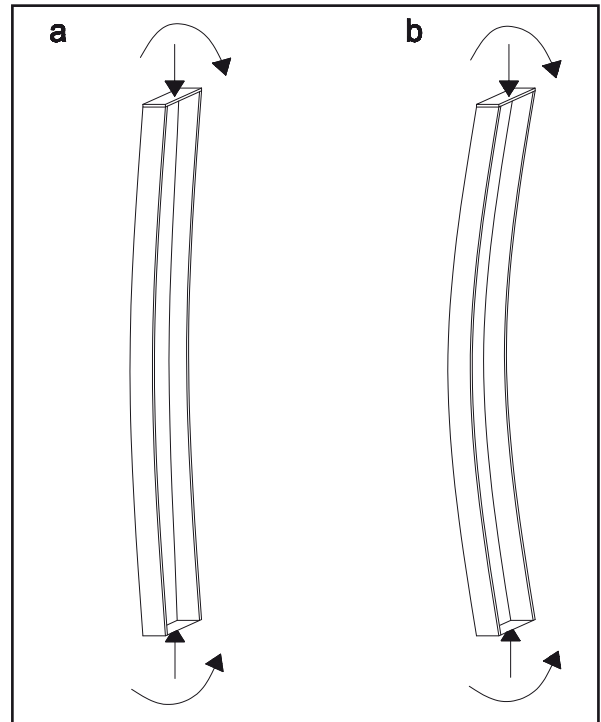
1. Kuormitus vaikuttaa pilarin heikommassa suunnassa, ja pilari nurjahtaa samaan suuntaan.
2. Kuormitus vaikuttaa pilarin vahvemmassa suunnassa, ja pilari on tuettu heikompaan suuntaan. Tällöin pilari taipuu ja lopulta nurjahtaa profiilin vahvemmassa suunnassa, koska nurjahdus ja taipuma on estetty heikompaan suuntaan.



Kuva 16.73 Esimerkkejä rakenneosista, joihin kohdistuu sekä taivutusmomentti normaalivoima.



Kuva 16.74 Kuormien yhdistely normaalivoiman ja taivutusmomentin rasittamassa sauvassa.



Kuva 16.75 Taivutusnurjahduksessa pilari taipuu tasossa.

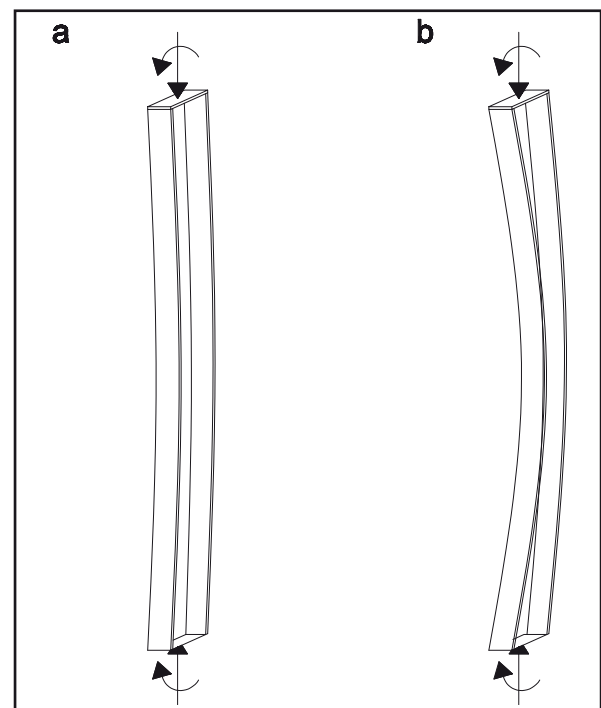
Kuvan 16.76 pilariin vaikuttaa sama kuormitus, mutta poikittainen kuorma vaikuttaa profiilin vahvemmassa suunnassa. Osassa a kuormat ja jännitykset ovat pieniä. Kuormitus taivuttaa tässäkin pilaria tasossa kaarenmuotoon. Normaalivoima aiheuttaa sen, että pilarin molemmissa laippoissa vaikuttaa puristusjännitys. Mikäli otetaan huomioon ainoastaan taivutusmomentti, aiheuttaa se vasempaan laippaan puristusta ja oikeaan vetoa.

Pilarin vasempaan laippaa aiheutuu puristusjännitystä sekä normaalivoimasta että taivutuksesta. Oikean puoleiseen laippaan normaalivoima aiheuttaa puristusjännitystä, joka osittain tai kokonaan kumoaa taivutusmomentin aiheuttaman vetojännityksen.

Kun lisätään pilarin kuormitusta vaiheittain, tulevat vasemman laipan puristusjännitykset lopulta niin suuriksi, että se alkaa nurjautua sivulle (Kuva 16.76 b). Oikean puoleinen laippa, joka saa pienempiä puristusjännityksiä tai suorastaan vetojännityksiä, ei sitä vastoin ole lähelläkään epästabiiliksi muuttumista. Tälle tapaukselle on ominaista, että enemmän puristettu laippa nurjautaa sivulle. Tietyssä määrin se vetää myös muita poikkileikkauksen osia mukanaan. Vedetty laippa sen sijaan pyrkii pysymään suorana vetojännitysten vaikutuksesta. Lopputuloksena pilari taipuu sivulle yhdessä poikkileikkauksen vääntymisen kanssa.

Lopullinen muodonmuutos muodostuu:

1. taipumasta kuormituksen suunnassa
2. taipumasta kuormitukseen nähden kohtisuorassa suunnassa johtuen nurjahduksesta heikompaan suuntaan



Kuva 16.76 Taivutusvääntönurjahduksessa pilarin puristettu laippaa nurjautaa kohtisuoraan sivulle taivutustasoonsa nähden samalla, kun se taipuu tasossa.

3. poikkileikkauksen vääntymisestä johtuen puristetun ja vedetyn laipan erilaisesta alttiudesta taipua sivulle.

Tätä tapausta kutsutaan taivutusvääntönurjahdukseksi tai pilarin kiepahdukseksi. Se tulee mahdolliseksi, mikäli

kuorma vaikuttaa profiilin vahvemmassa suunnassa, ja pilaria ei ole tuettu heikommassa suunnassa.

16.4.2 Toisen kertaluvun vaikutukset

Puristettuun ja taivutettuun sauvaan vaikuttavat siis puristava normaalivoima ja samanaikainen taivutusmomentti esimerkiksi poikittaisen kuormituksen tai epäkeskeisen voiman vaikutuksesta (Kuva 16.77 a). Sauvan taipuma saa alkunsa näiden voimien vaikutuksesta.

Normaalivoiman ja alkutaipuman yhteisvaikutuksesta sauvaan tulee lisätaivutusmomentti. Sauvan taipuma aiheuttaa sen, että normaalivoiman vaikutusviiva sijaitsee epäkeskeisesti sauvan taipuneeseen muotoon nähden (Kuva 16.77 b). Kun epäkeskisyyden on e , voidaan normaalivoiman aiheuttama lisämomentti laskea kaavasta: $\Delta M = N \cdot e$. Lisämomentin jakauma on yhtenevä suhteessa taipuman muotoon (Kuva 16.77 c). Lisämomentin suuruus vaihtelee siten, että tukien läheisyydessä se on nolla ja saa maksimi arvonsa siellä missä taipuma on suurin.

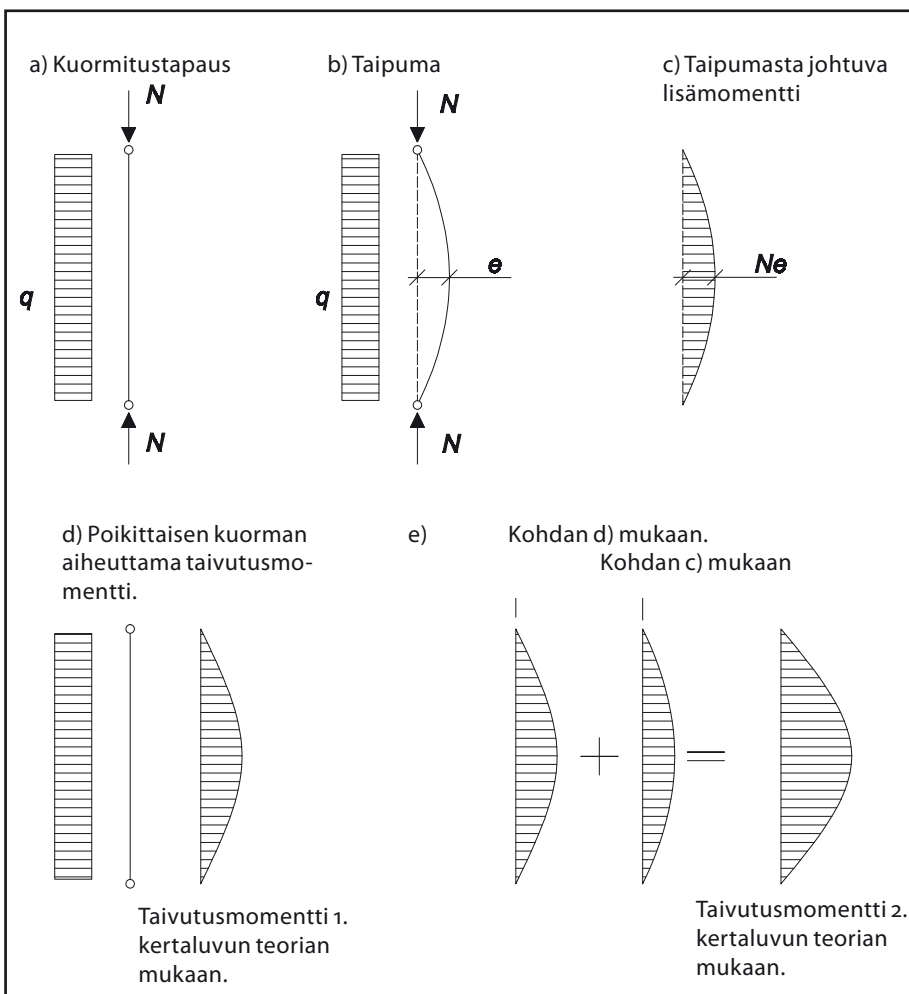
Tämän luvun tarkoituksena on ainoastaan osoittaa ne lisävaikutukset, jotka tulee huomioida mitoitettaessa puristettua ja taivutettua sauvaa. Jäljempänä esitettävissä ohjeissa oletetaan, että poikkileikkauksien jännitykset pysyvät elastisella tasolla. Todellisissa tapauksissa saattaa

vaikuttaa myös muita vaikutuksia, kuten alkujännityksiä ja plastisoitumista. Jos näiden vaikutus on suurta, saattaa elastiseen käyttäytymiseen perustuvat laskelmat olla jокseenkin virheellisiä.

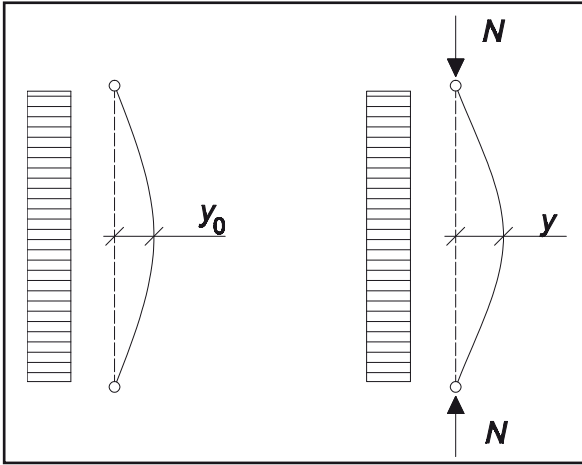
Todellinen sauvan poikkileikkauksessa vaikuttava taivutusmomentti on siis "tavallisen" momentin ja lisämomentin summa (Kuva 16.77 e). Tietyn kuormituksen aiheuttamaa taivutusmomenttia kutsutaan ensimmäisen kertaluvun mukaiseksi rasitukseksi. Kun tähän lisätään lisämomentin vaikutus, puhutaan toisen kertaluvun rasituksista.

Kun tiedetään lopullisen taipuman muoto ja suuruus, on kohtuullisen helppoa laskea siitä johtuva lisätaivutusmomentti. Lisämomentin suuruushan on suoraan normaalivoima kerrottuna kyseisen kohdan taipumalla. Mutta yhä monimutkaisemmaksi laskenta käy, kun huomioidaan, että myös lisätaivutusmomentti lisää edelleen taipumaa. Tämä lisätaipumahan aiheuttaa myös oman lisätaivutusmomentin ja niin edelleen.

Periaatteessa lopullinen taipuma saadaan määriteltyä jonkin iteratiivisen laskennan perusteella. Tällainen laskenta on mahdollista, mikäli normaalivoima on riittävän pieni ja geometria sellainen, että iterointilaskenta suppenee lopulliseen arvoonsa. Nämä lisävaikutukset voidaan myös laskea käyttämällä approksimoituja laskentakaavoja.



Kuva 16.77 Pilarin taipumasta johtuva lisämomentti.



Kuva 16.78 Taipuma ilman normaalivoimaa ja normaalivoiman kanssa.

Edellyttäen, että poikkileikkauksen jännitykset säilyvät elastisina, voidaan taipuma δ (Kuva 16.78) laskea seuraavalla laskentakaavalla:

$$\delta = \frac{\delta_0}{(1 - N/N_{cr})} \quad (5.34)$$

missä δ_0 on taipuma ilman normaalivoiman vaikutusta
 N on sauvassa vaikuttava normaalivoima
 N_{cr} on kriittinen Eulerin nurjahduskuorma

Kriittisen nurjahduskuorman suuruus riippuu siitä, mikä nurjahdusmuoto on kyseessä (Kuva 16.79). Taipuman arvoa δ vastaavat rasitukset voidaan edelleen johtaa kaavasta 16.34. Kun lisätaivutusmomentti on $\Delta M = N \cdot \delta$, saa lopullinen kaava muodon:

$$\Delta M = \frac{N \cdot \delta_0}{(1 - N/N_{cr})} \quad (5.35)$$

Lisätaivutusmomentin vaikutus otetaan huomioon Eurokoodi – mitoituksessa käyttämällä yllä olevan kaavan pohjalta johdettuja kertoimia $k_{yy'}$, $k_{zy'}$, $k_{yz'}$, k_{zz} . Kriittisen nurjahduskuorman lisäksi kertoimeen vaikuttavat sauvan tukiehdot, sidonnat ja momenttipinnan muoto. Mitoitusta ja laskentaa on selvitetty tarkemmin kohdassa 16.4.4.

16.4.3 Yhteisvaikutuskaavat

Normaalivoiman ja taivutusmomentin kuormittaman sauvan kestävyys tarkistamiseen käytetään ns. yhteisvaikutuskaavoja. Yhteisvaikutuskaavan jokainen termi vastaa yhtä rasitustyyppiä ja on muodoltaan kuormituksen ja kestävyys osamäärä. Näiden kunkin osamäärän suuruus saa olla mitoitusehto mukaisesti korkeintaan 1,0. Yhteisvaikutuskaavan osatekijät ovat:

- normaalivoima, N_{Ed}
- taivutusmomentti vahvemmassa suunnassa, $M_{y,Ed}$
- taivutusmomentti heikommissa suunnassa, $M_{z,Ed}$

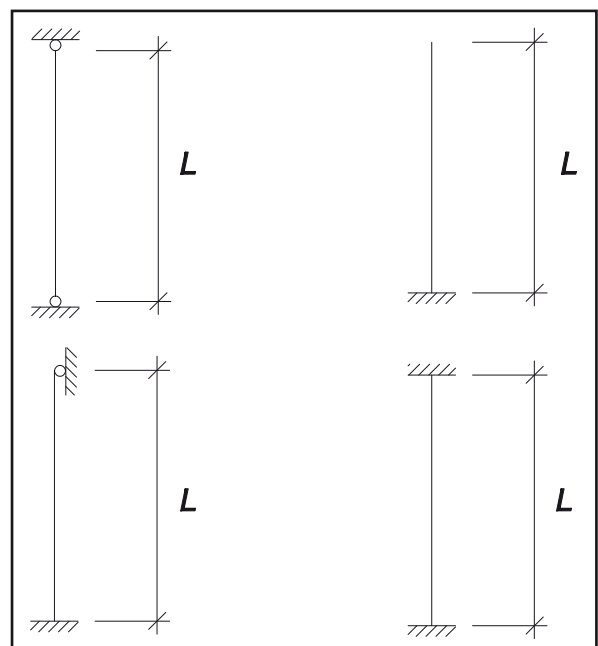
Kuvassa 16.80 on esitetty näiden kunkin osatekijän mitoitus ehdot.

Yhteisvaikutusehtoa, jossa on kaksi osatekijää, voidaan havainnollistaa kuvan 16.81 mukaisella kuvaajalla. Kuvaajassa toisen osatekijän arvo on vaakasuuntaisella toisen pystysuuntaisella akselilla. Yhteisvaikutuskaava esittää kuvaajan muotoista käyrää, joka saa maksimissaan arvon 1,0 molempien muuttujien suhteen. Yhteisvaikutuskäyrän sisään rajoittuva alue osoittaa mitoitus ehtoa mukaiset sallitut rasitukset. Kokemuksen ja teorian perusteella on eri mitoitus tapauksille muodostettu niille soveltuvat yhteisvaikutuskaavat, jotka ottavat huomioon plastisoitumisen, poikkileikkauksen muodon ja epästabiiliuksien vaikutukset.

16.4.4 Mitoitus Eurokoodi 3:n mukaan

Eurokoodi – ohjeissa esitetään kaksi erilaista mitoitus tapaa riippuen siitä, tuleeko sauvan nurjahdus huomioida vai ei. Nurjahdusta ei tarvitse ottaa huomioon mitoituksessa, mikäli normaalivoima on vetoa, sauvan nurjahdus ja kiepahdus on estetty tuennoilla tai mikäli sauvan hoikkusuuruus $\bar{\lambda} \leq 0,2$. Tällöin käytetään poikkileikkauksen kestävyys yhteisvaikutuskaavoja. Jos taas nurjahdus on mahdollinen, tulee poikkileikkauksen kestävyys mitoittaa nurjahdus huomioivilla yhteisvaikutuskaavoilla.

Mitoittavana poikkileikkauksena on yleensä suurimman taivutusmomentin vaikutuskohta. Joissakin tapauksissa, kuten kuvassa 16.82 a, taivutusmomentin maksimi sijaitsee sauvan päissä. Sauvan taipuma kyseisessä kohdassa on nolla, joten mitoittava taivutusmomentti ja lisämomenttia aiheuttava alkutaipuma eivät sijaitse samassa poikkileikkauksessa kuten tyypillisessä kuvan 16.82 b tapauksessa. Mikä on tällöin mitoittava poikkileikkauks? Eurokoodi – mitoituksessa tämä huomioidaan erillisellä momenttipinnan muodosta tulevalta kertoimella C_{m1} , jolloin mitoituksessa voidaan käyttää sauvan maksimitaivutusmomentin arvoa.



Kuva 16.79 Teoreettisia Eulerin nurjahduskuormia eri tuentatapauksilla.

Poikkileikkauskestävyyden tarkistus voimien yhteisvaikutukselle on esitetty ohjeen EN 1993-1-1 kohdassa 6.2.9. Poikkileikkausluokissa 1 ja 2, joissa sallitaan poikkileikkauksen plastisoituminen, yhteisvaikutus tarkistetaan taivutusmomentin mitoitusvedosta käyttämällä pienennettyä taivutusmomenttikestävyyden arvoa. Kaksoissymmetrisen poikkileikkauksen taivutusmomenttikestävyys vahvemmassa suunnassa on tällöin:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5a}, \text{ mutta } l_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd} \quad (5.36)$$

missä $n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$
 $a = (A-2bt_f)/A$, mutta $a \leq 0,5$

Taivutusmomenttikestävyys heikommassa suunnassa, reikien vaikutus ja kahdensuuntaisten taivutusten yhteisvaikutus tulee lisäksi ottaa huomioon ohjeen EN 1993-1-1 mukaisesti.

Poikkileikkausluokissa 3 ja 4 plastisoitumista ei sallita, joten yhteisvaikutusehdot perustuvat poikkileikkauksen jännitystarkasteluun myötörajan suhteen. Lisäksi poikkileikkausluokassa 4 tulee huomioida poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala. Yhteisvaikutuskaavoiksi saadaan tällöin:

poikkileikkausluokassa 3

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z} \cdot f_y / \gamma_{M0}} \leq 1,0 \quad (5.37)$$

poikkileikkausluokassa 4

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{W_{eff,y,min} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{W_{eff,z,min} \cdot f_y / \gamma_{M0}} \leq 1,0 \quad (5.38)$$

missä A_{eff} on poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala
 W_{eff} on poikkileikkauksen tehollinen taivutusvastus
 e_N on tehollisen poikkileikkauksen painopisteen epäkeskeisyys

Nurjahduskestävyys huomioidaan yhteisvaikutuskaavoissa käyttämällä jo edellä esiteltyjä pienennyskertoimia χ ja

χ_{LT} . Tämän lisäksi otetaan yhteisvaikutuskaavoissa huomioon toisen kertaluvun vaikutukset kertoimien

$k_{yy}, k_{zy}, k_{yz}, k_{zz}$ avulla. Myös edellä esitetty arvo C_m otetaan huomioon kertoimien k_{ij} laskennassa. Näin ollen nurjahduksen ja kiepahduksen huomioivat yhteisvaikutuskaavat ovat:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0 \quad (5.39)$$

missä

$$N_{Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M1} \text{ poikkileikkausluokassa 1,2 ja 3}$$

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M1} \text{ poikkileikkausluokassa 4}$$

$$M_{Rd} = W_{pl,Rd} \cdot f_y / \gamma_{M1} \text{ poikkileikkausluokassa 1 ja 2}$$

$$M_{Rd} = W_{el,Rd} \cdot f_y / \gamma_{M1} \text{ poikkileikkausluokassa 3}$$

$$M_{Rd} = W_{eff,Rd} \cdot f_y / \gamma_{M1} \text{ poikkileikkausluokassa 4}$$

Lisäksi poikkileikkausluokassa 4 tulee huomioida tehollisen poikkileikkauksen painopisteen epäkeskeisyyden aiheuttama lisämomentti kuten yhteisvaikutuskaavassa 16.38.

Toisen kertaluokan vaikutukset huomioivat kertoimet k_{ij} lasketaan ohjeen EN 1993-1-1 liitteen B mukaan. Yleisessä muodossaan ne ovat varsin monimutkaisia. Ne eivät sen vuoksi sovellu kovin hyvin käsinlaskentaan, eikä niitä sellaisenaan ole tarpeen esittää tässä yhteydessä. Kertoimet huomioivat ns. sivusiirtymättömän rakenteen toisen kertaluvun vaikutukset. Mikäli rakenne on sivusiirtyvä (kuva 16.83), tulee myös sivusiirtymävyyden aiheuttamat toisen kertaluvun lisävaikutukset huomioida, joko lisäämällä sauvan päiden momentteihin ns. P- Δ -vaikutuksen mukaiset rasitukset tai käyttämällä nurjahduspituuksina kuvan 16.69 mukaisia sivusiirtyvien tapausten nurjahduspituuksia. Näistä jälkimmäinen menetelmä on suositeltavampi ja yleisemmin käytetty.

| | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0$ | $\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0$ | $\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$ |
| N_{Ed} = rasitus, normaalivoima | | |
| N_{Rd} = kestävyys, normaalivoima | | |
| $M_{y,Ed}$ = rasitus, taivutusmomentti vahvemmassa suunnassa | | |
| $M_{y,Rd}$ = kestävyys, taivutusmomentti vahvemmassa suunnassa | | |
| $M_{z,Ed}$ = rasitus, taivutusmomentti heikommassa suunnassa | | |
| $M_{z,Rd}$ = kestävyys, taivutusmomentti heikommassa suunnassa | | |

Kuva 16.80 Esimerkkejä osatekijöiden mitoitusvedoista.

16.5 ERIKOISTAPAUKSET

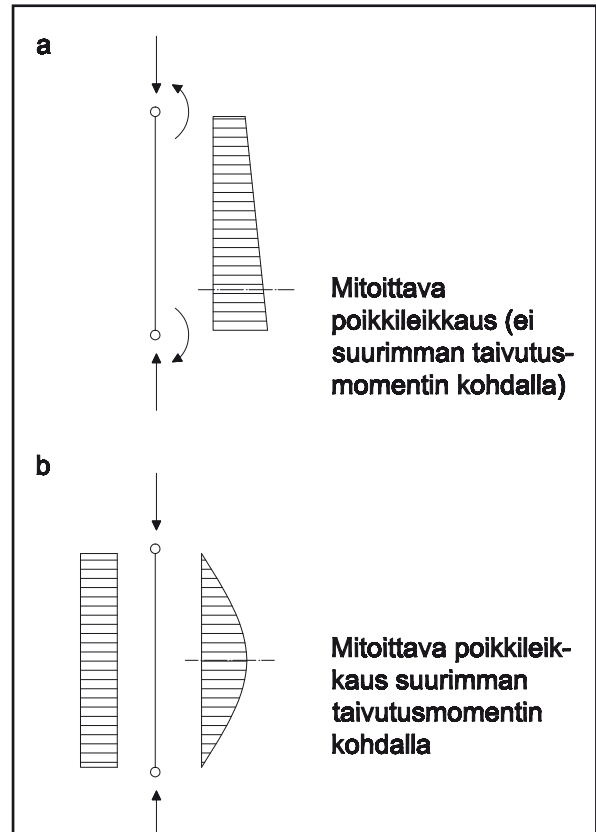
16.5.1 Ristikot

Ristikko on sauvoista muodostettu rakenneosa. Ristikot voidaan jakaa tasoristikoihin ja avaruusristikoihin. Ristikon periaatetta kuvataan yleensä piirroksilla, joissa ristikon sauvat esitetään perusviivojen avulla (Kuva 16.84). Tasoristikossa nämä viivat ovat yhdessä tasossa. Avaruusristikossa sauvojen perusviiva voivat olla kolmiulotteisesti kaikissa suunnissa.

Tässä luvussa käsitellään ainoastaan tasoristikoida. Tasoristikko muodostuu pituussuuntaisista sauvoista, ylä- ja alapaarteesta. Paarteiden välissä ovat uumasauvat, joita kutsutaan suunnan mukaan diagonaaleiksi tai vertikaaleiksi (Kuva 16.85). Sauvojen kohtaamispaikkoja kutsutaan ristikon solmuiksi. Profiilien tyypit ja vahvuudet valitaan kuormituksen suuruudesta ja ristikon jännevälillä riippuen.

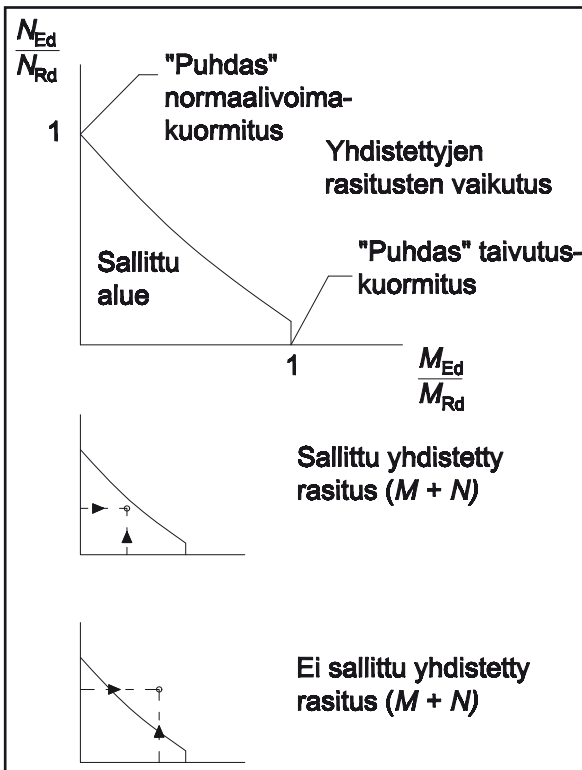
Ristikko kannattelee kuormia palkin tavoin. Ristikon ylä- ja alapaarteet toimivat taivutuksessa kuten palkin laipat ja uumasauvat välittävät leikkausrasituksia palkin uuman tavoin (Kuva 16.86).

Ristikkoa käytetään palkin asemesta yleensä pidemmillä jänneväleillä. Ristikkorakenteita käytetään myös rakennuksen jäykistämässä. Esimerkkinä tästä on katon tuuliristikko, joka voidaan muodostaa siten, että katon palkit tai orret toimivat vertikaaleina ja niiden väliin sijoitettavat tuulisiteet ristikon diagonaaleina.



Kuva 16.82. a) esimerkki tapauksesta, jonka nurjahduksen mitoittava poikkileikkaus ei sijaitse maksimi taivutusmomentin kohdalla.

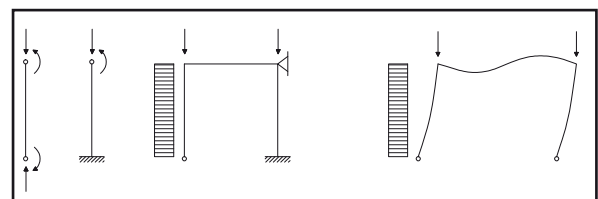
b) esimerkki tapauksesta, jonka nurjahduksen mitoittava poikkileikkaus sijaitsee maksimi taivutusmomentin kohdalla.



Kuva 16.81 Yhteisvaikutuskuvaaja kahden osatekijän vaikutuksesta.

Ristikon mitoituksessa tulee huomioida puristetuille ja vedetyille sauvoille tulevat erilaiset rasitukset. Tärkeää on myös tarkistaa ristikon solmupisteiden paikalliset kestävyudet. Näiden lisäksi myös ristikon kokonaisstabiileetti ja muodonmuutokset tulee ottaa huomioon mitoituksessa.

Ristikon mitoittamiseksi on laskettava ristikon voimasuureet. Yksinkertaisimmillaan tämä voidaan tehdä käyttämällä ns. nivelpistemenetelmää, jossa voimasuureet ratkaistaan solmu kerrallaan tasapainoehjoja käyttäen. Tämä on mahdollista yksinkertaisissa staattisesti määrättyissä rakenteissa. Jos ristikko on osa staattisesti määräämätöntä kehää, tai mikäli ristikkoon paarteisiin vaikuttaa taivutusmomentti, on ristikon voimasuureet käytännössä ratkaistava tietokoneohjelmien avulla.



Kuva 16.83 Toisen kertaluvun vaikutukset sivusiirtymättömään ja sivusiirtyvään rakenteeseen.

Kuvassa 16.87 on esitetty yksinkertainen nivelristikko. Ristikon voimasuureiden laskennassa voidaan olettaa ristikon sauvojen olevan päistään nivelellisesti tuettuja. Lisäksi oletetaan sauvojen keskilinjojen leikkaavan yhdessä pisteessä. Todellisuudessa ristikon solmut välittävät taivutusrasituksia, mutta mitoituksen kannalta voidaan solmujen olettaa olevan nivelellisiä. Oletus on mitoituksen kannalta varmallalla puolella.

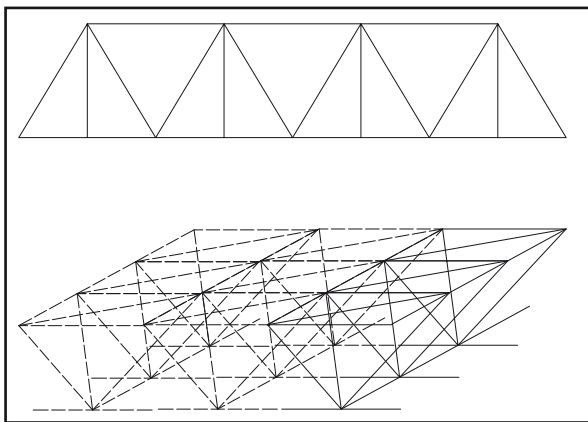
Yksinkertaistetun nivelristikon staattinen rakennemalli perustuu sauvoihin, jotka välittävät ainoastaan keskeisiä normaalivoimia. Jokaiseen solmupisteeseen vaikuttaa sauvojen suunnista tulevat sauvavoimat. Voimien ratkaisemiseksi solmuun kohdistuvien voimien tulee olla tasapainossa (Kuva 16.88). Tämän ehdon perusteella voidaan ratkaista systemaattisesti ristikon jokaisen sauvan voimasuureet.

Vedettyjen sauvojen mitoitus:

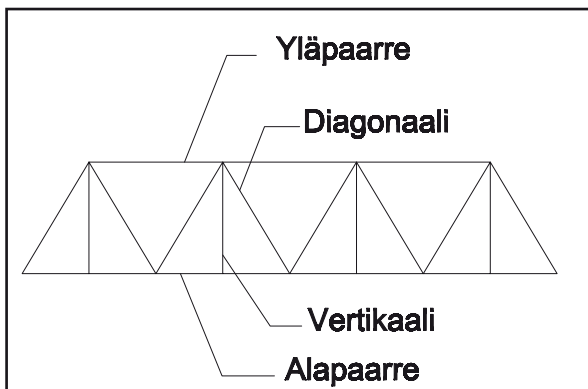
Keskeisesti vedetyn sauvan kestävyys määritetään poikkeileikkauksen lujuuden perusteella kaavan 16.21 mukaisesti. Mikäli sauvassa on jotain heikennyksiä, kuten reikiä tai loveuksia, tulee ne huomioida kestävyuden laskennassa. Sauvan kestävyuden lisäksi on tärkeää tarkistaa myös solmupisteiden ristikkoliitosten kestävyys.

Puristettujen sauvojen mitoitus:

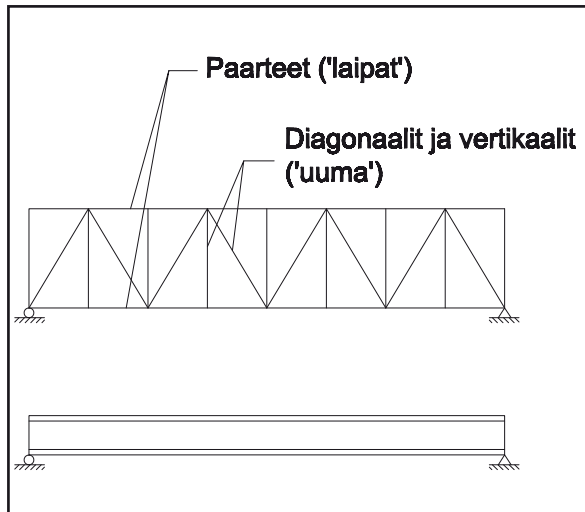
Puristettujen sauvojen mitoitus tarkastetaan kohdan 16.3.3 mukaisesti. Uumasauvojen (diagonaali, vertikaali)



Kuva 16.84 Tasoristikko ja avaruusristikko.



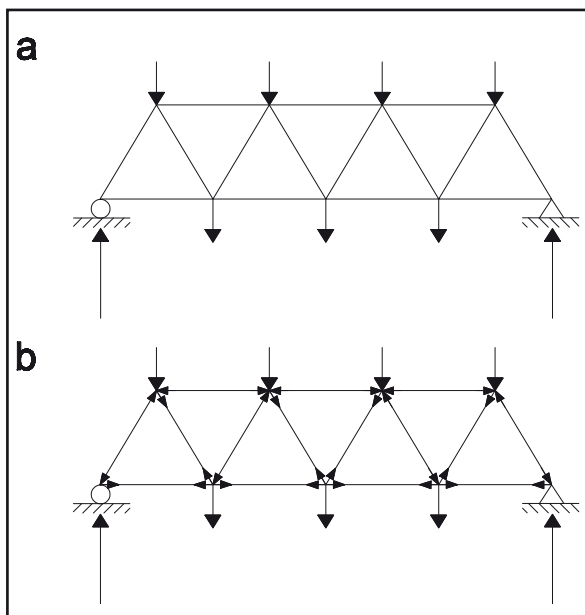
Kuva 16.85 Tasoristikon osien nimitykset.



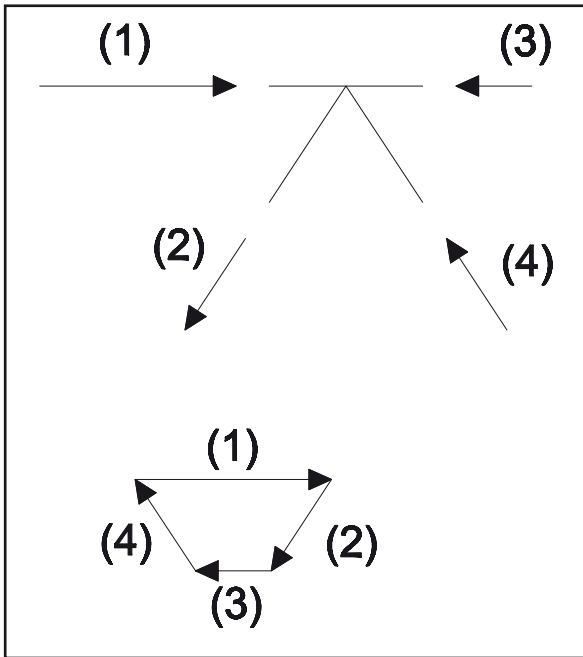
Kuva 16.86 Tasoristikon uumasauvat vastaavat toiminnaltaan palkin uuman toimintaa.

nurjahduspituuksina voidaan käyttää solmupisteiden välistä etäisyyttä (Kuva 16.89). Uumasauvojen nurjahduspituus on sama molemmissa suunnissa. Paarteissa nurjahduspituutena käytetään solmuväliä ristikon suunnassa, mutta ristikkoon nähden kohtisuorassa suunnassa tulee käyttää sidontapisteiden välistä etäisyyttä (esim. kattopalkkien väli).

Käytännössä nurjahduspituudet ovat jonkin verran pienempiä kuin solmupisteiden väliset etäisyydet johtuen mm. solmujen osittaisesta taivutus- ja vääntöjäykkyydestä. Eurokoodi – ohjeen (EN 1993-1-1, liite BB) mukaan voidaan käyttää hieman solmujen välistä ns. systeemipituutta pienempiä nurjahduspituuksia. Systeemipituuden käyttö on kuitenkin mitoituksellisesti varmallalla puolen ja yksinkertaisuuden vuoksi suositeltavaa.



Kuva 16.87 Ristikon nivelsolmujen oletetaan välittävän vain keskeisiä normaalivoimia.



Kuva 16.88 Nivelpisteisiin vaikuttavien sauvavoimien tulee täyttää tasapainoehdot.

Ristikkoliitosten mitoitus:

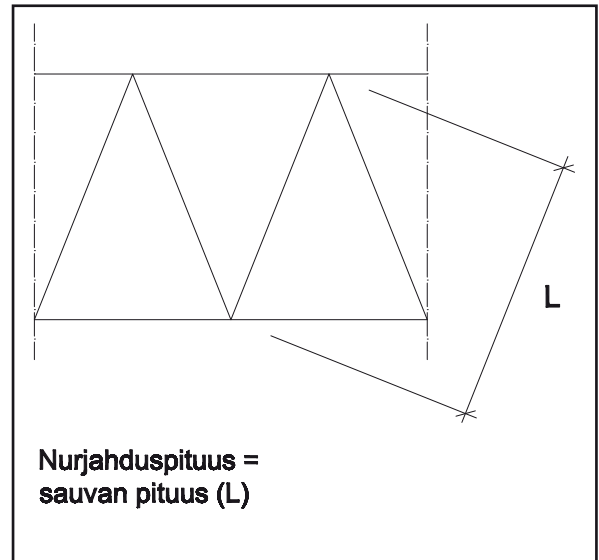
Ristikkoliitoksen tulee täyttää sille asetetut toiminnalliset ja ohjeelliset ehdot. Mitoitusehdot ristikkoliitoksille on esitetty ohjeen EN 1993-1-8 luvussa 7. Yksi tärkeimmistä toiminnallisista ehdoista on ristikkoliitoksen epäkeskisyyden voimasuureiden laskennassahan oletettiin, että sauvojen keskilinjat kulkevat yhden pisteen kautta eli, että liitoksen epäkeskisyyden $e = 0$. Käytännössä ristikon geometriaa ei yleensä voi valita näin vaan ristikkoliitos tulee epäkeskeiseksi kuvan 16.89 osoittamalla tavalla. Epäkeskisyydestä johtuen ristikon parresauvoihin tulee taivutusmomentti, joka tulee ottaa huomioon mitoituksessa. Puristettu parre mitoitetaan tällöin puristetun ja taivutetun sauvan tapaan luvun 16.4 mukaisesti.

Epäkeskisyyden tulee huomioida aina puristetun paarteen mitoituksessa. Sen sijaan vedettyjen paarteiden tai uumasauvojen mitoituksessa sitä ei ohjeen mukaan tarvitse huomioida. Myös ristikkoliitoksen mitoituksessa epäkeskisyyden voidaan jättää huomioitaksi, mikäli se täyttää sille asetetut ehdot (neliö- ja suorakaideprofiileilla, $-0,55h_o \leq e \leq 0,25h_o$ Kuva 16.89)

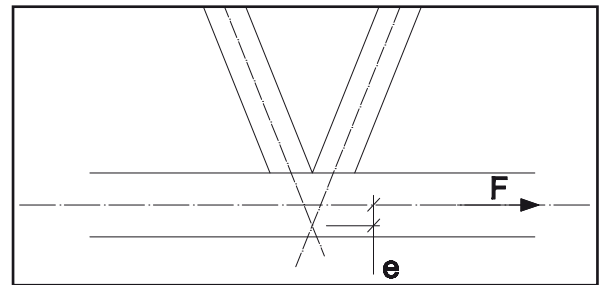
Ohjeen EN 1993-1-8 luvussa 7 on esitetty mitoitusohjeet ja kaavat yleisimpien ristikkoliitosten mitoitukseseen. Yleisimmät putkipalkkiristikon liitoksen murtumismuodot ovat: paarteen pinnan myötö, paarteen uuman leikkausmyötö sekä uumasauvan murtuminen.

Taivutusrasitettu sauva:

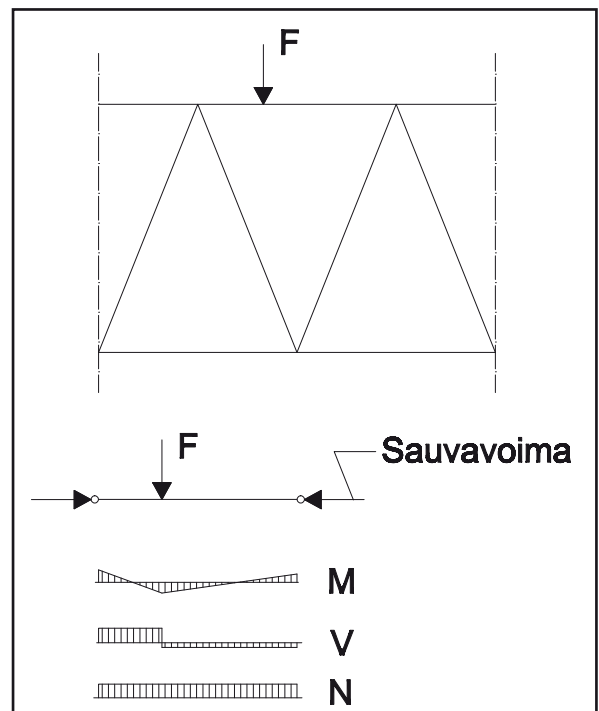
Solmukohtiin sijoitetut kuormat eivät aiheuta taivutusta, mutta kun kuorma sijaitsee solmukohtien välillä, ei sauvaa voi enää käsitellä vain normaalivoimia välittävänä elementtinä. Sauva käyttäytyy tällöin palkin tavoin, joka on tuettu solmupisteistään, ja se tulee mitoittaa normaalivoimalle ja taivutukselle luvun 16.4 mukaisesti.



Kuva 16.89. Puristetun uumasauvan nurjahduspituutena voidaan käyttää nivelpisteiden välistä systeempituutta.

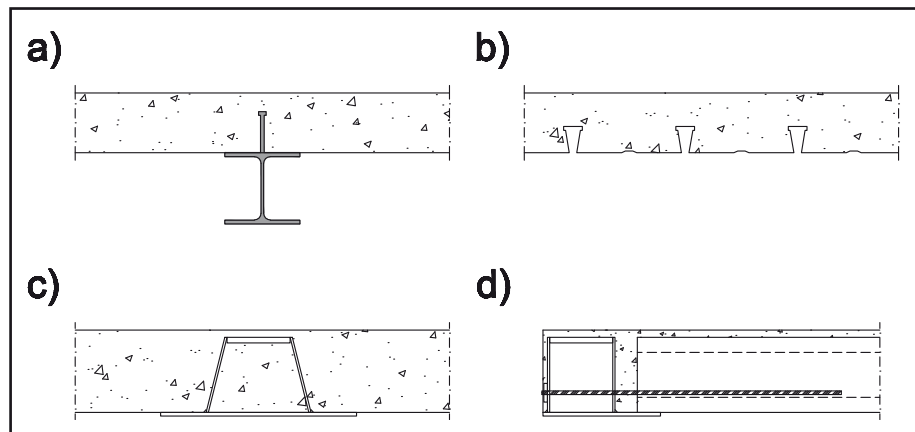


Kuva 16.90 Solmuliitoksen epäkeskisyydestä johtuva lisämomenti.



Kuva 16.91 Solmupisteiden välillä vaikuttava voima aiheuttaa sauvaan taivutus- ja leikkausrasitusta.

Kuva 16.92
Liittorakennerratkaisuja



16.5.2 Liittorakenteet

Toinen teräsrakenteiden käytön erikoistapaus on liittorakenteet, joissa teräs ja betoni toimivat yhdessä. Yhteistoiminta voi perustua kuormien välittämiseen, jolloin esimerkiksi taivutusmomentin aiheuttamat jännitykset välitetään leikkausvaaranojen avulla (Kuva 16.92 a). Yleensä betonirakennetta käytetään vain puristetuissa osissa esim. teräspalkin päällä. Toisaalta yhteistoiminta voi perustua teräsrakenteen palosuojaukseen betonin avulla. Näin esimerkiksi betonitäytteisillä teräspilareilla voidaan päästä jopa tunnin palonkestävyyteen. Myös teräslittolevyissä ja matalapalkkiratkaisussa voidaan hyödyntää teräksen ja betonin liittovaikutusta (Kuva 16.92 b, c).

Matalapalkkiratkaisut, kuten HQ - ja Delta - palkit, ovat yleistyneet erityisesti liikerakennusten tasorakenteissa. Nämä tarjoavat teräksen ja betonin yhteistoiminnan lisäksi hyötyjä mm. rakennuksen tilankäytön suhteen. Matala rakennekorkeus on edullinen myös taloteknisten installaatioiden kannalta.

Matalapalkkien mitoitus tulee suorittaa tarkoitusta varten tehdyillä ohjelmilla, jotka huomioivat teräksen ja betonin liittovaikutuksen sekä mm. matalapalkille ominaisen taipumisesta johtuvan betonin leikkautumisen tuen läheisyydessä. Lisäksi tulee huomioida erityisesti reunapalkeille aiheutuva vääntörasitus. Vääntö huomioidaan asennusaikana tukemalla rakenne alapuolelta tai palkin vääntöjäykällä kiinnityksellä pilariin. Lopputilanteessa vääntörasitus ehkäistään sitomalla betonirakenne erillisillä väännön otavilla betoniteräksillä teräspalkkiin (Kuva 16.92 d).

16.6 HITSILIITOKSET

Jännitysten jakautuminen hitsiliitoksissa tai niiden läheisyydessä voi olla hyvin monimutkaista verrattuna normaaleihin rakenneosiin. Hitsit sijaitsevat yleensä rakenteiden epäjatkuuskohdissa: liitoksissa, profiilien jatkoksissa ja jäykisteiden yhteydessä. Lisäksi hitsaamisesta aiheutuu rakenteeseen jälkijännityksiä työn aikana tapahtuvan materiaaliin kuumentamisen ja jäähtymisen seurauksena (luku 16.1.5).

Näistä monimutkaisuuksista johtuen täytyy hitsiliitoksen mitoituksessa käyttää yksinkertaistettuja laskentamalleja rasi- tusten ja kestävyuden määrittämiseksi. Laskennan

yksinkertaistaminen perustuu siihen, että hitsiin kohdistuvien rasi- tusten voidaan katsoa jakautuvan tasaisesti johtuen teräkselle ominaisesta venymästä. Jännitysten jakautuminen rajatilassa on huomattavasti yksinkertaisempi kuin alhaisemmillä kuormituksilla. Yksinkertaistetun jännitysjakauman lähtökohtana on rajatilamitoitus eli se, miten paljon kuormia hitsi voi kestää. Koska mitoitus perustuu teräksen hyviin venymäominaisuuksiin, täytyy suunnittelijan olla tarkka siitä, että liitoksella on riittävä muodonmuutoskyky. Hitsiliitoksen monimutkainen geometria ja rasi- tuksen suunta vaikuttavat sen muodonmuutoskykyyn. Tämän vuoksi on tärkeää, että liitokset suunnitellaan niin yksinkertaisiksi ja selkeiksi kuin mahdollista.

Yleensä oletetaan, että hitsissä vaikuttaa tasan jakautunut voima koko hitsin matkalla. Pitkissä hitseissä tämä oletus saattaa olla mitoituksen suhteen epävarmalla puolella. Tämän vuoksi liitoksen kestävyyttä pitkissä hitseissä tulee Eurokoodi – ohjeiden mukaan pienentää; näin erityisesti silloin, kun hitsissä on poikittaisia rasi- tuksia ja kun liitoksessa vaikuttaa väsyttävä kuormitus. Poikkeuksena ovat hitsit, joissa perusmateriaalin jännitykset ja hitsisauma ovat samassa suunnassa, kuten hitsatun palkin uuman ja laipan väliset hitsit.

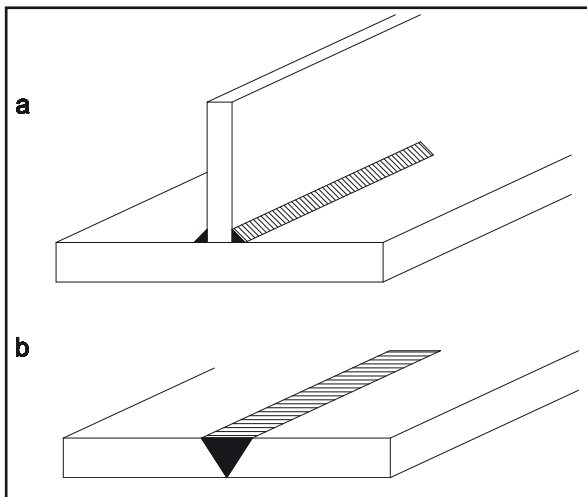
16.6.1 Hitsityypit

Hitsityypit voidaan eritellä sen perusteella, miten osat on liitetty yhteen ja miten hitsaustyö on valmisteltu. Jos näiden yksityiskohdat jätetään huomioimatta, saadaan kaksi eri päätyyppiä (Kuva 16.93):

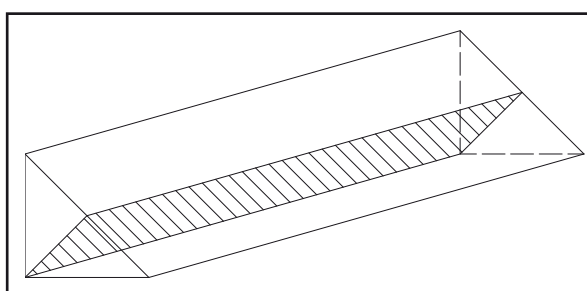
- pienahitsi
- päittäishitsi

Pienahitsissä sauma sijaitsee liitettävien osien liittosauman ulkopinnalla. Päittäishitsissä, joka voi olla läpihitsattu tai osittain läpihitsattu, hitsisauma tulee liitettävien osien perusmateriaalin tilalle esim. v-railon avulla.

Kestävyuden laskemiseksi tulee määrittää hitsiliitoksen tehollinen leveys. Pienahitsin laskennassa sauman leveytenä on ns. hitsin tehollinen a-mitta (Kuva 16.94). Ohjeen EN 1993-1-8 mukaisesti pienahitsin a-mitta on suurimman kolmion korkeus, joka voidaan piirtää railon kylkien ja hitsin uloimman pinnan sisään. Myös hitsin



Kuva 16.93 a) pienahitsi b) päittäishitsi.



Kuva 16.94 Hitsin laskentapoikkipinta.

tunkeuma perusaineeseen voidaan ottaa huomioon, mikäli kyetään osoittamaan tunkeuman toteutuminen hitsissä kauttaaltaan. – Läpihitsatun päittäishitsin laskennallinen leveys on yhtä suuri kuin heikoimman liitettävän osan paksuus (Kuva 16.95). Osittain läpihitsatun päittäishitsin a-mitta voidaan laskea vastaavasti kuin pienahitsillä ts. pienimmän hitsin sisään piirtyvän kolmion korkeuden mukaan.

Hitsin rasituksia laskettaessa huomioidaan kaikki voimat, jotka vaikuttavat hitsin teholliseen pinta-alaan nähden. Erisuuntaisten voimien yhteisvaikutus lasketaan vertailujännityksen avulla.

16.6.2 Hitsausliitoksen kestävyys

Hitsiliitoksen mitoituksessa mitoitusena käytetään materiaalin murtokestävyyttä f_u .

Hitsisauma muodostuu liitoksen perusmateriaalista ja hitsauksessa tuotettavista lisäaineista. Hitsisauman koostumus riippuu lisäaineiden lisäksi hitsaustavasta, kuten esimerkiksi päällekkäisten saumojen lukumäärästä jne. Hitsin lujuus riippuu siis sekä perusaineen että lisäaineiden lujuuksista. Näistä lisäaineen lujuus on yleisillä rakenneteräksillä perusainetta suurempi. Eurokoodi -ohjeissa hitsin lujuus lasketaan heikoimman liitososan murtojännityksen perusteella. Perusainetta lujemman lisäaineen vaikutus huomioidaan korrelaatiokertoimella β_w .

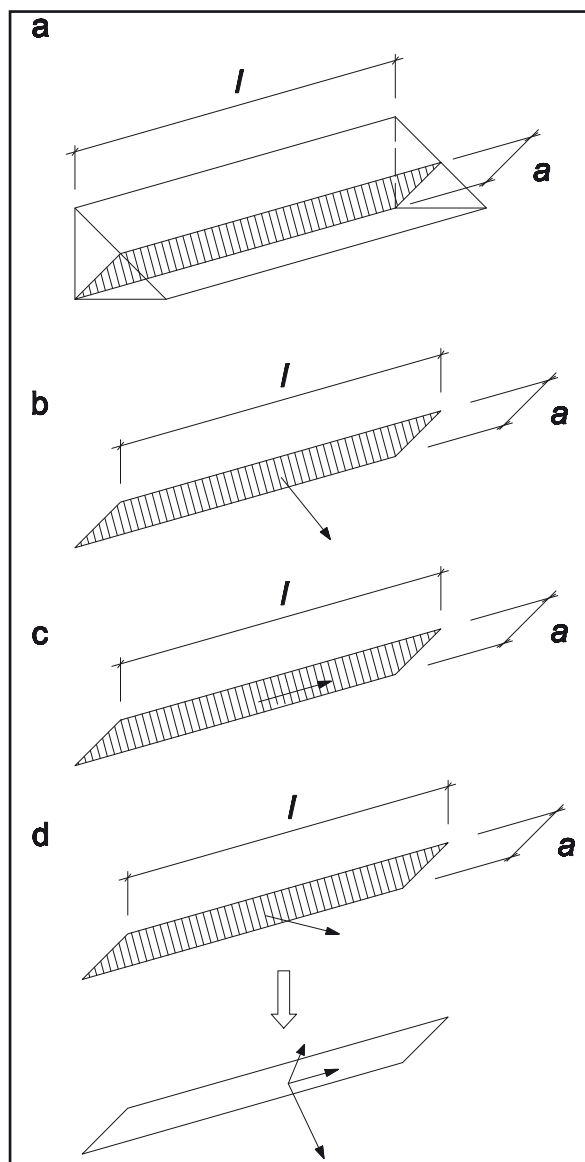
Mitoituksessa verrataan laskentapoikkipinnan jännityksiä murtokestävyyteen perustuvaan mitoitusjännitykseen. Ohjeen EN 1993-1-8 mukaisia mitoitusmenetelmiä on kaksi: komponenttimenetelmä ja yksinkertaistettu menetelmä. Näiden mukaiset mitoitus ehdot ovat, komponenttimenetelmän mukaisesti:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \text{ ja}$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} \quad (5.40)$$

yksinkertaistetussa menetelmässä:

$$\frac{F_{w,Ed}}{a \cdot l_{eff}} \leq \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}, \text{ (leikkauskestävyyden arvo)} \quad (5.42)$$



Kuva 16.95 a) laskentapoikkipinta, b) pintaan nähden kohtisuorassa vaikuttava voima, c) pinnan suuntainen voima, d) voimien resultantti.

Komponenttimenetelmässä voiman jakautuminen jännityksiin lasketaan hitsin tehollisen poikkipinnan suhteen. Jännityskomponentit jaetaan poikkipinnan suunnissa pintaa vasten kohtisuoraan normaalijännitykseen ja pinnan suuntaisiin leikkausjännityksiin (Kuva 16.95). Komponenttimenetelmä on tarkempi, mutta vaatii usein hieman enemmän laskentaa jännityskomponenttien selvittämiseksi. – Yksinkertaistettua voidaan käyttää, kun voima vaikuttaa hitsiin ainoastaan yhdestä suunnasta. Mitoitusjännitys lasketaan suoraan voiman ja vaikuttavan poikkipinta-alan osamääränä. Mitoituksessa verrataan saatua jännityksen arvoa leikkauskestävyyteen. Koska leikkauskestävyys aina mitoittava, voidaan sitä käyttää mitoituksessa, olipa voiman suunta hitsin suuntainen tai sitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Yksinkertaistettu menetelmä on aina varmallalla puolen ja helpoutensa vuoksi suositeltava menetelmä.

16.7 RUUVILIITOKSET

Ruuviliitoksessa käytetään yleensä useampia ruuveja. Liitoksen ruuveihin kohdistuu joko leikkaus- tai vetorasitusta ja joissakin tapauksissa näitä molempia (Kuva 16.97). Tässä luvussa käsitellään ainoastaan teräsrunkorakenteiden liitoksia, eikä nämä ohjeet sovellu ohutlevyrakenteiden ruuviliitoksille.

Leikkausvoiman kuormittamat ruuviliitokset voidaan jakaa Eurokoodi – ohjeiden mukaan kolmeen luokkaan (Kuva 16.98):

- Luokka A: Reunapuristustyyppinen liitos
- Luokka B: Käyttörajalassa liukumisen estävä liitos
- Luokka C: Murtorajatilassa liukumisen estävä liitos

Reunapuristustyyppisessä liitoksessa voimat välittyvät ruuvien poikkipinnan leikkausrasituksina. Liitoslevyjen reikien

kosketuspinoilla vaikuttaa puristava kosketuspaine, reunapuristus. Sen sijaan liukumisen estävissä liitoksissa, voimat välittyvät myös liitoslevyjen kosketuspintojen kitkan avulla. Liukumisen estävän, ns. kitkaliitoksen, edellytyksenä on ruuvien riittävä kiristysaste sekä kosketuspintojen oikeanlainen käsittely. Teräsrakentamisessa tällaiset liitokset ovat asennuksen ja olosuhteiden vuoksi ongelmallisia, ja siitä syystä yleensä käytetään ainoastaan reunapuristustyyppisiä liitoksia. Myös tässä osassa käsitellään ainoastaan reunapuristustyyppisiä liitoksia.

Liitoslevyjen lukumäärän perusteella leikkausliitoksen voimat voivat välittyä yhden tai useamman leikkeen kautta. Yleensä käytetään **yksi- tai kaksileikkeisiä** liitoksia (Kuva 16.99).

Vetovoiman kuormittamat ruuviliitokset jaetaan lisäksi Eurokoodi – ohjeissa kahteen luokkaan:

- Luokka D: Kiinnitykset, joissa käytetään esijännittämättömiä ruuveja
- Luokka E: Kiinnitykset, joissa käytetään esijännitettyjä ruuveja

Teräsrakenteissa käytetään yleensä esijännittämättömiä ruuveja. Esijännittämättömiä voidaan käyttää, kun liitokseen ei kohdistu vaihtuvaa vetorasitusta, kuten esimerkiksi koneiden aiheuttamia syklisiä rasituksia. Tavanomaisia tuulikuormia rasittamien liitosten ruuveja ei tarvitse esijännittää.

16.7.1 Ruuviliitoksen voimien jakautuminen

Ruuvien voimasuureiden ratkaisemiseksi tulee selvittää, miten voimat jakautuvat useamman ruuvien kesken.

ESIMERKKI 16.11

Laske pienahitsin kestävyys, kun liitettävän osan murtolujuus f_u on 510 N/mm^2 (S355). Hitsin a -mitta on 5 mm ja pituus 100 mm .

Yksinkertaisuuden vuoksi lasketaan lujuus leikkauslujuuden perusteella. Laskenta ohjeen EN 1993-1-8 mukaan:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

missä $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$, kerroin β_w saadaan taulukosta:

Teräslaatu EN10025 Korrelaatiokerroin β_w

| | |
|------|------|
| S235 | 0,8 |
| S275 | 0,85 |
| S355 | 0,9 |
| S420 | 1,0 |

$$\Rightarrow f_{vw,d} = \frac{510 / \sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} = 261,7 \text{ N/mm}^2$$

Liitoksen kestävyys:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \cdot l = 261,7 \text{ N/mm}^2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} = \underline{130,9 \text{ kN}}$$

Kun liitokseen vaikuttaa keskeinen normaalivoima, kuten kuvassa 16.100, ruuveille tulevat leikkausrasitukset jakautuvat yleensä tasan kaikille ruuveille. Liitoksen mitoituksessa voimat voidaan ajatella tasan jakautuneiksi, mikäli liitoksen pituus on pienempi kuin 15 kertaa ruuvien halkaisija. Tällöin yhden ruuvien leikkausvoima saadaan lasketta yksikertaisesti kaavasta:

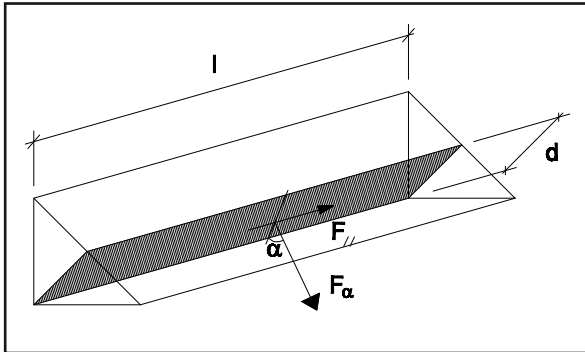
$$F_{v.Ed} = F_{tot}/n \quad (5.43)$$

missä n on ruuvien lukumäärä

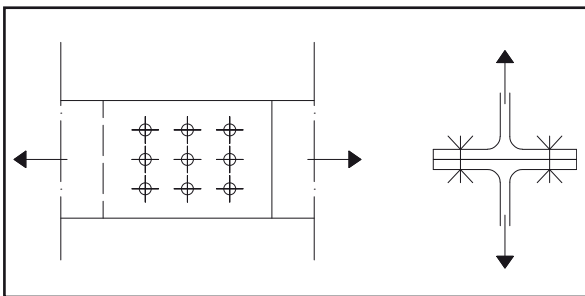
Pidemmissä liitoksissa voimat eivät jakaudu tasan, vaan muodonmuutosten vaikutuksessa liitoksen reunimmaisille ruuveille tulee enemmän rasituksia. Tämän vuoksi pitkien ($L_j > 15 d$) liitosten ruuvien kestävyttä tulee pienentää ohjeen EN 1993-1-8 mukaisella pienennyskertoimella. Tällaiset liitokset ovat harvinaisia. Lisäksi pienennystä ei tarvitse tehdä pitkissä liitoksissa, joissa liittyvien osien voimat vaikuttavat samaan suuntaan, kuten palkkimaisissa rakenteissa uuman ja laipan välisissä liitoksissa.

Kun liitokseen tulee taivutusrasitusta, voimat jakautuvat kiertoakselin suhteen joko kimmoteorian tai plastisuusteorian perusteella; esimerkkinä kuvan 16.101 mukainen epäkeskisesti kuormitettu liitos. Kimmoteorian mukaisessa voimien laskennassa ruuvivoimat kasvavat veto- ja puristuspuolella ruuvien etäisyyden suhteessa (Kuva 16.101 a). Suurin rasitus kohdistuu uloimpiin ruuveihin. Kimmoteorian mukainen voimien jakautuminen on mitoituksellisesti varmallu puolen ja sitä voidaan käyttää kaikissa tapauksissa. Voimien voidaan ajatella jakautuvan myös plastisuusteorian mukaan (Kuva 16.101 b), mikäli liitoksen levyn reunapuristuskestävyys on ruuvien leikkauskestävyttä pienempi.

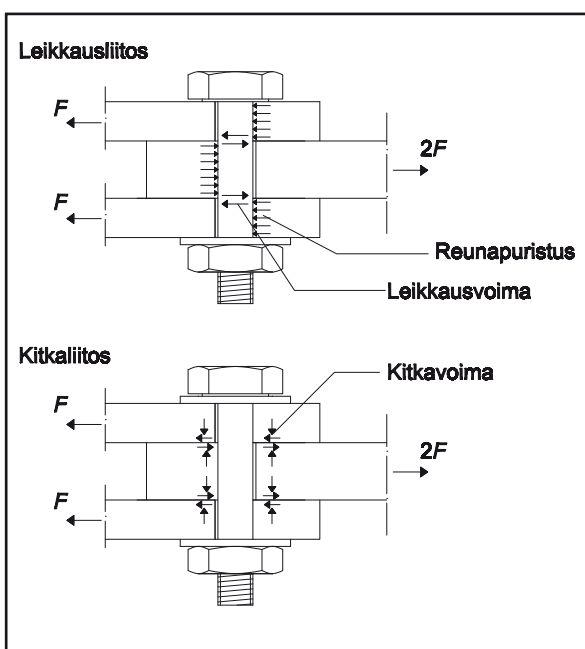
Päätylevy- ja laippaliitoksissa, kun ruuviliitokseen vaikuttaa vetorasituksia, tulee lisäksi huomioida liitoksen muodonmuutosten lisärasitukset eli ns. vipuvoimat. Vipuvoimien vaikutus riippuu levyn paksuudesta. Mitoituksessa voimien voidaan ajatella jakautuvan yksinkertaistetun laskentamallin eli ns. ekvivalentin T-osan (Kuva 16.102) mukaisesti.



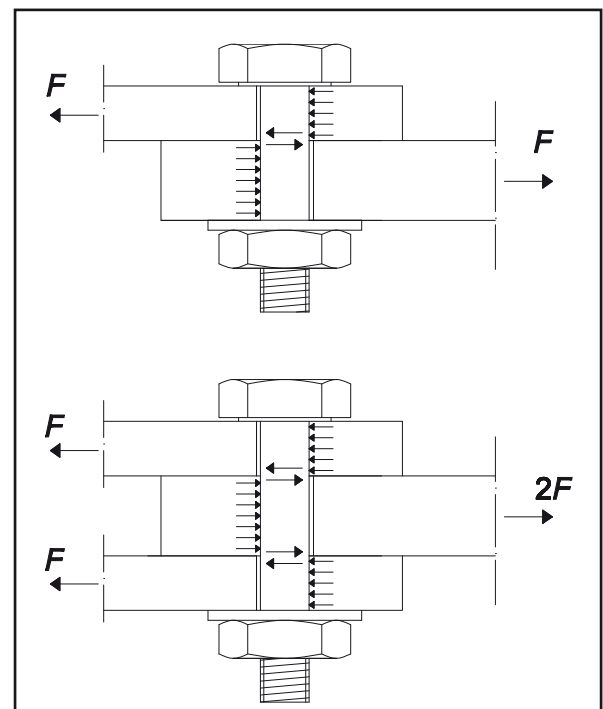
Kuva 16.96 Hitsissä vaikuttavat voimakomponentit.



Kuva 16.97 Ruuviliitokseen vaikuttavia leikkaus- ja vetorasituksia.



Kuva 16.98 Reunapuristustyypinen ja liukumisen estävä leikkausrasitettu ruuviliitos.



Kuva 16.99 Yksi- ja kaksileikkeinen ruuviliitos.

Eri murtumismuodot ja vipuvoimat voidaan huomioida kuvan mukaisilla kolmella eri laskentamallilla.

16.7.2 Ruuviliitoksen kestävyys

Ruuviliitoksen kestävyttä määriteltäessä ruuvien lujuutena käytetään sen murtolujuutta f_{ub} . Murtolujuus määräytyy ruuvien lujuusluokan perusteella. Lisäksi vaikuttaa ruuvien jännityspoikkipinta-ala, jossa tulee huomioida myös ruuvien kierteiden vaikutus poikkipinta-alaan.

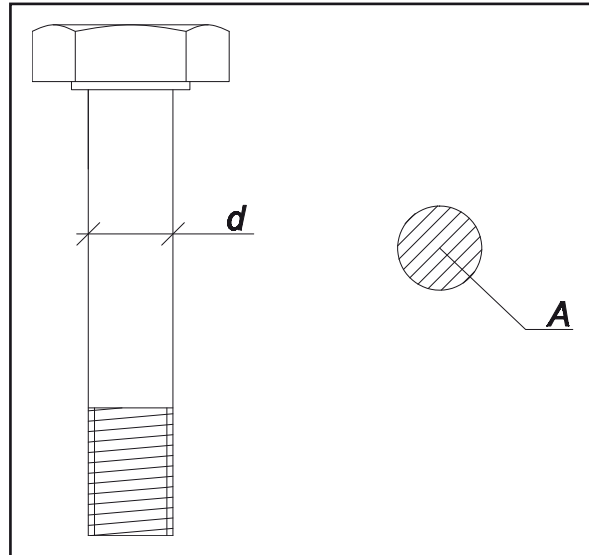
Kuvassa 16.103 on esitetty osakierteinen ruuvi. Osakierteisen ruuvien jännityspoikkipinta-ala, kun leike on kierteettömällä osalla, saadaan:

$$A_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (5.44)$$

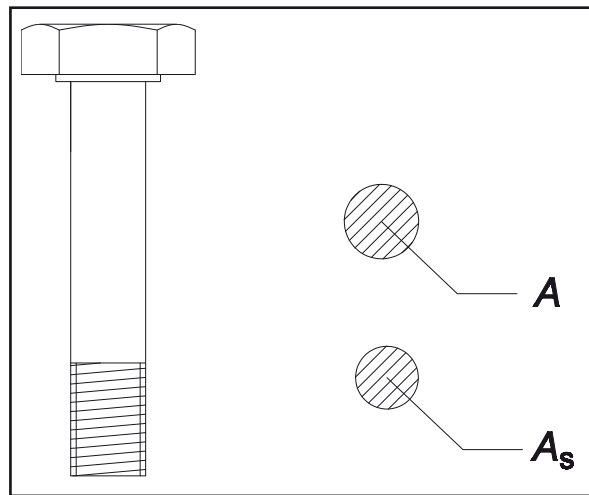
Kun ruuvissa on vetorasitus tai mikäli leikkausvoiman raskas leike on ruuvien kierteiden kohdalla, tulee ruuvien jännityspinta-alasta vähentää kierteiden osuus. Tämä voidaan laskea esimerkiksi seuraavalla kaavalla:

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot (d - 0,94p)^2 \quad (5.45)$$

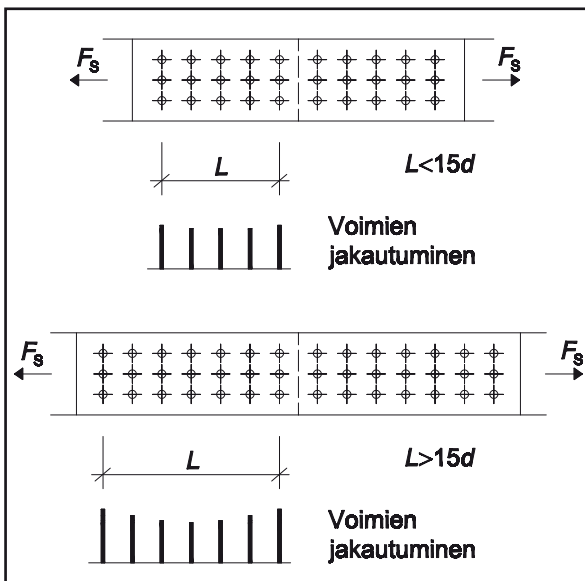
missä p on kierteiden nousu soveltuvan ruuvien standardin mukaisesti (EN ISO 4014).



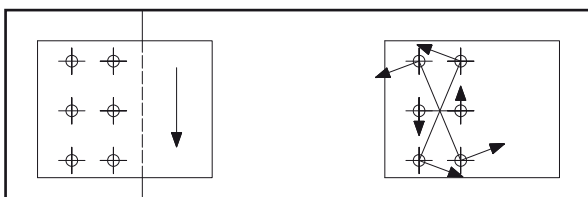
Kuva 16.102 Osakierteisen ruuvien jännityspoikkipinta



Kuva 16.103 Kierteen kohdalla poikkipinta on pienempi.



Kuva 16.100 Pitkissä ruuviliitoksissa tulee huomioida uloimpien ruuvien suurempi rasitus.



Kuva 16.101 Epäkeskeisestä leikkausliitoksesta aiheutuva momentti.

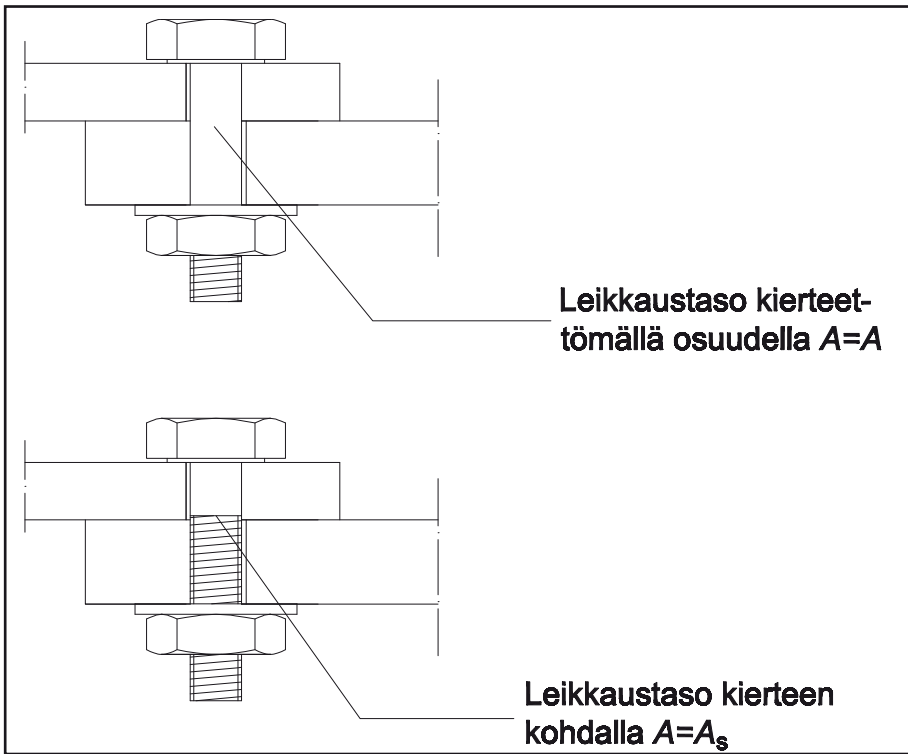
Leikkauskestävyys:

Ruuviliitoksen leikkauskestävyyden tarkistamiseksi tulee selvittää ruuvien leikkauskestävyys ja levyn reunapuristuskestävyys (Kuva 16.105).

Leikkauskestävyyden rajajännitys saadaan ruuveilla, kuten palkeilla ja hitseillä, Von Misesin hypoteesin mukaan kaavasta $f_v = f_{ub} / \sqrt{3}$, eli kun $f_v \approx 0,58 f_{ub}$. Yksinkertaistaen ruuvien leikkauskestävyyden kaavaksi saadaan:

$$F_{v.Rd} = 0,6 \cdot \frac{f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (5.46)$$

missä f_{ub} on ruuvien lujuusluokan mukainen leikkauslujuus
 = 800 N/mm², kun lujuusluokka on 8.8
 = 1000 N/mm², kun lujuusluokka on 10.9
 A_s on ruuvien jännityspoikkipinta-ala (kuva 5.145, kaavat 16.43, 16.44)
 γ_{M2} on ruuvien materiaalin osavarmuuskerroin,
 $\gamma_{M2} = 1,25$



Kuva 16.105 Leikkeen sijainnin vaikutus osakierteisen ruuvien kestävyteen.

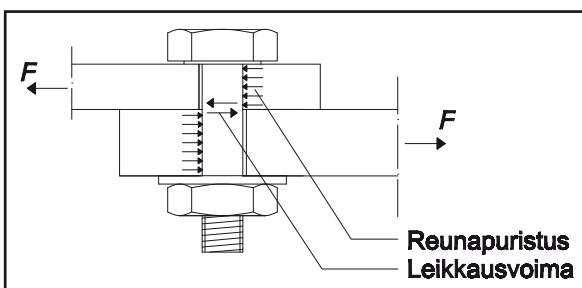
Poikkeuksena on lujuusluokan 10.9 ruuvi, jossa kertoimen 0,6 tilalla käytetään kerrointa 0,5, kun kierteet ovat leikkaustasossa.

Reunapuristuskestävyyden määrittämisessä tulee kyseeseen kaksi erityyppistä murtumismallia (Kuva 16.107). Ruuvien reunapuristuksesta johtuen:

- levy myötää ja reikä muotoutuu pitkäksi (Kuva 16.107 a), tai
- levyn reuna murtuu ja ruuvi leikkautuu osan läpi (Kuva 16.107 b)

Murtumismuoto riippuu levyn ja ruuvien dimensioista. Esitetyistä murtumismuodoista jälkimmäinen on mahdollinen, mikäli levyn reunaetäisyydet ovat pieniä.

Reunapuristuskestävyyden laskennassa otetaan huomioon ruuvien kontaktipinnan kosketuspaine. Laskennassa oletetaan kuitenkin, että paine jakautuu tasaisesti koko ruuvien leveydelle ja voiman suuntaisesti (Kuva 16.107 a). Todellisuudessa jännityspinta on huomattavasti monimutkaisempi. Tämän vuoksi nimellinen jännitys voi olla varsin suuri.



Kuva 16.104 Ruuvien leikkauskestävyys ja reunapuristus.

Eurokoodi – mitoituskaavat sallivat kestävyden arvoksi jopa 2,5 kertaa murtojännitystä vastaavan rasituksen. Näin ollen ruuvien puristuskestävyydeksi saadaan:

$$F_{b,Rd} = 2,5 \cdot \frac{\alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (5.47)$$

missä $\alpha_b = \min(e_1/3d_o; p_1/3d_o - 1/4; f_{ub}/f_u; 1,0)$

e_1 on ruuvien reunaetäisyys voiman suunnassa

p_1 on ruuvien välinen etäisyys voiman suunnassa

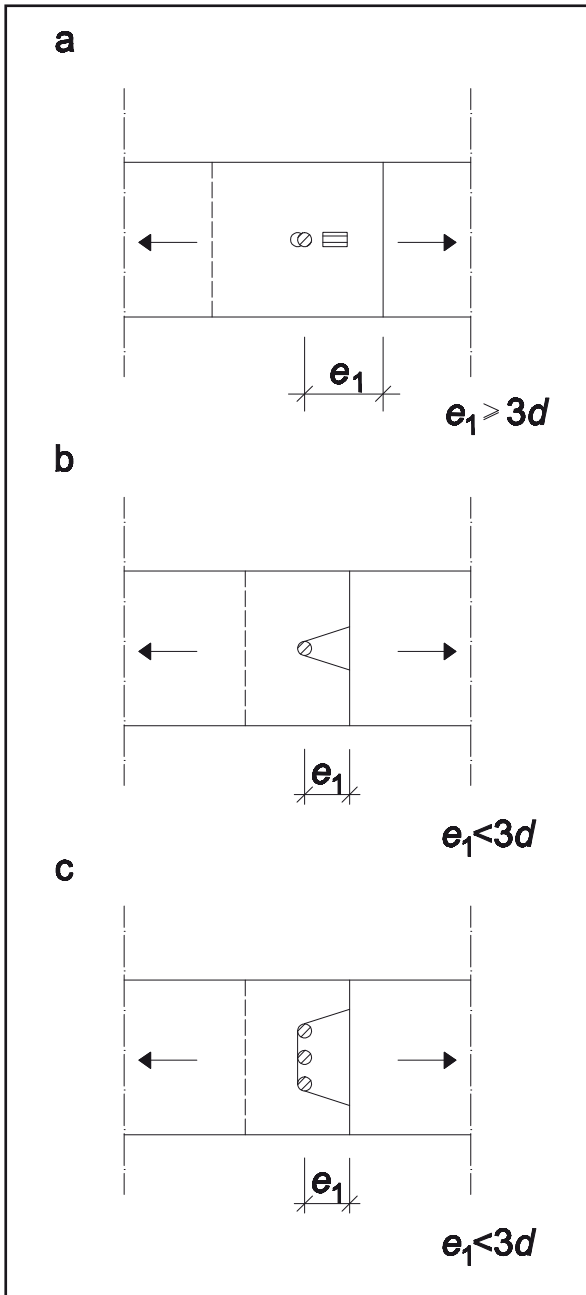
f_u on levyn murtolujuus

d_o on reiän halkaisija

d on ruuvien halkaisija

t on levyn paksuus

Tämä kaava on voimassa silloin, kun käytetään ohjeen EN 1993-1-8 mukaista minimireunaetäisyyttä $e_{1,2} \geq 1,2 d_o$. Ohje sisältää myös muita minimietäisyyksiä. Liitoksen toiminnan kannalta on kuitenkin suositeltavaa käyttää minimietäisyyksiä suurempia arvoja; kuten esim. reunaetäisyydelle $n \cdot 2 d_o$. – Lisäksi on suositeltavaa mitoittaa liitokset siten, että ne murtuvat sitkeästi. Sitkeän murron ehtona on se, että liitoksen kestävyden mitoittaa reunapuristuskestävyys; toisin sanoen se, että ruuvien leikkauskestävyys on aina reunapuristuskestävyttä suurempi. Tämän vuoksi ei ole järkevää käyttää liian suuria levypaksuuksia leikkausliitoksissa.



Kuva 16.106 Reunapuristuskestävyyden määrittävät murtomuodot.

Yhdistetty leikkaus- ja vetokestävyys:

Kestävyys yhtä aikaa vaikuttaville leikkaus- ja vetorasituksille voidaan tarkistaa ohjeen EN 1993-1-8 mukaan seuraavalla mitoitus ehdolla:

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} + \frac{F_{t.Ed}}{1,4 \cdot F_{t.Rd}} \leq 1,0 \quad (5.49)$$

Liitososien kestävyys:

Ruuvien kestävyden lisäksi liitoksen mitoituksessa tulee selvittää ns. perusmateriaalin, eli liitoslevyjen ja profiilin osien, kestävyys. Murtumismuotoja on useita liitostyypeistä riippuen. Kestävyys voi määräytyä osan palamurtuminen, paikalliset myötö- ja murtoilmiot tai liitoslevyn taipumusmurtuminen. Eurokoodi ohjeiston osassa EN 1993-1-8 esitetään lukuisia ohjeita näiden kestävyysien määrittelyille, joita ei kuitenkaan tässä oppikirjassa ole esitetty.

Vetokestävyys:

Ruuviliitoksen vetokestävyys tarkistamiseksi tulee selvittää ruuvien veto- ja lävistyskestävyys sekä liitoslevyn murtuminen. Ruuvien vetokestävyys laskennassa käytetään jännitys-poikkipinta-alana kierteellisen osuuden mukaista arvoa. Vetokestävyys perustuu normaalijännityksen murtorajaan, ja ohjeen EN 1993-1-8 laskentakaava tavanomaisille kuusioruuveille on muotoa:

$$F_{t.Rd} = 0,9 \cdot \frac{f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (5.48)$$

Ruuvien kannan ja mutterin lävistyskestävyydelle annetaan myös Eurokoodi – ohjeissa omat laskentakaavat. Lävistyskestävyys ei kuitenkaan yleensä ole kriittinen teräsrungon liitoksissa, toisin kuin ohutlevyrakenteilla, eikä sen vuoksi kaavoja ole tässä tarpeellista esittää.

ESIMERKKI 16.12

Laske ruuvin M16 leikkauskestävyys. Ruuvin lujuusluokka on 8.8.
Laskenta ohjeen EN 1993-1-8 mukaan:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}},$$

missä $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$, ruuvien pinta-alat taulukosta:

| Ruuvi EN ISO 4014 | Kierteellisen osan poikkipinta-ala, A_s [mm ²] | Kierteettömän osan poikkipinta-ala, A [mm ²] |
|-------------------|--|--|
| M12 | 84,3 | 113 |
| M16 | 157 | 201 |
| M20 | 245 | 314 |
| M24 | 353 | 452 |
| M30 | 561 | 707 |

Ruuvin leikkauskestävyys, kun kierteet leikkaustasossa:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 800 \text{ N/mm}^2 \cdot 157 \text{ mm}^2}{1,25} = \underline{60,3 \text{ kN}}$$

Ruuvin leikkauskestävyys, kun leikkaustaso on kierteettömällä osalla:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 800 \text{ N/mm}^2 \cdot 201 \text{ mm}^2}{1,25} = \underline{77,2 \text{ kN}}$$

Teräsrakentaminen -oppikirja perehdyttää lukijan teräsrakentamisen perusteisiin lukuisin havainnollisin kuvin ja selitystekstein. Kirja on kokonaisuus, joka soveltuu opetukseen kaikilla koulutuksen tasoilla. Teräsrakentaminen -oppikirja perustuu erinomaiseen Ruotsissa aikaisemmin julkaistuun oppikirjaan "Stålbyggnad" (SBI 2004).

Suomessa kirjan käännöstyön ja julkaisemisen on tuottanut Hämeen ammattikorkeakoulun hallinnoima hanke "Teräsrakentamisen alueelliset tuotekehitys- ja koulutusketjut sekä koulutuksen pilotoinnit". Hanke on toteutettu InnoSteel -osaamiskeskuksessa vuosina 2004 - 2007 ja se on pääosin rahoitettu ESR -varoin Etelä-Suomen lääninhallituksen avustuksella.

Hämeen ammattikorkeakoulun InnoSteel -sarjassa on julkaistu myös saman hankkeen tuottama kirja "Metallirakentajan käsikirja".



ISBN 978-951-784-457-1
ISSN 1795-4231
HAMK:n julkaisuja 1/2008

EAN-viivakoodi



HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU

InnoSteel

