

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

RAKENNESUUNNITTELIJAN PEREHDYTTÄMINEN TEOLLISUUTEEN PAINOTTUNEEN INSINÖÖRITOIMISTON TYÖTEHTÄVIIN

TEKIJÄ Sini Miettinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakentamisen tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Sini Miettinen	
Työn nimi Rakennesuunnittelijan perehdyttäminen teollisuuteen painottuneen insinööritoimiston työtehtäviin	
Päiväys 23.5.2024	Sivumäärä/Liitteet 81/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) AFRY Finland Oy	
Tiivistelmä <p>Työn tarkoituksena oli tuottaa perehdytysmateriaali ja tietopankki rakennesuunnittelijoille prosessiteollisuuden työtehtäviin. Tavoitteena oli tehostaa ja yhdenmukaistaa perehdytysprosessia samalla parantaen suunnittelu-työn laatua ja tehokkuutta. Tarve perehdytysmateriaalille nousi esiin, kun kävi ilmi, että työtehtäviin perehdyttämisen tueksi ei ole koottuna yhtenäistä materiaalia. Perehdytys on aiemmin toteutettu jokaisen uuden suunnittelijan kohdalla työtehtäväkohtaisesti ja osissa, mikä on vaikuttanut muiden suunnittelijoiden työskentelytehoon ja perehdytysprosessin laatuun.</p> <p>Perehdytysmateriaalin koostamisessa hyödynnettiin standardeja, suunnitteluohjeita, alan kirjallisuutta, omaa ja kollegoiden osaamista sekä yrityksen sisäisiä ohjeita. Työn teoriaosuudessa syvennyttiin perehdytysprosessin teoretietoon, rakennesuunnittelun lähtökohtiin, teräs- ja betonirakenteiden suunnitteluperusteisiin sekä prosessiteollisuuden erityispiirteisiin suunnitteluympäristönä. Tutkimus perustui tekijän omaan työkokemukseen, havainnointiin ja kevyisiin haastatteluihin. Työssä tutkittiin ja perehdytysoppaaseen koostettiin yrityksen sisäistä ohjeistusta, projektitoimintaohjeita, suunnittelutyötä tukevaa aineistoa, suunnittelukäytäntöjä sekä tyyppillisiä ja aiemmin toteutettuja suunnittelukohteita.</p> <p>Työn tuloksena syntyi perehdytysmateriaali ja tietopankki prosessiteollisuuden rakennesuunnittelutehtäviin. Materiaali tarjoaa tietopankin suunnittelutyön tueksi uusille suunnittelijoille ja kokeneemmille suunnittelijoille, joille teollisuusympäristö on vieras. Materiaali auttaa suunnittelijoita pääsemään työssä alkuun ja tarjoaa kaikille samat lähtökohdat suunnittelu-uran alussa prosessiteollisuudessa. Perehdytysmateriaalia tullaan jatkokehittämään puurakenteiden osuudella. Lisäksi vastaavia materiaaleja on tarkoitus tuottaa myös muille suunnittelualoille.</p>	
Avainsanat rakennesuunnittelu, prosessiteollisuus, perehdytys, suunnitteluprosessi, teräsrakenteet, betonirakenteet	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Master's Degree Programme In Civil Engineering	
Author(s) Sini Miettinen	
Title of Thesis Induction of a Structural Engineer to an Industry-focused Engineering Office	
Date 23 May 2024	Pages/Appendices 81/1
Client Organisation /Partners AFRY Finland Oy	
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to produce induction material for structural engineers in the process industry field. The goal was to standardize the induction process and improve the quality and efficiency of engineering design work. The lack of compiled guidance material for work assignments highlighted the necessity of this material. Previously, inductions were task-specific and fragmented, affecting both work efficiency and the quality of induction.</p> <p>In compiling the induction material, standards, design guidelines, literature, internal company guidelines, and personal and colleagues' expertise were utilized. The theoretical foundation consists of the induction process, structural design, steel design, concrete design, and the specific characteristics of the process industry as a design environment. The research was based on the author's work experience, observations, and informal interviews. Company guidelines and past design projects were also studied and compiled into the material.</p> <p>The result of this thesis was an induction material for structural engineers in the process industry field, providing information for both new and experienced engineers unfamiliar with the environment. This material offers a consistent starting point for all entering the field. Future improvements to the induction material will include a section on timber structures, and there are plans to produce similar materials for other design fields as well.</p>	
<p>Keywords structural engineering, process industry, induction, design process, steel structures, concrete structures</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Tausta	7
1.2	Tarkoitus.....	8
1.3	Tavoite	8
1.4	AFRY	9
2	PEREHDYTYS JA HILJAINEN TIETO	10
3	PROSESSITEOLLISUUS	12
3.1	Prosessiteollisuus divisioona AFRYlla.....	12
3.2	Projektiorganisaatioiden tyypit	13
3.3	Liittyvät suunnittelualat.....	14
3.4	Tyypillisiä suunnittelukohteita	18
3.5	Asiantuntijuus prosessiteollisuuden rakennesuunnittelussa	19
3.5.1	Rakennesuunnittelun urapolut.....	19
3.5.2	Pätevyudet	21
4	RAKENTEIDEN SUUNNITTELU	22
4.1	Suunnitteluohjeet.....	22
4.1.1	Eurokoodit, standardit ja kansalliset liitteet.....	22
4.1.2	BY-, TRY- ja RIL-julkaisut.....	22
4.1.3	Rakennustieto RT	23
4.2	Rajatilamitoitus	23
4.2.1	Rakenteiden kuormitukset ja kuormitusstandardit	23
4.2.2	Kuormien yhdistelykertoimet.....	25
4.2.3	Seuraamusluokat.....	26
4.2.4	Käyttörajatiilojen taipumarajat.....	27
4.3	Paloturvallisuus.....	29
4.3.1	Rakennuksen paloluokka	29
4.3.2	Rakennuksen käyttötarkoitus	30
4.3.3	Rakenteen palonkestoluokka.....	31
4.3.4	Rakenteiden kantavuus palotilanteessa	31
4.3.5	Palo-osastot.....	31
4.3.6	Läpiviennit osastoivissa rakenteissa	32

4.3.7	Palon kehittymisen rajoittaminen.....	32
4.3.8	Palonleviämisen rajoittaminen.....	32
4.4	Suunnitteluprosessi ja projektitoiminta.....	33
4.5	Tietomallinnus	33
5	MATERIAALIT	34
5.1	Teräs.....	34
5.1.1	Teräsrakentaminen.....	34
5.1.2	Rakenneteräs.....	34
5.1.3	Ympäristöolosuhteet	38
5.1.4	Korroosion estäminen ja pintakäsittely	39
5.1.5	Kantava teräsrunko	41
5.1.6	Teräksen palomitoitus ja palosuojaus.....	45
5.1.7	Teräsrakenteiden liitokset.....	46
5.1.8	Teräsrakenteiden toteutus.....	56
5.2	Betoni.....	59
5.2.1	Paikallavalurakentaminen	59
5.2.2	Betonielementtirakentaminen.....	59
5.2.3	Betonirunkojen rakennejärjestelmät	61
5.2.4	Betonin lujuusluokat	63
5.2.5	Raudoitettu betoni.....	63
5.2.6	Ympäristöolosuhteet	65
5.2.7	Betonin palomitoitus	69
5.2.8	Betonirakenteiden liitokset.....	69
5.2.9	Betonirakenteiden toteutus.....	71
6	TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN	73
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	76
	LÄHTEET	78
	LIITE 1: PEREHDYTYSOPAS JA MATERIAALIPANKKI (LUOTTAMUKSELLINEN).....	82

KUVALUETTELO

KUVA 1. Teräsprofiileja ja muototankoja (Miettinen 2024).	36
KUVA 2. Kylmämuovattuja ohutlevyrakenteita (Miettinen 2024).....	37
KUVA 3. Yksilaivaisen hallin jäykkänurkkaisia kehiä (Miettinen 2024).....	42
KUVA 4. Yksikerroksisten rakennusten tyypillisiä mastokehiä (Miettinen 2024).	42
KUVA 5. Rakennuksen ristikkojäykistys (Miettinen 2024).	43
KUVA 6. Monikerroksisen rakennuksen ristikkojäykistys (Miettinen 2024).....	43
KUVA 7. Osakierre- ja täyskierreruuvit (Miettinen 2024).	48
KUVA 8. Kiinnittimien pääty- ja reunaetäisyyksien sekä keskiövälien merkinnät (mukaillen SFS-EN 1993-1-8 2005, 25, Miettinen 2024).	51
KUVA 9. Hitsausmerkinnät (Miettinen 2024).	52
KUVA 10. Hitsisauman sijainti (Miettinen 2024).	53
KUVA 11. Tyypillisiä hitsilajeja ja niiden tunnukset (Miettinen 2024).....	53
KUVA 12. Hitsienpinnan muotoja (Miettinen 2024).....	54
KUVA 13. Pienahitsin efektiiviset a- ja z-mitat (Miettinen 2024).	54
KUVA 14. Pienahitsin tilantarve (Miettinen 2024).	55
KUVA 15. Esimerkit sokkelielementistä ja ei-kantavasta sandwichelementistä (Miettinen 2024).	60
KUVA 16. Ontelolaatta ja TT-laatta (Miettinen 2024).	61
KUVA 17. Kantavat seinät - laattarunko (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 77).....	61
KUVA 18. Pilari - palkkirunko (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 78).....	62
KUVA 19. Pilari - laattarunko (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 79).....	62
KUVA 20. Tartuntaolosuhteiden kuvaus (Mukaillen SFS-EN 1992-1-1 2015, 48, Miettinen 2024).	64
KUVA 21. Ohjekuva rasitusluokan valintaan (mukaillen Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 65, Miettinen 2024).	67

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaaja on AFRY Finland Oy, jonka käyttöön opinnäytetyössä tuotetaan perehdytysopas ja materiaalipankki suunnittelutyön tueksi rakennesuunnittelun työtehtäviin teollisuusympäristössä ja erityisesti prosessiteollisuudessa (LIITE 1).

1.1 Tausta

Tarve työtehtäviin suunnatulle perehdytysmateriaalille nousi esiin keskusteluissa kollegoiden sekä esihenkilöiden kanssa. On huomattu, että uuden suunnittelijan perehdyttämiseen menee usein runsaasti aikaa muilta suunnittelijoilta, jolloin heidän omat työnsä keskeytyvät ja saattavat viivästyä. Teollisuusympäristö eroaa muista suunnitteluympäristöistä, mikä voi olla haaste uudelle suunnittelijalle, on hän sitten vastavalmistunut tai esimerkiksi talonrakennuspuolelta siirtyvä insinööri.

Perehdytysmateriaalissa hyödynnetään standardeja, suunnitteluohjeita, alan kirjallisuutta, omaa ja kollegoiden osaamista sekä yrityksen sisäisiä ohjeita, joihin rakennesuunnittelutyö pohjautuu. Työn teoriaosuus koostuu perehdytysprosessin teorian tiedosta, rakennesuunnittelun lähtökohdista, teräs- ja betonirakenteiden suunnitteluperusteista sekä prosessiteollisuuden erityispiirteistä suunnitteluympäristönä.

Yrityksellä on kaikille uusille työntekijöille suunnattu yleisluontoinen perehdytysmateriaali, jossa esitellään yrityksen arvoja, ympäristöä, työkulttuuria, järjestelmiä ja toimintatapoja. Itse suunnittelu-työhön suunnattua perehdytysmateriaalia ei kuitenkaan ole koottuna selkeäksi kokonaisuudeksi. Yrityksen sisäisessä verkossa on suunnittelutyön tueksi tarjolla erilaisia ohjeita, kuten suunnitteluohjeita, dokumenttipohjia ja tarkastuslistoja. Osalle käytössä olevista suunnitteluohjelmista on myös mallinnus- ja piirustustenttuotto-ohjeita. Sisäiset ohjeet ovat kuitenkin monessa sijainnissa sekä usein vaikeasti löydettävissä ja hahmotettavissa.

Perehdytysopasta kootessa on hyödynnetty omaa ja kollegoiden osaamista. Nykyisissä työtehtävissä kuuden vuoden aikana olen ehtinyt saamaan suhteellisen kattavan käsityksen alan suunnittelutoimemiksiantojen erikoispiirteistä ja vaatimuksista. Olen työurani aikana suunnitellut vaihtelevia kohteita prosessiteollisuuteen ja suunnittelutoimeksiannot ovat sisältäneet betoni-, teräs- ja puurakenteita.

Opinnäytetyö on jaoteltu raporttiosaksi sekä perehdytysoppaaksi ja materiaalipankiksi. Raporttiosuudessa käsitellään suunnitteluohjeita ja niiden tulkintaa yleisellä tasolla. Liite on luottamuksellinen eikä sitä julkaista raporttiosan mukana. Liitteessä käsitellään raporttiosan teorian tietoa sekä yrityksen sisäisiä ohjeita ja suunnittelutyötä tukevaa aineistoa yhtenäisenä kokonaisuutena (LIITE 1). Sekä yrityksellä että sen asiakasorganisaatioilla on tarkat rajat mitä tietoja heidän toiminnastaan voidaan julkaista. Erillisille luottamukselliselle liitteelle oli selvä tarve ja perusteet, jotta materiaaliin saatiin koottua mahdollisimman kattavasti suunnitteluohjeita yrityksen suunnittelukohteista ja toimintaympäristöstä.

1.2 Tarkoitus

Työn tarkoituksena on helpottaa uuden työntekijän perehdyttämistä rakennesuunnittelutehtäviin, ja tätä kautta parantaa suunnittelutyön laatua ja tehokkuutta. Työssä luotiin uudelle suunnittelijalle materiaali, jonka avulla hän pääsee tehokkaasti alkuun työtehtävissään. Näin kokeneempien suunnittelijoiden ei tarvitse käyttää niin paljoa aikaa jokaisen työtehtävän ja sen osa-alueen läpikäymiseen. Perehdytysopas voi toimia myös tukena suunnittelijoille, joilla on ollut pidempi tauko juuri kyseisen materiaalin suunnittelusta tai muutenkin suunnittelutyöstä. Esimerkkinä tilanne, että betonirakenteisiin erikoistunut suunnittelija saa työtehtäväkseen suunnitella teräsrakenteisen laitetuennan kiireellisen työtilanteen vuoksi. Hän voi hyödyntää tietopankkia monessa vaiheessa: suunnitteluohjeiden etsiminen, huomioitavien asioiden ja kokonaisuuden tiedostaminen sekä lopputuloksena syntyvien asiakirjojen tuottaminen ja tarkastaminen.

Haasteena perinteisessä mentoroinnissa on, että eri suunnittelijoilla saattaa olla erilaisia menetelmiä tehdä jokin työ, ja nämä menetelmät eivät välttämättä joka kerta ole se kaikkein tehokkain tapa toimia. Tästä seuraa, että uusi suunnittelija saattaa oppia vanhentuneita tai hitaita tapoja tehdä jokin työvaihe. On myös mahdollista, että hänelle annetaan vastaukset valmiina, jolloin käy helposti niin, että myös seuraavalla kerralla hän joutuu kysymään samaa asiaa uudelleen ja asian oppiminen jää puolitiehen. Materiaaliin on pyritty kokoamaan aineisto, jonka pohjalta kaikilla uusilla suunnittelijoilla on samat lähtökohdat lähteä kehittymään omassa työssään.

Perehdytysopas ja materiaalipankki ei tietenkään kokonaan voi poistaa tarvetta henkilökohtaiselle perehdyttämiselle. Jokainen suunnittelija tulee erilaisista lähtökohdista, ja heillä on erilaiset osaamisalueet ja taidot. Perehdytysoppaan on tarkoitus helpottaa perehdytysprosessia. Kaikki suunnittelijat ovat myös aina valmiita auttamaan ja neuvomaan ongelmatilanteissa sekä haasteissa.

1.3 Tavoite

Käytännön hyöty yritykselle työstä tulee ajankäytön ja työnlaadun puolelta. Tällä hetkellä suunnitteluohjeita, kuten mallinnusohjeita ja dokumentaatio-ohjeita on kyllä olemassa sisäisessä verkossa, mutta niitä on monessa sijainnissa, ja jokaisen kysymyksen kohdalla kokeneemman suunnittelijan täytyy keskeyttää oma työskentelynsä, kun neuvoja niiden löytämiseen tarvitaan.

Materiaali toimii lähtökohtana suunnittelutyölle. Siinä on kerrottu mistä tarvittavaa tietoa, normeja, standardeja ja suunnitteluohjeita löytyy, jotta suunnittelija itse voi niitä etsiä ja hyödyntää. Materiaalissa on myös avattu eri työtehtävien sisältöjä, jotta suunnittelija saa kuvan mitä on etsimässä ja mitä eri suunnittelutehtävissä on otettava huomioon. Perehdytysopas on koostettu siten, että siinä kerrotaan mistä tieto löytyy, mutta suoria vastauksia ei juurikaan anneta. Näin vältetään vanhentuneen tiedon käyttö, kun ohjeet aina uudistuvat.

Työn lopputuloksena on materiaali, jonka avulla uusi suunnittelija voi itsenäisesti tutustua toimialaan ja sen suunnittelutehtäviin sekä etsiä lisätietoa suunnittelutehtävien tekemiseen. Suunnittelija voi perehtyä materiaaliin kokonaisuudessaan tai tarvittavilta osin riippuen suunnittelijan taustasta, työtehtävistä ja työtilanteesta. Perehdytysopas otsikoidaan selkeästi, jotta tarvittavat tiedot olisi mahdollisimman helppo löytää. Myös "etsi" -toimintoa voi käyttää. Materiaalin alussa sisällysluettelon

jälkeen on eroteltu osuudet, joihin voisi perehtyä kokonaisuudessaan sekä osuudet, joihin voisi perehtyä tarvittavilta osin. Tätä perusjakoa on tietenkin syytä muuttaa tarvittaessa suunnittelijakohtaisesti perustuen esimerkiksi osaamistasoon ja työtehtävään. Esimerkiksi jos työtehtävä liittyy teräsrakenteiden piirustusten editointiin, tulisi suunnittelijan perehtyä teräsosioon sekä mallinnus- ja piirustusohjeisiin, mutta esimerkiksi betoniosion voisi jättää myöhempään ajankohtaan. Materiaalin alussa on taulukko, johon voi tarvittaessa merkitä tutustuttavat osiot suunnittelijakohtaisesti.

Työn on tarkoitus olla ensimmäinen vaihe suunnittelutoimiston laajempaa perehdytysmateriaalia. Myöhemmin on tarkoitus luoda vastaavia perehdytys- ja tietopankkimateriaaleja myös muille suunnittelualoille, kuten prosessi-, layout-, mekaaninen-, putkisto-, LVI-, sähkö-, infra- ja arkkitehtisuunnittelu. Lisäksi rakennesuunnitteluosuutta tullaan täydentämään puurakenteiden osuudella, koska puun käyttö lisääntyy jatkuvasti myös prosessiteollisuudessa kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti.

1.4 AFRY

AFRY on kansainvälinen suunnittelu- ja konsulttitoimisto, joka toimii laaja-alaisesti monilla sektoreilla keskittyen kuitenkin vahvasti teollisuuteen.

AFRYn tavoite on vauhdittaa yhteiskunnan muutosta kohti kestävästä yhteiskuntaa. AFRYn monialainen osaaminen kattaa suunnittelualat aina siltojen, rakennusten ja energiaratkaisujen suunnittelusta kiertotalousjärjestelmien jalostamiseen. AFRYn tausta on vahvasti suunnittelutyössä ja asiantuntemus monialaista, minkä ansiosta monimutkaistenkin haasteiden ratkaisu on mahdollista. AFRYlla on 19 000 asiantuntijaa 40 maassa ja Suomessa heitä on noin 3000. AFRYn toimistoja on Suomessa 30 paikkakunnalla ja pääkonttori sijaitsee Tukholmassa Ruotsissa. AFRYn toiminta koostuu viidestä diviisioonasta, joita ovat prosessiteollisuus, rakennettu ympäristö, energia, liikkeenjohdon konsultointi sekä teolliset ja digitaaliset ratkaisut. (AFRY Ab 2024a.)

Opinnäytetyö keskittyy AFRYn diviisioonista prosessiteollisuuteen, jonka rakennesuunnittelijoiden käyttöön perehdytysopas on suunnattu. Työn sisältö kattaa prosessiteollisuudelle tyypillisiä rakennesuunnittelukohteita sekä prosessiteollisuusympäristön erityispiirteitä. Rakennus- ja rakennesuunnittelu ovat prosessiteollisuuden keskeisiä osa-alueita.

AFRYlla tehdään asiakkaita palvelevaa uudis- ja korjausrakentamista. Rakennesuunnitteluun kuuluu kiinteistöille, teollisille prosesseille ja liikenteelle suunniteltavat tarkoituksenmukaiset rakennukset, niiden rungot ja vaipat sekä muut prosessia tukevat rakenteet. Prosessiteollisuudessa rakennesuunnittelijat suunnittelevat prosessin ympärille rakennukset ja rakenteet, jotka vastaavat prosessin vaatimuksia ja huomioivat jokaisen laitoksen erityispiirteet. Suunnittelussa otetaan huomioon kohteen sijainti, aikataulu, budjetti, tekniset tavoitteet ja käyttötarkoitus. Rakennesuunnittelun keskeisiä käsitteitä ovat rakenteen vakaus, suunniteltukäyttöikä, terveellisyys, kestävän kehityksen mukaiset tavoitteet, kuten kiertotalous ja materiaalihokkuus. AFRYlla rakennesuunnitteluprosessi voi kattaa esisuunnittelun, investointivaiheen suunnittelun, kunnossapidon suunnittelun, muutossuunnittelun ja lopulta myös purkusuunnittelun. (AFRY Ab 2024b.)

2 PEREHDYTYS JA HILJAINEN TIETO

Perehdyttäminen käsitteenä kattaa usein alku- ja yleisperehdytyksen sekä työhönopastuksen. Vaikka perehdyttäminen on perinteisesti liitetty työaloiutukseen, kattaa se myös tilanteet, joissa työtehtävät muuttuvat organisaation sisällä. Myös pidemmät poissaolot, kuten perhevapaa tai sairausloma, voivat aiheuttaa perehdytystarvetta työntekijän palatessa töihin. (Kupias & Peltola 2009, 17–18.) Opinnäytetyönä tehty perehdytysopas on suunnattu vastavalmistuneille, eri ympäristöistä ja työtehtävistä siirtyville rakennesuunnittelijoille sekä pidemmiltä vapailta palaaville rakennesuunnittelijoille, jotta he pääsevät tehokkaasti alkuun työtehtävissään.

Perehdytysprosessi on yksi välineistä, joilla organisaatiot pyrkivät kohti tavoitteitaan ja strategioitaan. Perehdytyksen tulisi olla saumaton osa organisaation toimintaa eikä jäädä irralliseksi prosessiksi. (Eklund 2018, 27.) Perehdytysprosessi koostuu kuudesta osuudesta, joita ovat tutustuminen organisaation toimintaan, prosessien ja käytänteiden oppiminen, verkostoiden muodostaminen, vastualueiden ja tavoitteiden läpikäyminen, kehittymisen seuranta perehdytyksen aikana sekä työtehtäviin opastaminen. Osa-alueilla on erilaisia painotuksia eri organisaatioissa, ja kaikki osa-alueet linkittyvät vahvasti toisiinsa. (Eklund 2018, 92–93.) Yrityksellä on uudelle työntekijälle suunnattua yleisperehdytysmateriaalia, jossa on esitelty yrityksen arvoja, strategiaa ja organisaatiota. Perehdytykseen kuuluu myös eri järjestelmien esittely, kuten yrityksen sisäisenverkon ja tuntikirjausjärjestelmän esittelyt.

Työtehtävään opastamisella tarkoitetaan käytännön opastusta kyseiseen työtehtävään, kuten erilaisen käytänteiden, toimintatapojen ja tekniikoiden opastusta. Opastukseen voi kuulua tietoja työn suorittamisesta käytännössä, tietojen ja taitojen kartoittamista, olennaisten asioiden ja työvaiheiden läpikäymistä, työvälineiden esittelyä sekä oikeiden tekotapojen läpikäymistä. Tehtävään opastamisen haasteena voi olla, että joitain asioita pidetään itsestäänselvyyksinä. Tällaisissa tilanteissa erilaiset muistilistat ja työkalut auttavat sekä perehdyttäjää että perehdytettävää. (Eklund 2018, 96–98.) Opinnäytetyössä keskitytään erityisesti työtehtäviin perehdyttämiseen, jota ei yrityksen yleisluontoisessa perehdytyksessä käydä läpi. Tarkoituksena on tarjota suunnittelijalle lähtökohdat itsenäisemmälle työskentelylle sekä oppimiselle.

Perehdytysoppaassa ja materiaalipankissa käydään läpi suunnitteluohjeita, suunnittelutyön perusteita, projektiorganisaatiota, huomioon otettavia asioita ja tyypillisiä suunnittelukohteita sekä annetaan käytännön ohjeita suunnitteluprosessista, laadunvalvonnasta, suunnittelutyöstä ja työvälineiden käytöstä. Yrityksellä on olemassa olevaa koulutusmateriaalia, ja sitä tuotetaan koko ajan lisää. Suunnittelutyössä hyödynnetään myös erilaisia järjestelmiä ja ohjelmia, joiden käyttöön löytyy koulutusmateriaalia. Materiaalissa esitellään myös näitä järjestelmiä, ohjeita ja materiaaleja, jotta kaikilla suunnittelijoilla olisi kattava käsitys tarjolla olevasta materiaalista sekä niiden sijainneista sisäisessä verkossa.

Hiljainen tieto on tietoa, mitä ei välttämättä osata suoraan sanoittaa, tai olla edes tietoisia sen olemassaolosta. Hiljainen tieto koostuu asioista, kuten kokemuksen tuoma intuitio, oletukset, aavistukset ja näppituntuma. Tällaista tietoa on runsaasti jokaisella työntekijällä, ja se voi liittyä esimerkiksi toimintatapoihin, käytänteisiin ja kirjoittamattomiin sääntöihin. Tämä tieto olisi hyvä saada siirrettyä

myös uusille työntekijöille, koska se on usein tärkeässä asemassa työssä suoriutumisen näkökulmasta. Kokenut työntekijä on usein käynyt työssään useita yritys ja erehdys -kierroksia kartuttaessaan osaamistaan, ja jos tämä tieto saadaan siirrettyä uudelle työntekijälle, voi hän välttyä samoilta erehdyksiltä ja oppia tehtävän nopeammin. (Eklund 2018, 154–155.)

Yrityksen suunnittelijoilla on hyvin kattava osaaminen teollisuuden haastavista ja monipuolisista suunnittelutehtävistä. Toimistoilla on suunnittelijoita, joilla on kokemusta teollisuuden suunnittelu-tehtävistä monien vuosien ajalta, ja tästä on kertynyt hyvin laaja osaaminen sekä hiljainen tieto. Nämä olisi erittäin hyvä saada osaksi materiaalia. Henkilöstön vaihtuminen on osa toimistojen arkea, joten tärkeää osaamista ja tietoa saattaa kadota pitkänlinjantekijöiden mukana sekä uusien osaajien mukanaan tuomaa osaamista ja tietoa saattaa jäädä jakamatta uusille kollegoille. Hiljainen tieto on usein myös juuri nimensä mukaan hiljaista, eli sitä ei voi saada tietoon kuin osaamalla kysyä oikeat kysymykset muilta kokeneemmilta suunnittelijoilta. Tietoa saattaa jäädä jakamatta tai se saattaa selvitä liian myöhään, jolloin suunnitelmia joudutaan korjaamaan ja aikaa kuluu hukkaan. Perehdytysoppaaseen on koottu sekä omaan että kollegoiden kokemukseen perustuvaa hiljaista tietoa eri suunnittelukohteista, suunnittelutyökaluista ja suunnitteluohjeista.

Suunnittelutyö on kauttaaltaan täynnä erilaisia käytäntöjä ja tapoja tehdä asiat tietyllä tavalla. Käytännöt pohjautuvat teoreettiseen tietoon, yrityksen tapaan toimia, asiakasorganisaatioiden toimintaympäristöihin sekä suunnitteluohjelmistojen asettamiin rajoituksiin ja vaatimuksiin. Osa näistä ohjeista on kirjattu ylös, mutta suuri osa niistä on edelleen hiljaisena tietona, joka siirtyy suunnittelijalta toiselle vinkkeinä ja ohjeistuksina työn lomassa. Materiaaliin on koottu tällaisia ohjeita mukaan mahdollisimman laajasti, mutta jatkossa on todennäköisesti tarvetta niitä edelleen täydentää, kun asioita tulee ilmi sitä käytettäessä.

3 PROSESSITEOLLISUUS

Prosessiteollisuus on monipuolinen teollisuudenala, joka kattaa useita toimialoja, joiden ytimessä on raaka-aineiden käsittely ja muuntaminen erilaisten prosessien ja teknologioiden avulla. Prosessiteollisuuden toiminnat ja toimintaympäristöt vaihtelevat merkittävästi riippuen käytetyistä raaka-aineista, valmistettavista lopputuotteista ja hyödynnetyistä teknologioista.

3.1 Prosessiteollisuus divisioona AFRYlla

AFRYn prosessiteollisuus divisioona kattaa hankkeita paperi- ja selluteollisuudessa, metsäteollisuudessa, biopohjaisissa ratkaisuisissa, kuten biojalostuksessa, tekstiilikuituteollisuudessa, kemianteollisuudessa, kaivos- ja metalliteollisuudessa, akkukemikaalien ja akkujen valmistusteollisuudessa, ruoka- ja juomateollisuudessa sekä prosessiteollisuuden oheistoiminnoissa, kuten digitalisaatiossa, turvallisuudessa ja kestävässä kehityksessä. AFRYlla on vuosikymmenten kokemus suunnittelutyössä, konsultoinnissa ja projektijohtamisessa teollisuudessa. AFRYlla prosessiteollisuus divisioonan tavoitteena on etsiä ja kehittää ratkaisuja tehokkuuden sekä kestäväen kehityksen haasteisiin liittyen. AFRYn palvelutarjonta kattaa toimintojen koko elinkaaren ja arvoketjun. Yhteistyö asiakkaan kanssa kattaa elinkaaren alun selvitykset ja strategiset valinnat, hanke- ja toteutussuunnittelun sekä ylläpidon tuen. (AFRY Ab 2024c.) Alla on esitelty prosessiteollisuuden aloista tarkemmin alat, joiden parissa rakennesuunnittelun paikallispalvelut pääosin työskentelevät, vaikka luonnollisesti kaikki prosessiteollisuuden alat tarvitsevat rakennesuunnittelun tarjoamia suunnitteluratkaisuja ja palveluja.

Rakennesuunnittelun tehtävät prosessiteollisuudessa sisältävät prosessien ja niiden oheistoimintojen tarvitsemat rakennukset ja rakenteet, prosessitilat, prosessia tukevat laitetuet, perustukset, huolto- ja säilytys- ja varastorakennukset sekä toimisto-, sosiaali- ja hallintorakennukset.

Paperi- ja selluteollisuus

Sellu tuotetaan pääosin puuraaka-aineesta, joka on uusiutuva ja kestävä luonnonvara. Sellusta jalostetuilla papereilla, pakkausmateriaaleilla ja erilaisilla biopohjaisilla tuotteilla voidaan tarjota kestäviä ja kierrätettäviä vaihtoehtoja fossiilisten raaka-aineiden käytölle. AFRY on mukana suunnittelemassa, kehittämässä ja toteuttamassa parhaan käytössä olevan teknologian mukaisia tuotantolaitoksia. Paperi- ja selluteollisuuteen liittyvät toimeksiannot voivat liittyä esimerkiksi paperiteollisuuteen ja -koneisiin, kartonkiteollisuuteen, sellutehtaisiin, biojalostamoihin, pakkausteollisuuteen, viimeistelytiloihin, käsittelytiloihin, varastointitiloihin, oheisrakennuksiin sekä näihin liittyviin uudistuksiin ja tuotannon muutoksiin. (AFRY Ab 2024d.)

Kemianteollisuus

Kemianteollisuuden hankkeisiin voi kuulua esimerkiksi kemikaalien jalostamista, bulkkimateriaalin prosessointia tai teollisuuslaitoksen jäteveden puhdistamista. Kemianteollisuuteen liittyvät toimeksiannot voivat liittyä esimerkiksi perus- ja hienokemiaan, erikoiskemiaan, petrokemiaan, öljynjalostukseen ja kaasuun. (AFRY Ab 2024e.) Kemianteollisuudessa toimeksiannot voivat liittyä erilaisiin prosessitiloihin, oheisrakennuksiin ja näihin liittyviin tuotannon päivityksiin ja uudistuksiin.

Kaivos- ja metalliteollisuus

Kaivosteollisuus tuottaa raaka-aineita muille teollisuussektoreille. Tyypilliset suunnittelukohteet voivat liittyä esimerkiksi malminetsinnässä kaivosten ja avolouhosten sekä rikastamojen ja sulattojen suunnitteluun, toteuttamiseen ja kunnossapitoon. Kaivos- ja metalliteollisuuden osa-alueisiin kuuluu myös erilaiset kaivoshankkeet, metalliteollisuus, mineraalien käsittely ja vety. (AFRY Ab 2024f.)

Prosessiteollisuuden oheistoiminnot

Prosessiteollisuuslaitosten tuotantoprosessit tarvitsevat erilaisia oheistoimintoja tukemaan niitä. Näitä ovat esimerkiksi lämmön- ja sähköntuotanto, veden ja jäteveden käsittely, teollisuuden rakennukset, toimitilat, infrastruktuuri, logistiikka, energia, digitalisointi sekä työterveys-, turvallisuus- ja ympäristöasiat. (AFRY Ab 2024g.) Rakennesuunnittelu liittyy ja osallistuu näistä useaan yhteistyössä muiden suunnittelualojen kanssa. Kaikki prosessiteollisuuden toiminnot tarvitsevat rakennesuunnitellun tuottamia tukirakenteita ja suojarakennuksia sekä oheistoimintojen tarvitsemia tiloja.

3.2 Projektiorganisaatioiden tyypit

AFRY on globaali- ja lokaalitoimija. Resurssien ja yhteistyökumppaneiden ansioista AFRYlla on mahdollisuus toimittaa suuriakin kokonaisuuksia maailman laajuisesti. Lisäksi AFRYlla on Suomessa kattava paikallispalveluverkosto, joka palvelee lähipalveluna teollisuuslaitoksia pienemmistä toimeksiannoista suuriin projekteihin. (AFRY Ab 2024b.)

Yrityksen toiminta koostuu eri laajuisista projekteista, joita se toteuttaa asiakkailleen monentyyppisillä projektiorganisaatioilla. Projektit vaihtelevat hyvin laajoista ja kattavista usean vuoden pituisista toimeksiannoista pienempiin vain yhden konsultin tai pienen suunnitteluryhmän toteuttamiin niin sanottuihin paikallispalvelutöihin. Paikallispalveluprojekteissa asiakas on lähellä, ja asiakas ja suunnitteluorganisaatio ovat usein tehneet yhteistyötä jo aiemmin. Suunnittelutiimi tunnistaa asiakkaan tarpeet nopeasti ja voi toteuttaa työn hyvinkin nopealla aikataululla, koska suunnittelukohteen ympäristö ja asiakasorganisaatio ovat tuttuja.

Erityisesti pienempikokoiset toimipisteet, paikallispalvelupisteet, keskittyvät palvelemaan lähialueilla sijaitsevia teollisuusalan yrityksiä. Suunnittelutyötä voidaan toteuttaa osittain myös asiakkaan tiloissa ja esimerkiksi lähtötietojen hankinta, yhteydenpito ja työmaavierailut on helppo toteuttaa. Suuremmissa toimipisteissä tehdään sekä suurempia projekteja että lähipalvelutöitä. Nykyteknologia mahdollistaa kaikkien toimistojen suunnittelijoiden osallistumisen myös laajoihin ja usein kansainvälisiin projekteihin, joiden vetovastuu on tyypillisesti suuremmilla toimipisteillä.

Uudisrakentaminen

Paikallispalvelutoimintaan kuuluu erilaiset uudisrakennushankkeet. Tyypillisesti paikallispalveluiden uudisrakennushankkeet tulevat osaksi olemassa olevia tuotanto, tehdas- ja kaivosalueita. Tuotannossa tai prosessissa voi esimerkiksi tapahtua muutoksia, päivityksiä tai laajennuksia, jotka tarvitsevat uusia prosessitiloja tai oheistoimintoja, kuten sähkö- ja varastotiloja. Kun rakennetaan olemassa

oleville tehdasalueille, on tärkeää huomioida olemassa olevat rakenteet ja rakennukset, jotta vältetään yhteentörmäyksiltä. Uudisrakennushankkeet kattavat myös toimeksiannot, joissa rakennetaan kokonaan uusia prosessiteollisuuden laitoksia ja alueita. Uudisrakentamisen työtehtävät kattavat teräs-, betoni- ja puurakenteet sekä niiden yhdistelmä rakenteet.

Korjausrakentaminen ja kunnossapito

Paikallispalvelutoimintaan kuuluu korjausrakentaminen ja kunnossapito, joissa olevia prosessiteollisuuden liittyviä rakennuksia ja rakenteita korjataan ja muutetaan esimerkiksi tuotannossa tapahtuvien muutosten ja korjaustöiden takia. Korjausrakentaminen ja kunnossapito koostuvat rakennusten ja tukirakenteiden tämänhetkisen kunnon selvittämisestä, vanhoihin suunnitelmiin tutustumisesta, muutostarpeen kartoittamisesta ja tarvittavien korjaus- ja muutostoimenpiteiden suunnittelusta. Korjausrakentamisen työtehtävät kattavat teräs-, betoni- ja puurakenteet sekä niiden yhdistelmä rakenteet, mutta myös nykyisin harvinaisemmat materiaalit, joita on ollut aiemmin käytössä. Työtehtävät ovat hyvin vaihtelevia.

3.3 Liittyvät suunnittelualueet

Rakennesuunnittelija tekee yhteistyötä muiden suunnittelualueiden osaajien kanssa, joten on hyvä pääpiirteittäin tuntea liittyvien suunnittelualueiden työtehtävien, osaamisalueiden ja roolien merkitys rakennesuunnittelulle ja suunnitteluprosessille. Kaikkien mukana olevien suunnittelualueiden olisi hyvä olla mukana suunnitteluprosessissa heti sen alusta lähtien, jotta kaikki oleellinen tulisi huomioitua heti lähtötilanteessa. Usein kuitenkin eri alojen suunnittelijat liittyvät mukaan prosessiin sen eri vaiheissa. Käytännössä kaikki rakennesuunnittelutehtävät tarvitsevat lähtötiedot muilta suunnittelualueilta, joten on tärkeää, että rakennesuunnittelutyö aloitetaan vasta, kun tarvittavat lähtötiedot ovat saatavilla.

Prosessisuunnittelu

Prosessisuunnittelussa asiakkaan asettamien laatuvaatimusten ja kestävän kehityksen pohjalta suunnitellaan toimiva prosessi. Huomioon otetaan laatuvaatimuksiin liittyvät seikat, kuten yleinen laatu, kustannukset, kapasiteetti, turvallisuus sekä energian ja raaka-aineiden käyttö. Prosessisuunnittelu tuottaa dokumentaation lähtötiedoksi muille suunnittelualueille sekä laitehankintaan. (AFRY Ab 2024h.)

Rakennesuunnittelu voi konsultoida prosessisuunnittelua heti prosessin alkuvaiheesta lähtien, jotta tarvittavat tukirakenteet ja rakennusten kantavat rungot pääpiirteittäin saadaan määritettyä. Varsinaisen rakennesuunnittelutyön on järkevää aloittaa kuitenkin vasta myöhemmässä vaiheessa projektia, jotta mahdollisimman suuri osa tarvittavista lähtötiedoista on saatavilla, eivätkä ne muutu enää oleellisesti. Joskus on kuitenkin mahdollista, että suunnittelualueet etenevät eri tahtiin, mikä voi hankalimmassa tapauksessa aiheuttaa tarvetta muuttaa ja päivittää suunnitelmia jopa useaan kertaan.

Layout-suunnittelu

Prosessin määrittelyn jälkeen layout-suunnittelussa määritellään päälaitteiden sijoittelu. Layout-suunnittelussa toteutettavassa tehdaslayoutissa esitetään tehdasalueen tilankäyttö, jotta voidaan tehdä yksityiskohtaisempia tarkasteluja ja esimerkiksi eri viranomaisille esitettäviä lupahakemuksia. Tehdaslayoutissa esitetään rakennusten, rakennelmien ja kiinteiden yhteyksien sijainnit, liikennejärjestelyt ja maasto-olosuhteet. Tehdaslayoutissa huomioidaan tuotantoprosessien tilavaateet, olemassa olevat rakenteet ja rakennukset, tehtaan vaikutus ympäristöön, voiman jakelu, raaka- ja jäteveden käsittely sekä lainsäädännöt ja säännöt, jotka vaikuttavat lupiin. (AFRY Ab 2024i.)

Rakennesuunnittelu saa layoutissa tarvitsemiansa lähtötietoja suunnitteluun. Layoutissa esitetään muun muassa tarvittavien tuotantotilojen ja -rakennusten, tukirakenteiden, putkisiltojen, kannakkeiden ja huoltoreittien sijainnit sekä tilatarpeet, osa kuormituksista, palokuormat ja huollon tarpeet.

Rakennesuunnittelukohteita, jotka liittyvät layout-suunnitteluun:

- tuotantorakennukset ja prosessitilat
- huoltorakennukset ja varastotilat
- sähkö- ja muuntajatilat
- liittyvien toimintojen tilat, kuten toimisto- ja sosiaalitalat
- putkisillat
- porrastornit
- hoito- ja huoltotasot

Arkkitehtisuunnittelu

Teollisuuskohteiden arkkitehtisuunnittelussa on tärkeintä huomioida tuotantoprosessi, käytettävät materiaalit ja laitteet, tuotantohenkilöstön tarpeet, turvallisuus ja ympäristönäkökohdat. Teollisuuden hankkeissa arkkitehtisuunnittelu koostuu suunnitteluprosessista, jossa luodaan yksityiskohtaiset suunnitelmat rakennuksen tai rakenteen rakentamista varten. Arkkitehti tekee tiivistä yhteistyötä prosessi- ja rakennesuunnittelijoiden kanssa, kun tehdään suunnitelmia teollisuusrakennusten arkkitehtuurista, tilajärjestelyistä ja teknisistä vaatimuksista. (AFRY Ab 2024j.)

Arkkitehtisuunnitteluun kuuluu toiminta kuntien viranomaisten kanssa, kuten rakennuslupaprosessit. Lupaa varten tehdään tarvittavat selvitykset ja lupakuvat kuten asemapiirustus, pohjapiirustukset, julkisivupiirustukset, leikkauspiirustukset, huonekaaviot sekä ovi- ja ikkunakaaviot. Näissä asiakirjoissa on esitetty rakennuksen ulkonäkö, sijainti, korkotasot, poistumistiet, pinta-alat, rakennetyypit, paloluokat, savunpoisto ja julkisivun värit. Arkkitehti laatii suunnitelmat prosessin vaatimusten perusteella. Rakennesuunnittelija toimii tiiviissä yhteistyössä arkkitehdin kanssa rakennuksen rakennetyypejä sekä kantavan rungon ominaisuuksia ja yksityiskohtia määriteltäessä. Arkkitehti on mukana työtehtävissä, joissa suunnitellaan uudisrakennuksia tai olemassa olevien rakennusten korjausrakentamista, laajentamista tai käyttötavan muutoksia. Muut toimeksiannot kuten laiteperustukset ja tukikehikot tehdään tyyppillisesti ilman arkkitehtisuunnittelun osallistumista.

Mekaaninen ja putkistosuunnittelu

Mekaanisessa suunnittelussa suunnitellaan tehtaiden koneet ja laitteet, jotka eivät kuulu laitevalmistajien toimituksiin. Tällaisia suunnittelukohteita ovat esimerkiksi räätälöidyt säiliöt ja laitteet, kuten silot, suppilot ja kanavat. Mekaaninen suunnittelu kattaa myös lujuuslaskennan. (AFRY Ab 2024k.)

Putkistosuunnittelussa suunnitellaan päälaitteiden väliset pääputkireitit ja muut putkiston osa-alueet. Putkistoille suunnitellaan teknillisesti ja taloudellisesti paras reitti. Lujuuslaskennalla varmistetaan putkistojen kestävyys ja optimaalinen tuenta. Putkireitit voivat sijaita laitosten sisällä, veden alla upotuslinjoissa, maa- tai kalliokaivannoissa ja putkisilloissa. (AFRY Ab 2024k.)

Mekaaniseen ja putkistosuunnitteluun kuuluu yleensä "primaari" kannakkeiden suunnittelu, eli kannakkeiden, joihin putkistot välittömästi kiinnittyvät. Rakennesuunnittelu jatkaa yleensä tästä rajapinnasta eteenpäin. Rakennesuunnittelun tehtäviin kuuluu suunnitella laitteille ja putkistoille tarvittavat tukirakenteet, kuten erilaiset "sekundaari" kannakoinnit, putkisillat ja tukikehikot sekä perustukset. Rakennesuunnittelu saa tarvittavat lähtötiedot tukirakenteiden sijainneille, niitä rasittaville kuormille ja tarvittaville kiinnityksille mekaaniselta ja putkistosuunnittelulta.

Rakennesuunnittelukohteita, jotka liittyvät mekaaniseen ja putkistosuunnitteluun:

- laiteperustukset
- putkisillat
- tukikehikot ja perustukset
- kannakkeet
- seinä- ja kattoläpiviennit tukirakenteineen
- hoito- ja huoltotasot

Laitetoimittaja

Prosessiteollisuuden projekteissa on mukana laitetoimittajia. Laitetoimittajien toimitukseen kuuluvat erilaiset prosessilaitteet, joita voivat olla esimerkiksi pumpput, suodattimet, lämmönvaihtimet, venttiilit, kuljettimet ja säiliöt.

Rakennesuunnittelukohteita, jotka liittyvät laitetoimittajien laitetoimituksiin:

- laiteperustukset
- suojarakennukset ja -rakenteet
- tukikehikot ja perustukset
- seinä- ja kattoläpiviennit tukirakenteineen
- hoito- ja huoltotasot

LVI-suunnittelu

LVI-suunnitteluun kuuluu rakennusten lämmityksen, jäähdytyksen, ilmastoinnin, tuuletuksen, viemäroinnin ja juomaveden saannin suunnittelu. (AFRY Ab 2024l.)

LVI-vaatimukset teollisuuskohteissa eroavat kiinteistöjen LVI-vaatimuksista, koska esimerkiksi lämpö- ja kosteuskuormat voivat olla hyvinkin suuria, joten myös niitä palvelevat kanavoinnit ja putket voivat olla pinta-alaltaan massiivisempia.

Rakennesuunnittelun tehtävät liittyen LVI-suunnitteluun ovat yleensä tarvittavien tukirakenteiden, kannakkeiden, huoltotasojen ja läpivientien suunnittelua.

Rakennesuunnittelukohteita, jotka liittyvät LVI-suunnitteluun:

- tukikehikot ja perustukset
- kannakkeet
- seinä-, katto- ja lattialäpiviennit tukirakenteineen
- hoito- ja huoltotasot

Sähkö- ja automaatio suunnittelu

Sähkösuunnittelussa suunnitellaan sähköjakelu alueelle. Sähkö voi olla lähtöisin laitoksen omasta voimalaitoksesta tai ulkopuoliselta sähköntoimittajalta. AFRYlla sähkösuunnittelu kattaa suurjännite- ja keskijännitejohdot, maa- ja ilma-kaapelit sekä sähkökeskusten ja muuntajien suunnittelun ja mitoituksen. Sähkönjakelun mitoitus kattaa myös prosessisähköistyksen prosessin vaatimusten mukaisesti. (AFRY Ab 2024m.)

Automaatio suunnittelu kattaa prosessin kokonaisautomatisoinnin, mihin kuuluu prosessin turvallinen ja luotettava ohjaus, valvonta ja säätö. Automaatio voi ohjata useiden eri laitetoimittajien koneita toimimaan yhdessä. Automaatio suunnittelu tukee moottoreiden ja koneiden optimaalista käyttöä ja esimerkiksi huoltotilastointi voi ilmoittaa huoltotarpeesta jo etukäteen. (AFRY Ab 2024m.)

Rakennesuunnittelun sähkö- ja automaatio suunnitteluun liittyvät tehtävät ovat erilaisia sähköhyllyjen kannakkeiden ja tukirakenteiden suunnittelua sekä läpivientien suunnittelua. Prosessiteollisuudessa sähköntuotannolle suunnitellaan erilliset rakennukset tai muut tarvittavat tilat osana muuta rakennus- ja rakennesuunnittelua. Näissä tiloissa sijaitsevat myös muuntajatilat, joilla on erityisen korkeat paloluokkavaatimukset. Lisäksi rakennesuunnittelu suunnittelee kiinnityspaikat erilaisille ohjauksyksiköille, valaisimille ja maadoitukselle.

Rakennesuunnittelukohteita, jotka liittyvät sähkö- ja automaatio suunnitteluun:

- tukikehikot ja perustukset
- kannakkeet
- seinä-, katto- ja lattialäpiviennit tukirakenteineen
- hoito- ja huoltotasot
- maadoitus

Infrasuunnittelu

Prosessiteollisuuteen liittyvä infrasuunnittelu kattaa väylien, maanalaistilojen, teollisuusinfran sekä pohja- ja ympäristörakentamisen suunnittelua. Väyläsuunnitteluun teollisuudessa kuuluu mm.

tiet, kadut ja alueet ja näihin liittyvä kunnallistekniikka. Lisäksi infrasuunnitteluun kuuluu tunnelit, geotekniikka ja ympäristösuunnittelu. Pohjatutkimusten ja maastomittausten tekeminen on olennainen osa infrasuunnittelua. (AFRY Ab 2024n.)

Rakennesuunnittelu saa infrasuunnittelun tekemistä pohjatutkimuksista tarvittavia lähtötietoja esimerkiksi maanvaraisten rakenneosien ja perustusten suunnitteluun, kuten sallitun pohjapaineen. Infrasuunnitteluun kuuluu yleensä myös maanpinnan pinnantasaussuunnitelma ja vedenohjaus. Nämä voivat omalta osaltaan vaikuttaa rakennesuunnittelussa tehtäviin ratkaisuihin, kuten rakennusten, rakenteiden ja perustusten korkoasemiin, kokoihin sekä tukirakenteiden sijainteihin. Salaojat ovat yleinen ”rajapinta” rakennesuunnittelun ja infrasuunnittelun välillä, joten niiden suunnitteluvastuu on hyvä tarkentaa erikseen.

Rakennesuunnittelukohteita, jotka liittyvät infrasuunnitteluun:

- perustukset
- laite-, säiliöperustukset
- maanvaraiset laatat
- tukimuurit

3.4 Tyypillisiä suunnittelukohteita

Suunnittelukohteet prosessiteollisuudessa eroavat muista rakennetun ympäristön suunnittelutoimeksiantoista, koska ne liittyvät yleensä eri prosesseja tukeviin rakenteisiin ja rakennuksiin. Liitteessä on esitelty prosessiteollisuudelle tyypillisiä suunnittelukohteita tarkemmin. (LIITE 1.)

Teräsrakenteet prosessiteollisuudessa liittyvät laitteiden tuentoihin, prosessirakennuksiin, tukitoimintojen rakennuksiin sekä huoltotöiden ja käytön mahdollistaviin kulku- ja hoitotasoihin. Teräsrunkoiset rakennukset ovat yleisiä teollisuuskohteissa, koska ne ovat nopeita rakentaa ja niihin on helppo tehdä muutoksia käyttötarpeiden muuttuessa. Muita teräsrakenteita prosessiteollisuudessa ovat muun muassa erilaiset porrastornit, suojakaiteet, portaat, tikkaat, putki- ja kaapelisillat, laitteiden tukikehikot sekä nosturiradat.

Myös betonirunkoiset rakennukset ovat yleisiä teollisuuskohteissa niiden massiivisuuden vuoksi, mikä antaa niille muun muassa hyvän lujuuden, ääneneristävyyden ja palonkeston. Betonirunkoisten rakennusten runko voi koostua kantavista seinistä, pilari-palkkirungosta tai niiden yhdistelmästä. Perustukset ovat tyypillisesti paikallavalurakenteita ja ylemmät kerrokset elementtirakenteisia. Erityistapauksissa myös ylemmät kerrokset voivat olla paikallavalettuja, jotka on toteutettu esimerkiksi liukuvalurakenteina. Muita paikallavalettuja betonirakenteita prosessiteollisuudessa voivat olla erilaiset perustukset, kuten kone-, laite- ja säiliöperustukset, maanvaraiset laatat, suoja-altaat ja tukimuurit.

Myös niin kutsutut yhdistelmärakenteet ovat yleisiä. Yhdistelmärakeissa voidaan samassa rakennuksessa hyödyntää paikallavalua, betonielementtejä, terästä ja puuta. Esimerkiksi kantava pilari-palkkirunko voi olla yhdistelmä betoni-, teräs- ja puurakenteita, kun perustukset ovat paikallavalurakenteita, pilarit teräsbetonielementtejä, kattopalkit puuta ja seinien tuulisiteet terästä.

3.5 Asiantuntijuus prosessiteollisuuden rakennesuunnittelussa

Prosessiteollisuuden rakennesuunnittelussa on tarjolla laajasti erilaisia erikoistumis- ja urakehitysvaihtoehtoja riippuen suunnittelijan taidoista ja kiinnostuksenkohteista. Teräs ja betoni ovat perinteisesti olleet prosessiteollisuuden pääasialliset rakennusmateriaalit, mutta myös puurakentaminen lisääntyy koko ajan, vaikka se onkin vielä vähäisempää verrattuna muihin materiaaleihin.

3.5.1 Rakennesuunnittelun urapolut

Rakennesuunnittelussa prosessiteollisuudessa on mahdollista erikoistua eri rakennusmateriaaleihin, rakennusfysiikkaan, lujuuslaskentaan ja projektinjohtotehtäviin korjaus- ja uudisrakentamisessa. Rakennesuunnittelutehtävät prosessiteollisuudessa ovat monipuolisia, vaihtelevia ja haastavia, koska prosessilaitteita on monenlaisia, ympäristöt ovat vaihtelevia ja asiakasyritysten tarpeet ja toiveet eroavat toisistaan. Työtehtävät kattavat usein monia osa-alueita, joten vaikka suunnittelija olisikin erikoistunut esimerkiksi johonkin tiettyyn materiaaliin, pääsee suunnittelutyössä tekemään monipuolisesti myös muiden osa-alueiden suunnittelua.

Harjoittelija

Suunnittelutoimistot tarjoavat harjoittelijoille rakennesuunnittelun alalla monipuolisia oppimis- ja kehittymismahdollisuuksia osana ammattitaitoista tiimiä. Rakennesuunnittelijan ura alkaa harjoittelijan roolissa usein jo ennen alan opintojen valmistumista. Toimistoilla on monenlaisia urapolkuohjelmia ja työmahdollisuuksia, joissa harjoittelijat pääsevät kokeilemaan erilaisia työtehtäviä, osallistumaan projektitiimien työskentelyyn ja kehittymään suunnittelijoina. Harjoittelun aikana voidaan tarjota myös mahdollisuus lopputyön tekemiseen.

Harjoittelija toimii osana suunnittelijatiimiä monipuolisissa rakennesuunnittelun tehtävissä. Työtehtävät voivat vaihdella projekteista, toimistoista ja harjoittelijan omista taidoista ja kiinnostuksenkohteista riippuen. Harjoittelijat avustavat suunnittelijoita erilaisissa rakennesuunnittelutehtävissä, joihin voi kuulua esimerkiksi avustavat suunnittelutehtävät, mallintaminen, piirtäminen, piirustusten editointi ja asiakasyhteistyö. Harjoittelijat työskentelevät tiiviinä osana suunnittelutiimiä ja voivat olla osana sekä paikallispalveluiden pienempiä projekteja että suurempia projektikonaisuuksia.

Teräsrakennesuunnittelija

Teräsrakennesuunnittelijan työtehtävät prosessiteollisuudessa koostuvat tyypillisesti erilaisten teräsrunkoisten rakennusten, laitteiden tukirakenteiden, porrastornien, putkisiltojen ja hoitotasojen suunnittelusta. Teräsrakennesuunnittelijan työtehtäviin kuuluu rakenteiden mitoittaminen, mallintaminen, detaljisuunnittelu sekä tarvittavien asiakirjojen tuottaminen, jotta rakenteet on mahdollista toteuttaa ja asentaa paikoilleen.

Betonirakennesuunnittelija

Betonirakennesuunnittelijan työtehtävät prosessiteollisuudessa koostuvat tyypillisesti erilaisten betonirunkoisten rakennusten, perustusten, laiteperustusten, erilaisten laattarakenteiden, suoja-altaiden,

tukimuurien ja betonielementtien suunnittelusta. Betonirakennesuunnittelijan työtehtäviin kuuluu rakenteiden mitoittaminen, mallintaminen, detaljisuunnittelu sekä tarvittavien asiakirjojen tuottaminen, jotta rakenteet on mahdollista toteuttaa työmaalla sekä valmistaa tehtaalla ja asentaa paikoilleen kohteeseen.

Puurakennesuunnittelija

Puurakennesuunnittelijan työtehtävät prosessiteollisuudessa koostuvat tyypillisesti erilaisten puurunkoisten rakennusten, puuelementtien ja kattorakenteiden, kuten kattopalkkien, kattotuolijaon sekä räystäsrakenteiden suunnittelusta. Puurakentaminen on perinteisesti prosessiteollisuudessa ollut vähäisempää, mutta lisääntyy kestäväen kehityksen ja ympäristöarvojen muutosten myötä koko ajan. Puurakennesuunnittelijan työtehtäviin kuuluu rakenteiden mitoittaminen, mallintaminen, detaljisuunnittelu sekä tarvittavien asiakirjojen tuottaminen, jotta rakenteet on mahdollista valmistaa ja toteuttaa työmaalla.

Lujuuslaskija

Rakennesuunnittelussa on mahdollista erikoistua myös rakenteiden mitoittamiseen ja lujuuslaskentaan. Prosessiteollisuuteen suunnitellaan teknisesti hyvinkin vaativia rakenteita, jotka vaativat erityistä laskenta- ja mitoitusosaamista. Prosessiteollisuudessa tällaisia rakenteita voivat olla esimerkiksi suuret hallit, korkeat tornit ja niiden perustukset, maanalaiset rakennuskohteet, dynaamisesti kuormitetut rakenteet, suurten ajoneuvojen aiheuttamat rasitukset ja niiden tarvitsemat rakenteet, suurten säiliöiden perustukset sekä haastavat liittymät uusien ja olemassa olevien rakenteiden välillä.

Rakennusfysiikka

Rakennusfysiikkaan liittyvät työtehtävät vaativat ymmärrystä rakennusfysiikan periaatteista ja niiden soveltamisesta. Rakennusfysiikan toimenkuvaan voi kuulua esimerkiksi työtehtävät, jotka liittyvät materiaalien ja rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen suunnitteluun, liitosten suunnitteluun, ääneneristysratkaisujen suunnitteluun, energiatehokkuuden optimointiin sekä erilaisten rakennusmateriaalien ja rakenteiden fysikaalisten ominaisuuksien arviointiin. Rakennusfysiikkaan erikoistuneen suunnittelijan osaamista tarvitaan sekä uudis- että korjausrakentamisessa.

Työmaavalvonta

Rakennesuunnittelijalla on tärkeä rooli työmaavalvonnassa. Rakennesuunnittelijan tehtävänä on valvoa esimerkiksi työmaakatselmusten avulla, että suunnitellut rakenteet toteutetaan suunnitelmien mukaisesti ja että ne täyttävät vaaditut laatu- ja turvallisuusstandardit. Rakennesuunnittelijan osaminen työmaalla auttaa varmistamaan, että rakennusprojekti etenee sujuvasti, ja että lopputulos vastaa asiakkaan odotuksia ja tarpeita. Rakennesuunnittelija voi osallistua työmaalla myös mahdollisten suunnitelmamuutosten hallintaan ja niiden vaikutusten arviointiin, jotta rakennustyö etenee saumattomasti.

Projektipäällikkö, projektin johtaminen

Projektipäällikön rooli prosessiteollisuuden projekteissa on varmistaa projektin onnistuminen suunnitteluvaiheesta toteutukseen ja käyttöönottoon. Heidän vastuullaan on varmistaa, että projekti etenee sujuvasti, pysyy budjetissa ja on asiakkaan toiveet ja odotukset täyttävä. Projektipäälliköt johtavat projektitiimiä ja toimivat linkkinä asiakkaan sekä muiden sidosryhmien välillä. Projektipäällikön tehtäviin kuuluu projektin aikataulun suunnittelu, resurssienhallinta, projektitiimin johtaminen ja koordinointi, riskien hallinta sekä laadunvalvonta.

Projektipäälliköllä on oltava hyvin laaja asiantuntemus eri suunnittelualoista, rakennusmateriaaleista, erityyppisistä rakenteista, suunnittelu- ja rakennusprosesseista sekä johtotehtävissä toimimisesta. Projektipäällikön tehtävät voivat vaihdella pienempien projektien vetämisestä suurten projektien johtamiseen.

3.5.2 Pätevyudet

Rakennusalalla on käytössä suunnittelijoiden osaamiseen liittyviä pätevyysvaatimuksia. Koulutukseen ja työkokemukseen liittyviä pätevyksiä voivat myöntää erilaiset riippumattomat yhdistykset. Rakennusvalvontaviranomaiset voivat vaatia suunnittelijan ammattitaidon osoittamisen esimerkiksi FISEn myöntämien pätevyksien avulla.

FISE toteaa lakiin ja sitä täydentäviin asetuksiin ja ohjeistuksiin perustuvia suunnittelijoiden, työnjohtajien ja muiden asiantuntijoiden pätevyksiä, ja ylläpitää pätevyysrekisteriä sekä rakennusvirhepankkia. FISEn tavoitteena on rakentamisen laadun parannus ja rakennusalalla toimivien henkilöiden kehittymisen edistys. Julkisessa pätevyysrekisterissä on nähtävissä myönnetyt ja voimassa olevat pätevyudet. (FISE 2024.)

FISE-pätevyudet suunnittelijoiden osalta jaetaan 34 erilliseen suunnittelijapätevyYTEEN. Erilaisia suunnittelupätevyksiä ovat esimerkiksi betonirakenteiden, teräsrakenteiden, puurakenteiden suunnittelijat sekä rakennusfysiikan suunnittelija. Osa pätevyyksistä jaetaan edelleen erillisiin pätevyksiin uudisrakentamisen ja korjausrakentamisen osalta. Pätevyysluokat ovat tavanomainen, vaativa (V ja V+) ja poikkeuksellisen vaativa. (FISE Pätevyyspalvelu 2024.) Jokaisella pätevyydellä on omat pätevyysvaatimukset, jotka liittyvät koulutukseen ja työkokemukseen.

Uusi rakentamislaki astuu voimaan vuoden 2025 alussa. Lain tarkoitus on sujuvoittaa rakentamista, parantaa rakentamisen laatua sekä vauhdittaa digitalisaatiota ja kiertotaloutta. Uudessa rakentamislainsäädännössä suunnittelijoille ja työnjohtajille on kirjattu lakisääteinen velvoite pätevyden osoittamisesta rakennusvalvontaviranomaiselle sähköisellä pätevyystodistuksella. Ympäristöministeriön valtuuttama kumppani tulee toteamaan uudet lakiin perustuvat henkilöpätevyudet. Rakennusvalvontaviranomainen kuitenkin edelleen toteaa henkilön kelpoisuuden. (FISE 2023.) Vielä on epäselvää mikä taho tulee toteamaan pätevyudet ja miten (Rakennustaito 2023).

Pätevyksien hakemiseen olisi hyvä alkaa varautumaan heti työuran alusta lähtien, koska pätevyksiä haettaessa voidaan vaatia tietoja työnäytteistä eli tehdyistä suunnitteluprojekteista.

4 RAKENTEIDEN SUUNNITTELU

Rakennesuunnittelu pohjautuu erilaisten suunnitteluohjeiden ja standardien soveltamiseen ja tulkinnaan. Työssä keskitytään kokonaisuuden hahmottamiseen ja prosessiteollisuuden tuomiin rakenne-suunnitteluun vaikuttaviin erikoisvaatimuksiin. Rakenteiden mitoitus on rajattu työn ulkopuolelle, koska työstä olisi tullut muuten aivan liian laaja. Mitoitus ei myöskään tyypillisesti kuulu uuden suunnittelijan ensimmäisiin työtehtäviin.

4.1 Suunnitteluohjeet

Suunnittelutoimistoilla on tarjolla käyttöoikeuksia suunnittelussa tarvittaviin standardeihin, normeihin, palveluihin ja suunnitteluohjeisiin. Suunnittelumateriaalia on digitaalisessa muodossa eri palveluissa sekä kirjoina toimistojen kirjastoissa. Lisäksi suunnittelutoimistoilla on tyypillisesti saatavilla sisäistä materiaalia suunnittelutyötä tukemaan. Sisäisissä materiaaleissa voi olla esimerkiksi laadunvarmistus-, mallinnus- ja piirustusohjeita, raporttipohjia, mallidokumentteja ja tarkastuslistoja sekä erilaisia koulutuksia.

4.1.1 Eurokoodit, standardit ja kansalliset liitteet

Eurokoodit ovat eurooppalaisia suunnittelustandardeja, jotka koskevat kantavien rakenteiden suunnittelua. Tällä hetkellä eurokoodisarjassa on 58 osaa, ja ne kattavat varmuuden määrittämisperiaatteet, kuormat sekä yksityiskohtaiset ohjeet rakennusmateriaaleille. Standardien soveltamisessa on käytettävä aina maakohtaisia kansallisia liitteitä, jotka on Suomessa laatinut Ympäristöministeriö talonrakentamisen osalta ja Liikenne- ja viestintäministeriö tien- ja sillanrakentamisen osalta. (Lastunen 2021.)

Eurokoodeista ollaan Suomessa lähivuosina julkaisemassa käyttöön toisen sukupolven eurokoodit. Joitain toisen sukupolven eurokoodeja on jo julkaistu, mutta ne eivät ole vielä käytössä Suomessa, koska niille ei ole tehty kansallisia liitteitä. Toisen sukupolven eurokoodit tullaan ottamaan Suomessa käyttöön vuosina 2027...2028. (Lastunen 2024.)

Perehdytysopasta ja materiaalipankkia päivitetään toisen sukupolven eurokoodien julkaisun jälkeen tarvittavilta osin.

4.1.2 BY-, TRY- ja RIL-julkaisut

Suomen Betoniyhdistys ry, Teräsrakenneyhdistys ry ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry ovat julkaisseet runsaasti suunnittelutyötä tukevia teknisiä ohjeistuksia, kirjoja ja oppikirjoja, joita hyödynnetään jokapäiväisessä suunnittelutyössä.

Betoniyhdistyksen (BY) suunnitteluohjeet liittyvät betonirakentamiseen. Sisällöt liittyvät esimerkiksi betonin ja betonirakenteiden valmistukseen, suunnitteluun, mitoitukseen, laatu- ja työmaaohejeisiin sekä erilaisiin käyttökohteisiin.

Teräsrakenneyhdistyksen (TRY) julkaisut liittyvät teräsrakenteisiin. Sisällöt liittyvät esimerkiksi teräsrakenteiden suunnitteluun, mitoitukseen, valmistamiseen, pintakäsittelyihin ja työmaatoimintaan.

Suomen Insinöörien Liiton (RIL) ohjeet, normit, oppikirjat ja käsikirjat sisältävät tietoa eri rakennusalan osa-alueilta, kuten rakennustekniikasta, suunnittelusta, materiaaleista, mitoituksesta, rakennusfysiikasta, työmaatoiminnasta sekä rakennusalan lainsäädännöstä, johtotehtävistä ja taloudesta.

4.1.3 Rakennustieto RT

Rakennustieto tuottaa tieto-, tuotetieto- ja ympäristöpalveluita rakentamisen, talotekniikan, kiinteistöylläpidon ja infran tarpeisiin. Rakennustiedon palvelusta löytyy ajantasaiset kiinteistö- ja rakennusalan säännökset, ohjeet ja yleiset laatuvaatimukset. Palveluun kuuluu muun muassa RT-kortisto ja RYL. (Rakennustieto julkaisuaika tuntematon a.) RT kortistossa on kattavat ohjeet ja tausta-aineistot rakennus- ja rakennesuunnitteluun, tietoa rakennusosien fysikaalisesta toiminnasta ja esimerkkejä rakenteista. Lisäksi palvelussa on rakentamista koskevaa lainsäädäntöä ja säännöksiä. (Rakennustieto julkaisuaika tuntematon b.)

RT-kortistoa käytetään suunnittelutyössä esimerkiksi tuotetietojen tarkastamiseen, hyvän rakennustavan mukaisten rakenteiden ja tyyppidetallien mukaiseen suunnitteluun sekä erityisrakenteiden ominaisuuksien ja suunnitteluohjeiden selvittämiseen. RT-palvelussa on koottuna kattava, laadukas ja luotettava tietopankki, jonka ajantasaisuudesta vastaa Rakennustieto.

4.2 Rajatilamitoitus

Rakenteiden mitoittaminen Eurokoodien mukaisesti perustuu rajatilan käsitteeseen eli rajatilamitoitukseen. Englanniksi rajatilamitoitus on *limit state design*. Rajatilamitoitus perustuu lähtökohtaan, jossa rajatilan ylittyessä rakenne ei enää täytä sille suunniteltuja toimivuusvaatimuksia. Murtorajatila (MRT, ULS *ultimate limit state*) kuvaa rakenteen tai sen osan kestävyyttä, mikä liittyy rakenteen sortumiseen tai muuhun vastaavaan vaurioitumiseen. Käyttörajatila (KRT, SLS *serviceability limit state*) kuvaa rakenteen tai sen osan käyttökelpoisuusvaatimuksia. Kumpikaan rajatila ei saa suunnittelussa ylittyä. (Tiainen & Papula 2020, 52).

Murtorajatilatarkastelussa on huomioitava eri kuormitustapauksissa vaikuttavat kuormien osavarmuuskertoimet pysyville kuormille $\gamma_G=1,15$ ja muuttuville kuormille $\gamma_Q=1,5$. Lisäksi on huomioitava seuraamusluokkien määräämät kuormakertoimet K_{FI} ja kuormien yhdistelykertoimet ψ , kun määrävissä kuormitustapauksissa yhdistellään sellaisten kuormien arvot, joiden voidaan olettaa esiintyvän samanaikaisesti. Myös käyttörajatilatarkastelussa otetaan huomioon kuormien yhdistelykertoimet, kun tarkastellaan määrävissä kuormitustapauksissa samanaikaisesti vaikuttavia kuormia.

Materiaalissa ei käsitellä rakenteiden mitoitusta tarkemmin, mutta esitetään suunnittelussa ja piirustustuottamisessa tarvittavia kertoimia, raja-arvoja ja lähtötietoja.

4.2.1 Rakenteiden kuormitukset ja kuormitusstandardit

Rakenteisiin kohdistuvien kuormitusten ominaisarvot on esitetty standardeissa ja niihin liittyvissä kansallisissa liitteissä. Rakenteiden kuormitukset jaetaan pysyviin kuormiin, muuttuviin kuormiin ja onnettomuuskuormiin. Rakenteiden omapaino ja rakennukseen kiinteästi liittyvien laitteiden painot ovat pysyviä kuormia. Hyötykuormat, lumikuorma ja tuulikuormat ovat muuttuvia kuormia. Palo-kuorma ja mahdolliset maanjäristyskuormat ovat onnettomuuskuormia. (Ongelin & Valkonen 2016, 383.)

Suomessa rakenteiden kuormitukset määritellään eurokoodin kuormitusstandardien ja kansallisten liitteiden mukaisesti:

- SFS-EN 1991-1-1 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- SFS-EN 1991-1-2 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset
- SFS-EN 1991-1-3 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat
- SFS-EN 1991-1-4 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat
- SFS-EN 1991-1-5 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-5: Yleiset kuormat. Lämpötilakuormat
- SFS-EN 1991-1-6 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-6: Yleiset kuormat. Toteuttamisen aikaiset kuormat
- SFS-EN 1991-1-7 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat
- SFS-EN 1991-2 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 2: Siltojen liikennekuormat
- SFS-EN 1991-3 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 3: Nostureiden ja muista koneista aiheutuvat kuormat
- SFS-EN 1991-4 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 4: Siilot ja säiliöt

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisema suunnitteluohje RIL 201-1-2017 Suunnittelu-
perusteet ja rakenteiden kuormat antaa ohjeita Eurokoodien tulkitsemiseen ja niiden mukaiseen
kuormien laskentaan. Suunnitteluohje perustuu Eurokoodeihin SFS-EN 1990, SFS-EN 1991-1-1, SFS-
EN 1991-1-3 ja SFS-EN 1991-1-4. (RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat
2017.)

Prosessiteollisuudessa kuormituksia voi tulla lisäksi esimerkiksi:

- ajoneuvokuormista, kuten raskas kuljetuskalusto, trukit, nostimet, nosturit
- prosessilaitteista, kuljettimista, säiliöistä
- maanpaineesta

Rakenteisiin voi kohdistua erilaisia dynaamisia kuormituksia, jotka on otettava huomioon rakenteita
suunniteltaessa. Erityiset kuormitukset on ilmoitettu suunnittelulähtötiedoissa, standardeissa ja laite-
toimittajien antamissa lähtötiedoissa.

4.2.2 Kuormien yhdistelykertoimet

Rakenteiden mitoitusta tehtäessä kuormien yhdistelyssä käytettävät yhdistelykertoimet ψ on esitetty taulukossa Suomen kansallisen liitteen mukaisesti (TAULUKKO 1).

TAULUKKO 1. Yhdistelykertoimien ψ arvot rakennuksille Suomen kansallisen liitteen mukaan (Ympäristöministeriö 2016, 18).

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6 ^{**})
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30\text{kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3 ^{**})
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3 ^{*)} kun			
$s_k < 2,75$ kN/m ²	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75$ kN/m ²	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma ^{***)}	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
^{*)} Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huomautus: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään ψ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen. ^{**)} Ajokäytävillä $\psi_2 = 0$ ^{***)} Koskee huurtumisesta, jäätävästä sateesta ja räntäsateesta aiheutuvia jääkuormia			

4.2.3 Seuraamusluokat

Seuraamusluokat vaikuttavat rajatilatarkastelussa käytettävien kuormakertoimien K_{FI} suuruuksiin. Seuraamusluokassa CC3 K_{FI} saa arvon 1,1, seuraamusluokassa CC2 K_{FI} saa arvon 1,0 ja CC1 seuraamusluokassa K_{FI} saa arvon 0,9. Kansallisessa liitteessä on määritelty seuraamusluokat rakennuksille ja rakenteille, mastoille ja savupiipuille sekä silloille ja säiliöille. Seuraavassa on esitetty ympäristöministeriön määrittelyt seuraamusluokille (TAULUKKO 2, TAULUKKO 3 ja TAULUKKO 4).

Prosessiteollisuudessa rakenteet ovat yleensä seuraamusluokassa CC2, mutta asia on tarkastettava tapauskohtaisesti suunnittelulähtötiedoista.

TAULUKKO 2. Seuraamusluokkien määritykset rakennuksille ja rakenteille Suomen kansallisen liitteen mukaan (Ympäristöministeriö 2016, 23).

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko ¹⁾ jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten - yli 8-kerroksiset ²⁾ asuin-, konttori- ja liikerakennukset - konserttisalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot - raskaasti kuormitetut tai suuria jänneväljä sisältävät rakennukset. Erikoisrakenteet, kuten esimerkiksi korkeat tornit. Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet, jotka sijaitsevat siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä erityisesti hienorakeisten maalajien alueilla.
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristö-vahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset ²⁾ rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä ³⁾ kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m ² tai suurin jänneväli enintään 6 metriä. Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten - matalalla olevat terassit ja alapohjat, ilman kellaritiloja - ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne - sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana.

¹⁾ pienehköt rakennusrungosta erilliset välipohjat kuuluvat kuitenkin luokkaan CC2 elleivät ne toimi kokonaisuutena jäykistävänä rakenteena.

²⁾ kellarikerrokset mukaan luettuina.

³⁾ tilapäisenä oleskeluna pidetään päivittäistä käymistä rakennuksessa, mutta ei siellä pidempään viipymistä.

TAULUKKO 3. Seuraamusluokkien määrittelyt mastoille ja savupiipuille Suomen kansallisen liitteen mukaan (Ympäristöministeriö 2016, 24).

Seuraamusluokka	Kuvaus	Mastoja ja savupiippuja koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Strategisilla alueilla, kuten teollisuus- tai voimaloiden sijaintipaikoilla tai tiheästi asutuilla alueilla sijaitsevat mastot ja savupiiput. Teollisuusalueilla sijaitsevat merkittävät mastot tai savupiiput, joiden vaurioitumisesta aiheutuvat taloudelliset ja sosiaaliset seuraukset ovat hyvin suuret.
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Mastot ja tavanomaiset savupiiput, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Mastot ja tavanomaiset savupiiput, joiden vaurioituessa ihmisten loukkaantuminen ei ole todennäköistä.

TAULUKKO 4. Seuraamusluokkien määrittelyt siloille ja säiliöille Suomen kansallisen liitteen mukaan (Ympäristöministeriö 2016, 24).

Seuraamusluokka	Kuvaus	Siiloja ja säiliöitä koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Kaupunki- tai taajama-alueella olevat silot ja säiliöt, joiden kapasiteetti on yli 5000 tonnia. Säiliöt, joiden kapasiteetti on yli 100 tonnia ja joiden sisällön lämpötila ylittää 65 astetta. Säiliöt, joiden sisältö on myrkyllistä tai räjähtävää nestettä tai nesteytettyä kaasua.
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Siilot ja säiliöt, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Siilot ja säiliöt, joiden kapasiteetti on ≤ 100 tonnia ja joiden vaurioituessa ihmisten loukkaantuminen ei ole todennäköistä.

4.2.4 Käyttörajojen taipumarajat

Rakenteen toimivuus on murtorajatilan lisäksi tarkastettava myös käyttörajojen taipumarajilla. Rakenteen siirtymät ja taipumat eivät saa olla haitaksi rakenteen toimivuudelle tai ulkonäölle. (Ongelin & Valkonen 2016, 395.) Taipumarajat ovat ohjeellisia ja on suunnittelijan tehtävänä harkita tapauskohtaisesti, onko esimerkiksi tiukemmille raja-arvoille tarvetta vai voidaanko ohjeita tulkita joissakin tapauksissa väljemmin. On siis arvioitava haittojen suuruutta ja mitä taipumista ja siirtymistä voi aiheutua. Tällaisia ovat esimerkiksi heikentynyt ulkonäkö, käyttöhäiriöt tai liittyvien rakenteiden vauriot. (Tiainen & Papula 2020, 56).

Taulukossa on esitetty Ympäristöministeriön kansallisessa liitteessä julkaisemat raja-arvot lopputaipumille ja -siirtymille (TAULUKKO 5). Esikoroituksella voidaan kompensoida pysyvien kuormien aiheuttamaa taipumaa, jos siitä ei aiheudu haittaa (Ympäristöministeriö 2019a, 18).

Eri suunnittelukohteille, suunnitteluympäristöille, projekteille ja erikoisrakennosille, kuten nosturiradoille voi olla lisäksi määritetty tarkempia kohdekohtaisia raja-arvoja, jotka tulee ottaa suunnittelussa huomioon. Tällaiset raja-arvot voidaan esittää asiakasyritysten suunnitteluohjeissa, laiteoimittajien lähtötiedoissa tai laitestandardeissa.

Taipuman ja vaakasuuntaisen siirtymän rajoja prosessiteollisuudessa taulukoitujen lisäksi ovat:

- nosturiradat, taipuma $L/600$
- nosturiradat, vaakasuuntainen siirtymä $H/400$
- prosessilaitteita tukevat palkit, taipuma $L/400$

TAULUKKO 5. Suomen kansallisessa liitteessä annetut raja-arvot lopputaipumille ja -siirtymille (Ympäristöministeriö 2019a, 19).

Rakenne	Taipuman tai siirtymän raja-arvo
Pääkannattajat	
- vesikatoissa ja katoksissa	$L/300$
- välipohjissa	$L/400$
Ulokkeet	$L/150$
Katto-orret	$L/200$
Seinäorret	$L/150$
Muotolevyt	
- katoissa, joissa ei ole vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaaraa	$L/100$
- katoissa, joissa vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaara on olemassa	
- kun $L \leq 4,5$ m	$L/150$
- kun $4,5 \text{ m} < L \leq 6,0$ m	30 mm
- kun $L > 6,0$ m	$L/200$
- välipohjissa	$L/300$
- seinissä	$L/100$
- ulokkeissa	$L/100$
Rakenteen vaakasiirtymän rajatila	
- 1 ja 2 kerroksiset rakennukset	$H/150$
- muut rakennukset	$H/400$
L on jänneväli H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus	
Rakennukset, jossa on nosturirata, katso standardi SFS-EN 1993-6 ja sen kansallinen liite.	

4.3 Paloturvallisuus

Yksi tärkeimmistä huomioitavista asioista korjaus- ja muutostöissä sekä uudisrakentamisessa on paloturvallisuus. Kun suunnitellaan rakennuksen paloturvallisuustasoa, keskeisimpiä asioita ovat rakennuksen tekniset vaatimukset, paloluokka ja käyttötarkoitus. (RIL 195-1-2018. Rakenteellinen paloturvallisuus. Yleiset perusteet ja ohjeet 2018, 17).

Paloturvallisuus osion asiat on koottu perustuen Suomen Rakennusinsinöörien Liitto Ry:n kirjaan *RIL 195-1-2018 Rakenteellinen paloturvallisuus. Yleiset perusteet ja ohjeet*. Kirja on julkaistu vuonna 2018, ja siinä käsitellään *Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017)* -asetuksen määrittelemät vaatimukset. Suunniteltaessa on otettava huomioon myös Ympäristöministeriön vuonna 2020 julkaisema täydennysasetus *Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta (927/2020)*. Uudessa asetuksessa muutetaan ja tarkennetaan *848/2017-asetuksen* useita kohtia ja taulukoita.

4.3.1 Rakennuksen paloluokka

Rakennuksen paloluokkia on neljä: P0, P1, P2 ja P3. Paloluokista P3:ssa on kevyimmät vaatimukset, jotka kasvavat siirryttäessä kohti P1-luokkaa. P0-paloluokan suunnittelijalta vaaditaan erityistä perehtyneisyyttä oletetun palonkehityksen menetelmiin, koska palotekniset ominaisuudet ovat tapauskohtaisia. Rakennuksen paloluokka toimii lähtökohtana lähes jokaiselle suunnitteluratkaisulle, koska se kertoo paloturvallisuusratkaisujen vaatimustason. Keskeiset asiat, jotka suunnittelijalla on oltava tiedossa, ovat rakennuksen koko, pääkäyttötarkoitus ja suunnitellut henkilömäärät. (RIL 195-1-2018 2018, 25).

Seuraavassa on esitelty lyhyesti paloluokat P3...P0 (RIL 195-1-2018 2018, 26–27).

P3-paloluokka

P3-luokassa kantavilla rakenteilla ei ole erityisvaatimuksia muuten kuin palo-osastoivien rakenteiden ja/tai palomuurin kohdalla. P3-luokassa rajoitukset liittyvät rakennuksen kokoon ja henkilömäärään. Riittävä turvallisuustaso voidaan saavuttaa näiden rajoitusten avulla, vaikka itse palotekniset vaatimukset ovat muita luokkia kevyemmät. Tähän luokkaan kuuluu yleensä pienehköt rakennukset, mutta myös laajat varastotilat ja tuotantorakennukset.

P2-paloluokka

Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset ovat luokassa P2 tiukemmat kuin P3-luokassa. P2-luokassa sallittu kerrosluku asuin-, majoitus-, työpaikka- ja hoitolaitosrakennuksissa on enintään kahdeksan, jos rakennus on varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla. Muussa tapauksessa kerroksia saa olla enintään kaksi. P2-luokassa on myös rajoituksia henkilömäärälle, käyttötarkoitukselle ja koolle, mutta ne ovat P3-luokkaa selvästi väljempiä. P2-luokassa on tiukat vaatimukset sisäpuolisten pintojen luokille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille. Tavoitteena on saavuttaa riittävä paloturvallisuustaso, vaikka muut vaatimukset ovat kevyemmät kuin P1-luokassa. Esimerkiksi katto- ja seinäpinnot täytyy suojaverhoilla, jos verhouksen takana olevat tarvikkeet eivät täytä velvoittavan asetuksen vaatimuksia.

P1-paloluokka

P1-luokassa kantavat rakenteet on suunniteltava siten, että riittävällä varmuudella yli kaksikerroksinen rakennus ei saa sortua koko sen palokuorman palon ja jäähtymisen aikana. P1-luokassa kerrosalaa, henkilömäärää tai rakennuksen korkeutta ei ole rajoitettu, mutta korkeuden ja henkilömäärän kasvaessa myös palotekniset vaatimukset kasvavat, koska myös riskialttius lisääntyy. Yleensä kolme tai useampikerroksiset rakennukset kuuluvat P1-luokkaan, mutta joskus rakennuksen koko tai henkilömäärä voivat vaatia myös 1–2-kerroksisen rakennuksen sijoittamista P1-luokkaan.

P0-paloluokka

P0-paloluokka on käytössä yleensä vaativissa erityiskohteissa, joissa rakennus suunnitellaan kokonaan tai paloturvallisuuden kannalta merkittävien osin oletettuun palonkehitykseen perustuen. P0-paloluokka on käytössä esimerkiksi, kun palo-osaston pinta-ala ylittää asetusten mukaiset maksimi pinta-alat, henkilöturvallisuus perustuu automatisoituun savunhallintaan tai kun kantavien rakenteiden palonkestävyys tai rakennuksen poistumisturvallisuus perustuvat oletettuun palonkehitykseen.

4.3.2 Rakennuksen käyttötarkoitus

Rakennukset tai sen palo-osastot ryhmitellään niiden pääkäyttötarkoituksen perusteella. Eri käyttötarkoituksia ovat asuin- ja vapaa-ajan rakennukset, majoitustilat, hoitolaitokset, kokoontumis- ja liiketilat, työpaikkatilat, tuotanto- ja varastotilat teollisessa toiminnassa sekä autosuojat. (RIL 195-1-2018 2018, 27–28).

Lähtökohtana pääkäyttötarkoituksen määrittelyssä on rakennuksen tai sen paloluokan käyttöaika ja se, kuinka hyvin tilojen käyttäjät tuntevat tilat. Lisäksi määrittelyssä otetaan huomioon käyttäjien mahdollisuus palotilanteessa pelastautua itse tai toisten auttamana. Useimmiten rakennukset suunnitellaan ensisijaisesti tiettyyn käyttötarkoitukseen, mutta lähes aina niihin liittyy myös pääkäyttötarkoitusta palvelevia tiloja, jotka voivat kuulua muihin käyttötarkoituseräisiin. Esimerkiksi tuotanto- ja varastotiloihin voi kuulua erilaisia sosiaalituloja tai työpaikkoja. Tällöin rakennuksen pääkäyttöluokka määräytyy pääkäyttötarkoituksen mukaan ja muiden käyttötarkoitusten tilat toteutetaan omien käyttötarkoituskohdekohtaisten määräysten mukaan. (RIL 195-1-2018 2018, 28). Prosessiteollisuudessa kohteet ovat usein pääkäyttötarkoitukseltaan tuotanto- ja varastotiloja sekä niitä palvelevia tiloja, kuten työ-, toimisto- sekä sosiaalituloja.

Tuotanto- ja varastotiloissa toimivat henkilöt tuntevat ympäristön yleensä hyvin. Tilojen henkilömäärä verrattuna rakennuksen pinta-alaan on hyvin matala, sillä tuotanto- ja varastointitoiminnot vaativat tilaa. Tiloissa voi olla palovaaran aiheuttavaa toimintaa. Tästä syystä tuotanto- ja varastotilat jaetaan kahteen palovaarallisuusluokkaan. 1. palovaarallisuusluokan toiminnot voivat aiheuttaa vähäisen tai kohtuullisen palovaaran. 2. palovaarallisuusluokan toiminnot voivat aiheuttaa huomattavan tai suuren palovaaran ja niissä voi esiintyä räjähdysvaara. Autosuojissa, jotka on suunniteltu autojen ja muiden moottoriavoneuvojen säilytykseen, henkilömäärä on pääsääntöisesti pieni. (RIL 195-1-2018 2018, 30).

4.3.3 Rakenteen palonkestoluokka

Rakenteen palonkestoluokka kertoo rakenteen tehtävät palotilanteessa. Palonkestoluokka esitetään tunnusten R (mekaaninen kestävyys), E (tiiveys) ja I (eristävyys) avulla, joiden perässä ilmoitetaan kesto aika minuutteina. Palonkestoajat ilmaistaan yleensä puolen tunnin välein 30...240 minuutin välillä. Esimerkiksi osastoivan ja kantavan rakennososan (seinä, laatta) tunnus on REI, kun taas pilareille ja palkeille kohdistuu ainoastaan R luokan kantavuusvaatimuksia. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 67.)

4.3.4 Rakenteiden kantavuus palotilanteessa

Rakennus tai sen osat eivät saa aiheuttaa vaaraa sortumisen takia tiettyinä aikana palon alkamisesta. Määräys koskee rakennuksen kantavaa runkoa, jonka rakennesuunnittelija on määrittänyt. Tyypillisesti rakennuksen kantavarunko koostuu rakenteista, kuten pilarit, palkit, seinät, ylä- ja välipohjat, ristikot ja runkoa jäykistävät rakenteet. Myös jatkuvan sortuman muodostuminen tulee estää. Riittävä luotettavuus sortumista vastaan saavutetaan, kun noudatetaan taulukkomitoituksen arvoja ja tehdään arvio oletettuun palonkehitykseen perustuen. Taulukkomitoituksen perustuvan palorasituksen on arvioitu kattavan valtaosan käyttötarkoitukseltaan palokuormajakaumien mukaisista palorasituksista. Tällöin tarkemman analyysin tekeminen palorasituksen riittävydestä ei ole tarpeellinen. (RIL 195-1-2018 2018, 49.)

4.3.5 Palo-osastot

Palo-osastoinnilla rakennus rajataan osiin, joiden avulla tulipalotilanteessa syttynyt palo on mahdollista saada hallintaan. Palo-osastoinnin lisäksi yleensä tarvitaan myös pelastuslaitoksen sammutustyötä. Palo-osastoinnilla, mikäli se on oikein suunniteltu, toteutettu ja toimintakuntoinen, voidaan vähentää sekä henkilö- että omaisuusvahinkoja. (RIL 195-1-2018 2018, 59.)

Osastoimistapoja on kolme:

- kerrososastointi
- pinta-alaosastointi
- käyttötarkoituksosastointi

Kerrososastoinnissa rakennuksen eri kerrokset, kellarit ja ullakotilat erotetaan omiin palo-osastoihin. Pinta-alaosastoinnissa rakennus rajataan osiin, joiden avulla palo on mahdollista saada rajattua rakennuksen tiettyyn osaan. Käyttötarkoituksosastoinnissa erotetaan palokuormaltaan, syttymisriskiltään ja henkilöturvallisuudeltaan toisistaan eroavat tilat. (RIL 195-1-2018 2018, 60.)

Joskus osastointi täytyy tehdä riskiperusteisesti. Esimerkiksi teollisuuskohteen prosessiin saattaa liittyä hyvinkin arvokkaita osia, joita on järkevä suojata, vaikka tilat muuten kuuluvatkin samaan käyttötarkoitukseen muun ympäristön kanssa. Riskiperusteisella osastoinnilla voidaan onnettomuustilanteessa saavuttaa suuriakin säästöjä suojelemalla kalliita prosessin osia tai pienentämällä tuotantokatkoksen kestoja. (RIL 195-1-2018 2018, 61.)

4.3.6 Lämpiviennit osastoivissa rakenteissa

Osastoivan rakennusosan läpi johdetut putket, kanavat, savupiiput, roilot, hormit tai kuljetinlaitteistot eivät saa heikentää rakenteen osastoivuutta merkittävästi. Osastoivissa rakenteissa läpivienteihin on tehtävä palokatkot. Palokatko tiivistää osastoivan rakenteen läpi kulkevan taloteknisen järjestelmän läpiviennit niin, että rakentamismääräysten mukainen vaadittava palo-osastointi säilyy. Erilaisen palokatkotuotteiden on säilytettävä palotekniset ominaisuutensa, kuten tiiveytensä (E) ja eristävyytensä (I) määrätyn ajan. (RIL 195-1-2018 2018, 73.)

Palokatkot ovat oleellinen osa teollisuusrakentamista, sillä prosessilaitteet, sähköjärjestelmät ja erilaiset putkilinjat tarvitsevat runsaasti läpivientejä, jotka täytyy tiivistää asianmukaisesti. Palokatkot esitetään erillisissä taso- ja detailjipiirustuksissa, ja niissä käytetään tyyppihyväksytyjä tuotteita. Vaativissa kohdissa on usein tarpeen hyödyntää tiivistykseen perehtyneiden erityissuunnittelijoiden osaamista palokatkodetaljien suunnittelussa.

4.3.7 Palon kehittymisen rajoittaminen

Ensimmäisenä syttynyttä paloa vastaan taistellaan palon kehittymisen rajoittamisella. Paloteknisesti korkealuokkaiset materiaalit rajoittavat palon leviämistä yleensä tehokkaasti, jolloin alkusammutukselle ja poistumiselle jää paremmin aikaa. Rakennustarvikkeille asetetut vaatimukset koskevat materiaalien osallistumista tulipalotilanteeseen ja kertovat kuinka ne käyttäytyvät palotilanteessa. (RIL 195-1-2018 2018, 89.)

Sisäpuolisten pintojen rakennustarvikkeille on asetettu pintaluokkavaatimuksia, jotka esitetään tiiviissä muodossa omalla tunnuksellaan. Tunnuksen ensimmäinen kirjain kertoo kuinka helposti ja nopeasti materiaali palaa. Toinen osa kertoo syntyvän savun määrän. Kolmannessa osassa kerrotaan materiaalista putoavien pisaroiden määrä, koska ne voivat levittää paloa myös alaspäin.

Esitystyylillä on esimerkiksi seuraava: B-s1, d0.

Esimerkissä pintamateriaalin osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu (B), sen savuntuotto on erittäin vähästä (s1) ja se ei muodosta palavia pisaroita tai osia palaessaan (d0). (RIL 195-1-2018 2018, 92.)

4.3.8 Palonleviämisen rajoittaminen

Paloturvallisuuden vaatimukseen olennaisena osana kuuluu palon leviämisen rajoittaminen viereisiin rakennuksiin. Jos rakennukset sijaitsevat alle kahdeksan metrin päässä toisistaan, on palon leviämisen rajoittamisesta huolehdittava rakenteellisilla tai muilla keinoin. (RIL 195-1-2018 2018, 111.) Palomuurilla voidaan rajoittaa palon leviämistä viereiseen rakennukseen. Palomuri on seinä, joka estää palon leviämisen sen toiselle puolelle vaaditun luokkavaatimuksen ajan. Palomuurivaatimus ilmaistaan luokkavaatimuksissa M-lisämerkinnällä. (RIL 195-1-2018 2018, 113–114.) Suunnittelukohteet prosessiteollisuudessa liittyvät usein olemassa oleviin rakennuksiin tai uudisrakennuksessa saatavaa olla tiloja, joilla on eri palonkestovaatimukset ja osastointivaatimukset. Tällaiset tilat erotetaan toisistaan palomureilla tai paloseinillä.

4.4 Suunnitteluprosessi ja projektitoiminta

Suunnittelutoimistojen toimeksiannot ovat yleensä projektimuotoisia kokonaisuuksia, joissa suunnitteluprosessi etenee tiettyjen vaiheiden kautta. Suunnittelutoimistoilla on oman laatujärjestelmänsä mukaiset projektitoimintaohjeet, jotka varmistavat laadukkaan ja tehokkaan työn toteutumisen. Projektitoimintaohjeet ohjaavat suunnitteluprosessin etenemistä ja varmistavat laatujärjestelmän toteutumisen. Laatujärjestelmään kuuluu muun muassa suunnitelmien laatukriteerien täytyminen, suunnitelmien tarkastustoiminta ja asiakirjojen arkistointi projektin lopuksi.

Suunnitteluprosessi koostuu yleensä kahdesta tai kolmesta vaiheesta riippuen sen laajuudesta ja toimeksiannosta. Vaiheita ovat esisuunnitteluvaihe, urakkatarjousvaihe ja toteutusvaihe. Esisuunnitteluvaiheessa rakennuskohde hahmotellaan pääpiirteittäin, jotta voidaan hahmottaa kokonaisuutta ja selvittää tarvittavat tiedot, kuten aikataulu, karkea budjetti ja resurssitarpeet. Urakkatarjousvaiheessa kohde suunnitellaan tarkkuuteen, jossa urakoitsijat voivat laskea urakkatarjouksen perustuen urakkatarjousasiakirjoihin eli urakka-aineistoon. Tarkoituksena on esittää kaikki olennainen hintaan vaikuttava tieto varmistaen tarkat tarjoukset ja välttämättä lisätöiden tarvetta. Toteutusvaiheessa tehdään detaljitasoinensuunnittelu, jossa suunnitelmat tarkennetaan toteutuskelpoisiksi. Toteutusasiakirjojen eli työpiirustusten avulla rakenteet voidaan toteuttaa ja asentaa paikoilleen.

4.5 Tietomallinnus

Rakenteiden suunnittelu tehdään nykyään kokonaan tietokoneavusteisesti. Rakennesuunnittelutyö tehdään pääosin tietomallintamalla rakenteet 3D-muodossa esimerkiksi Tekla Structures-ohjelmalla. Tietomalli sisältää kaikki oleelliset tiedot rakenteesta, kuten geometrian, materiaalit, pintakäsittelyt, värisävyt ja yksityiskohdat. Tietomalli voi lisäksi sisältää tietoa kustannuksista ja aikatauluista.

Tietomallinnus mahdollistaa tiiviin yhteistyön eri suunnittelualojen, asiakkaan ja urakoitsijoiden kesken. Tietomallin avulla voidaan visualisoida suunnitellut rakenteet ja niiden toiminta realistisesti, mikä auttaa sidosryhmiä ymmärtämään suunnitellun lopputuloksen paremmin. Virheiden havaitseminen ja korjaaminen jo suunnitteluvaiheessa on helpompaa tietomallin avulla, mikä vähentää virheiden kustannuksia ja aikataulussa pysymisen haasteita. Lisäksi tietomallit voivat palvella rakennuksen koko elinkaaren ajan mahdollistaen ylläpidon, korjaukset ja tarjoten tietoa rakennuksen käytöstä ja toiminnasta.

Vaikka tietomallipohjaisessa rakennesuunnittelussa korostuu vahvasti 3D-mallintaminen, 2D-suunnittelu on edelleen tärkeä osa rakennesuunnittelua. 2D-suunnittelu tarkoittaa perinteisiä kaksiulotteisia suunnitelmia, kuten pohjapiirroksia, leikkauksia ja rakenteiden detaljeja. Tietyissä tapauksissa on perusteltua tuottaa suunnittelutoimeksiannosta ainoastaan 2D-materiaali. Jos pienempi suunnittelukohde sijaitsee olemassa olevan rakennuksen sisällä ja saavavilla ei ole ajantasaista tietomallia nykyisestä tilanteesta, voidaan suunnittelutyö tehdä esimerkiksi AutoCAD-ohjelmalla.

Rakennustyö tehdään edelleen pääosin 3D-tietomallista tuotettujen piirustusten pohjalta, mutta koko ajan ollaan siirtymässä enemmän kohti tietomallipohjaista rakentamista. Nykyään on tavallista julkaista piirustusten lisäksi myös 3D-materiaali tukemaan rakennustyötä. Tämä tarkoittaa entistä tarkemman ja yksityiskohtaisemman tietomallin tuottamista, jotta kaikki tarvittava tieto on siitä saatavissa.

5 MATERIAALIT

Pääasialliset prosessiteollisuuskohteiden käytettävät materiaalit ovat teräs ja betoni. Tässä osiossa on esitelty niiden perustietoutta suunnittelutyötä tukemaan, jotta suunnittelija pääsee helpommin alkuun suunnitteluprosessissa ja löytää tarvittavat lähtötiedot.

5.1 Teräs

Teräsrakenteiden suunnittelussa Suomessa tulee käyttää eurokoodeja: SFS-EN 1991 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat, SFS-EN 1993 Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu ja SFS-EN 1090 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus.

Teräsrakenteiden suunnitteluun on tarjolla runsaasti ohjemateriaalia standardien ja kirjojen lisäksi esimerkiksi Teräsrakenneyhdistys ry:n sivuilla.

5.1.1 Teräsrakentaminen

Pitkän käyttöiän omaavat teräs, ruostumaton teräs ja muut metallit ovat rakennustuotteita, joita käytetään vaativissa rakennuskohteissa. Suomessa kaikista uudisrakennuskohteista noin 20 % on teräsrunkoisia. Teollisuusrakentamisessa teräksen markkinaosuus kantavana pystyrakenteena on viime vuosina ollut jopa 45–55 %. (Teräsrakenneyhdistys julkaisuaika tuntematon.)

Teräsrungon etuna on sen keveys moniin muihin materiaaleihin verrattuna. Tällä on edullinen vaikutus perustuskustannuksiin. Teräsrakenteiden asennusvaihe rakennuspaikalla on tehokas ja nopea, koska rakenneosat voidaan valmistaa valmiiksi konepajalla. Myös lisärakentaminen on suhteellisen helppoa, koska esimerkiksi tarvittavien lisävahvistusten hitsaaminen on suhteellisen yksinkertaista, mikäli rungon kantavuutta on tarpeen kasvattaa. Teräsrunko mahdollistaa suuret ja avoimet tilat, ilman keskellä tilaa sijaitsevia pilareita. Esimerkiksi hallit, varastot ja muut vastaavat rakennukset toteutetaan yleensä teräsrunkoisina. Tyypillisiä teräksen käyttökohteita ovat myös suuria kantavuuksia vaativat rakenteet. (Teräsrakenneyhdistys julkaisuaika tuntematon.)

Teräksen positiivisia ominaisuuksia ovat sen pitkäikäisyys ja kierrätettävyys. Myös teräsrakenteiden vaurioituminen on helppo estää nykyaikaisilla pintakäsittelyillä, eivätkä ne ole alttiita esimerkiksi rapautumiselle tai tuohyönteisten aiheuttamille vaurioille. Teräsrakenteet on helppo purkaa ja kierrättää uudeksi teräkseksi, mikä on ympäristön kannalta hyödyllinen ominaisuus. (BE Group Oy Ab 2022, 8).

Prosessiteollisuudessa teräsrunkoiset rakennukset ja rakenteet ovat hyvin yleisiä. Esimerkiksi hallimaiset tuotanto- ja varastotilat sekä ristikkorakenteiset tukirakenteet, kuten putkisillat ovat tyypillisiä teollisuusympäristössä.

5.1.2 Rakenneteräs

Rakentamisessa käytettäviä teräslajeja kutsutaan yleensä rakenneteräksiksi, joiden tärkeimmät ominaisuudet ovat lujuus, sitkeys, hitsattavuus, muovattavuus ja leikattavuus (BE Group Oy Ab 2022, 6). Rakenneteräksen tunnus muodostuu päätunnuksesta S (structural), sen perään liitettävästä myötölujuuden vähimmäisarvosta (N/mm^2). Lisätunnus ilmoittaa iskusitkeyden ja transitiolämpötilan mukaisen laatuluokan ja tiivistämistavan.

Rakenneteräksen merkintä S355J2 koostuu:

- S → rakenneteräs
- 355 → myötölujuus (N/mm²)
- J2 → iskutkeys (-20°C). (Tiainen & Papula 2020, 32.)

Teräslajin merkinnän lopussa voi olla lisätunnuksia:

- N-tunnus eli normalisoitu tai normalisointi valssattu teräs, esim. S355J2+N
- H-tunnus eli rakenneputki, esim. S355J2H

Lujuusluokka

Kantavissa rakenteissa käytettäviksi sopivat kuumavalssatuista seostamattomista rakenneteräksistä lähinnä lujuudet S235, S275 ja S355. Ruostumattomista teräslaaduista parhaiten soveltuvat 1.4301, 1.4401, 1.4404, 1.4571 ja 1.4462. Teräksen valintaan vaikuttaa sen hinta, ympäristöolosuhteet, muovattavuus ja saatavuus. Staattisesti kuormitetuissa rakenteissa voi olla edullisinta valita korkeamman myötörajan omaava teräs, sillä tällöin hitsauskustannukset, työkustannukset ja rakenteen omapaino pienevät. Tästä seuraa rakenteita tukevien rakenteiden, kuten perustusten rasiusten pieneneminen ja siten kustannusten aleneminen. Yleensä teräksen lujuus voidaan kuitenkin hyödyntää täysin vain vetorasitetuissa rakenteissa, kuten vetosauvoissa. Taivutetuissa rakenteissa lujuuden kasvattaminen ja tästä seuraava mittojen pieneneminen voivat kasvattaa rakenteen taipumaa ja kiepahdusriskiä. Myös nurjahdukselle ja lommahdukselle alttiissa rakenteissa lujuuden kasvattaminen ei todennäköisesti merkittävästi pienennä niiden poikkileikkausta. (Tiainen & Papula 2020, 43–44.)

Teräslajin valinta

Teräslajin valinnassa saatavuus on usein ratkaiseva tekijä. Toimitusajat voivat olla pitkiä, mikäli päädytään teräkseen, joka ei ole varastotuote. Teräslaji **S355** on nykyään suositeltava yleisteräs kuumavalssattujen levyjen ja standardipoikkileikkausten rakenneaineena. Myös hitsattujen palkkien ja rakenneputkien teräslajiksi suositellaan S355 teräslajia. Kevytorsissa on suositeltavaa käyttää teräslajia S350GS+Z. Materiaalin valinnassa on huomioitava myös pintakäsittely, jolla on merkittävä vaikutus kustannuksiin. (Tiainen & Papula 2020, 48).

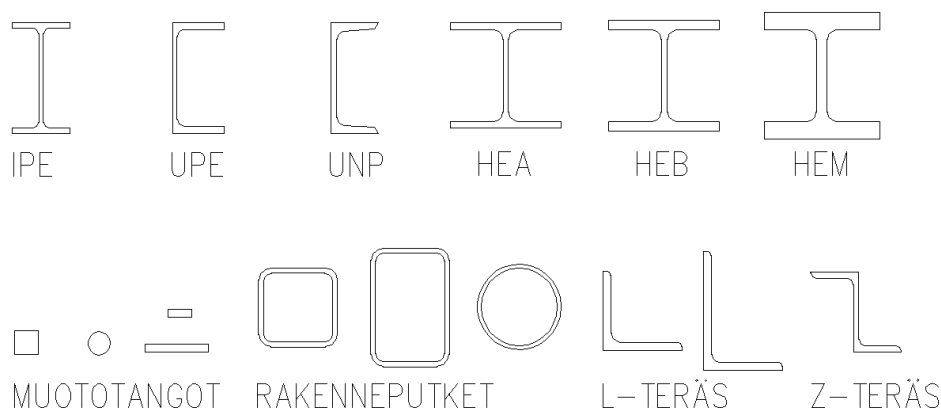
Ruostumattomat teräkset ovat materiaalikustannuksiltaan rakenneteräksiä kalliimpia. Joskus kannattavin vaihtoehto voi olla ruostumattoman teräslaadun valinta, sillä usein teräksen hankintakustannukset ovat vain pieni osa rakenteen kokonaiskustannuksia. Prosessiteollisuudessa voidaan käyttää ruostumattomia teräslatuja tilanteissa, joissa rakenteella on esimerkiksi erityisen korkeat korroosionkestävyysvaatimukset. (BE Group Oy Ab 2022, 13.)

Terästuotteet

Rakenneterästuotteet jaetaan kylmämuovattuihin sekä kuumavalssattuihin tuotteisiin. Kuumavalssattuihin tuotteisiin kuuluu mm. levyt, nauhat, vakioprofiilit, ja tangot. Kylmämuovattuihin tuotteisiin kuluvat muotolevyt, putkiprofiilit, sauvat ja sandwich-elementit.

Standardipoikkileikkaukset

Kuumavalssatut standardipoikkileikkaukset ovat levyjen lisäksi yleisimmin käytettyjä ja myös tunnetuimpia terästuotteita monissa käyttökohteissa ja kantavissa rakenteissa (KUVA 1). Tankomaisia tuotteita ovat esimerkiksi neliömäiset, pyöreät ja suorakulmaiset tangot, tasa- ja erikylkiset L-teräkset sekä Z- ja T-tangot. Leveälaippaisista profiileista yleisessä käytössä ovat HEA- ja HEB-profiilit, jotka ovat eurooppalaisten standardien mukaisia. (Tiainen & Papula 2020, 34–35.) Käytössä on UNP- ja INP-profiilien sijaan UPE- ja IPE-profiilit, joissa laipat ovat tasapaksut ja näin ollen niiden liitokset muihin rakenteisiin on helpompi toteuttaa.



KUVA 1. Teräsprofiileja ja muototankoja (Miettinen 2024).

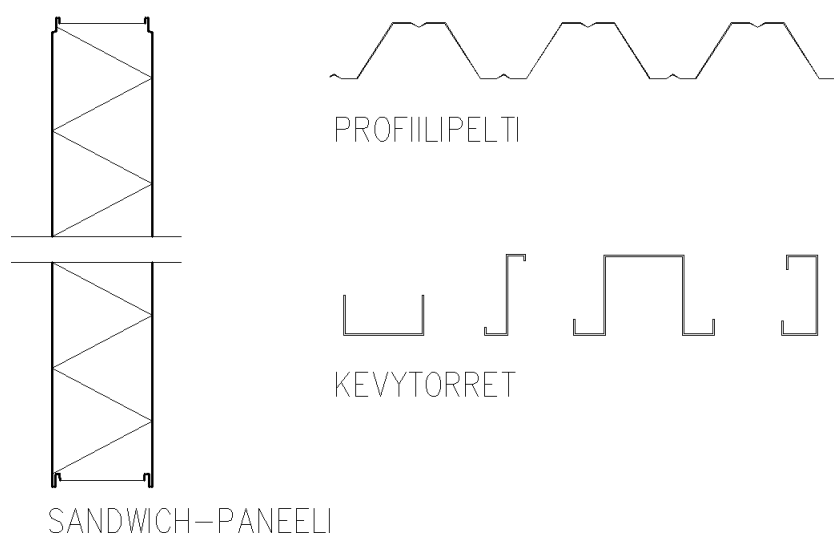
Rakenneputket

Rakenneputkilla on nykyaikaisissa teräsrakenteissa merkittävä osuus (KUVA 1). Tavallisissa ristikkorakenteissa ja pilareissa rakenneputkien etuna on niiden suuri vääntöjäykkyys ja hyvä taivutuskestävyys kaikkiin suuntiin. Rakenteiden kestävyysominaisuuksia, kuten jäykkyyttä, lujuutta ja painoa on helppo optimoida seinämän vahvuutta muuttamalla. Tällöin rakenteen ulkomitat tai geometria eivät muutu. (Tiainen & Papula 2020, 36.)

Rakenneputket voivat olla kuumamuovattuja tai kylmämuovattuja. Kuumamuovattut rakenneputket ovat kalliimpia, mutta niissä on tasaisempi materiaalirakenne kuin kylmämuovatuissa putkissa. Kylmämuovattut rakenneputket ovat edullisempia ja niissä on parempi pintaviimeistely, mutta niissä voi olla vaihtelevampi materiaalirakenne, nurkkien pyöristyssäteet ovat suurehkot ja nurkissa on hitsausrajoituksia. (BE Group Oy Ab 2022, 15.) Teollisuuden rakennuskohteissa kantavina rakenteina on putkiprofiileista usein käytössä kylmämuovattut versiot. Putkiprofiileja käytetään teollisuuskohteissa niiden muiden hyvien ominaisuuksien lisäksi, koska niissä on vähemmän korroosiolle alttiita pintoja verrattuna esimerkiksi I-profiileihin.

Kylmämuovatut ohutlevyrakenteet

Kylmämuovatut ohutlevyrakenteet soveltuvat lyhyille jänneväleille ja pienemmille kuormituksille. Ne ovat yleensä sekundaarikannakkeita. Suurimman osan kylmämuovatuista ohutlevyrakenteista muodostavat erilaiset muotolevyt eli profiilipellit, joiden ainepaksuus vaihtelee välillä 0,6...1,5 mm. (KUVA 2.) Muotolevyt ovat käytössä seinä- ja kattorakenteiden verhouksissa, mutta myös esimerkiksi kantavina profiililevyinä. Muotolevyjä voidaan käyttää myös runkoa jäykistävinä rakenteina. Betonin kanssa yhdessä teräsohutlevy muodostaa liittolaatan, jossa levy toimii sekä valumuottina, että myöhemmin rakenteen alapinnan raudoituksena. Kevytorret ovat kylmämuovattuja ja niitä käytetään esimerkiksi kattojen ja seinien orsirakenteina. (Tiainen & Papula 2020, 36–37.)



KUVA 2. Kylmämuovattuja ohutlevyrakenteita (Miettinen 2024).

Teräsohutlevy tuotteet, joissa teräsohutlevy yhdistetään ei-metallisten materiaalien kanssa, ovat nykyään käytetyimpiä seinärakenteita teräsrunkoisissa halleissa ja rakennuksissa. Sandwich-paneelissa liittorakenteen muodostavat teräsohutlevy sekä kevyt solumuovi tai konstruktiivinen mineraalivilla. Ohutlevystä tehdyt pintakerrokset kantavat taivutuksesta aiheutuneet rasitukset, kun taas ydinkerros kantaa leikkausjännitykset ja samalla tukee pintakerrosta lommahdusta vastaan. Ydinkerros on samalla myös lämmöneriste. (Tiainen & Papula 2020, 38.) Sandwich-paneelilla saadaan nopeasti kestävä julkisivu rakennukseen energiatehokkuudesta tinkimättä. Sandwich-paneelilla voidaan käyttää ulkoseinien lisäksi myös väliseinissä ja sisäkatoissa. (Teräsrakenneyhdistys julkaisuaika tuntematon.)

Poimulevyjä käytetään rakennusten katoissa, seinissä ja kevyissä välipohjissa. Ne siirtävät pintakuormat rakennuksen rungolle. Profiililevy toimii kantavanarakenteena tehokkaasti vain toiseen suuntaan muotonsa vuoksi. Muotolevyillä on tasonsa suunnassa suuri leikkausjännitys, joten niitä voidaan hyödyntää rakennuksen jäykistämässä. (Tiainen & Papula 2020, 266–267.) Poimulevyjen hyödyt liittyvät niiden alhaisiin painoihin ja hyviin kuormankantakykyihin. Kantavat poimulevyt ovat teollisuusrakennusrakennuksissa yleisessä käytössä erilaisina suojaverhouksina seinissä ja katoksissa sekä kantavina rakenteina eristetyissä kattorakenteissa.

Ohutlevysauvojen yleisimpiä käyttökohteita ovat kattojen ja seinien orsirakenteet. Orsien käytetyimpiä poikkileikkauksia ovat C, Z ja hattuorsi. Z-orsia käytetään tyyppillisesti seinien ja kattojen orsina. C-orret soveltuvat esimerkiksi seinäorsiksi tai välipohjaorsiksi. Hattuorsia käytetään katto- ja seinäorsina. (Tiainen & Papula 2020, 262–264.)

5.1.3 Ympäristöolosuhteet

Teräs voi vaurioitua ilmastorasitusten takia tai veteen upotettuna ja maanalaisina rakenteina. Teräsrakenteet suojataan korroosiovaurioiden estämiseksi, jotta ne kestävät rakenteilta vaaditun käyttöön. Erilaisille ilmasto-olosuhteille on luokitusjärjestelmä, joka perustuu korroosiovaikutusluokkiin. Myös upotetuille ja maanalaisille rakenteille on omat luokitukset. Ympäristöolosuhteet vaikuttavat valittavaan suojamaaliyhdistelmään. (SFS-EN ISO 12944-2:2017: Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu 2017, 5.)

Teräsrakenteiden korroosiokestävyyteen voidaan vaikuttaa kunnossapidolla ja huollolla, rakenteiden ja niiden yksityiskohtien muotoilulla, korroosiosuojausmenetelmän valinnalla sekä materiaalin ominaisuuksien ja koostumuksen valinnalla. (Tiainen & Papula 2020, 271). Teräsosat olisi hyvä suunnitella mahdollisimman yksinkertaisina, jotta niihin jää mahdollisimman vähän korroosiolle alttiita ”tasukuja” ja koloja.

Ilmastorasitusluokat

Teräs on altis ilmatilakorroosiolle, kun ilman suhteellinen kosteus kasvaa, esiintyy kondensoitumista ja ilmatilassa on epäpuhtauksia. Myös vallitseva lämpötila ja rakenteen perusosan sijainti vaikuttavat korroosioon. Esimerkiksi ulkoilmalle alttiit rakenteet voivat altistua sateelle, auringonpaisteelle ja ilman epäpuhtaille kaasuille. Jos rakenne on katettu, näiden tekijöiden vaikutukset pienenevät. (SFS-EN ISO 12944-2:2017 2017, 8.)

Ilmastorasitukset jaetaan kuuteen ilmatilakorroosiovaikutusluokkaan (SFS-EN ISO 12944-2:2017 2017, 10):

- C1 – korroosiovaikutus hyvin lievä
 - o sisällä → lämmitettyjen rakennusten sisätilat, joissa puhdas ilmatila, kuten toimistot, kaupat, koulut
- C2 – korroosiovaikutus lievä
 - o ulkona → ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä alhainen, yleensä maaseutualueet
 - o sisällä → lämmittämättömät kondensoitumiselle alttiit rakennukset, kuten varastot ja urheiluhallit
- C3 – korroosiovaikutus kohtalainen
 - o ulkona → kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus ja rannikkoalueilla alhainen suolapitoisuus
 - o sisällä → tuotantotilat, joissa korkea kosteus ja hieman epäpuhtauksia, kuten pesulot, panimot ja elintarviketehtaat
- C4 – korroosiovaikutus ankara
 - o ulkona → teollisuus- ja rannikkoalueet, joissa kohtalainen suolapitoisuus

- sisällä → kemialliset tehtaat, uima-altaat ja rannikoilla sijaitsevat telakat
- C5 – korroosiovaikutus hyvin ankara
 - ulkona → teollisuusalueet, joissa kosteus ja ilmatila syövyttävä; rannikkoalueet, joilla korkea suolapitoisuus
 - sisällä → rakennukset ja alueet, joissa kondensoituminen lähes jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea
- CX – korroosiovaikutus äärimmäinen
 - ulkona → offshore-alueet, joissa suolapitoisuus korkea; teollisuusalueet, joissa äärimmäinen kosteus ja syövyttävä ilmatila; subtrooppiset ja trooppiset ilmastot
 - sisällä → teollisuusalueet, joissa äärimmäinen kosteus ja syövyttävä ilmatila

Veteen upotetut ja maanalaiset rakenteet

Teräksen korroosioon vaikuttaa merkittävästi veden tyyppi eli makea-, murto- tai merivesi, happipitoisuus, lämpötila sekä veteen liuenneiden yhdistelmien tyypit ja määrät. Maaperästä johtuva korrosio riippuu maaperän mineraalipitoisuudesta, orgaanista aineista sekä happi- ja vesipitoisuudesta. (SFS-EN ISO 12944-2:2017 2017, 8.)

Veteen upotetut ja maanalaiset rasitukset jaetaan neljään rasitusluokkaan (SFS-EN ISO 12944-2:2017 2017, 11, SFS-EN ISO 12944-2:2017/Korjaus:2019 2019, 1):

- Im1 – makea vesi
 - vesivoimalat ja jokirakenteet
- Im2 – merivesi, murtovesi
 - ilman katodista suojausta olevat upotetut rakenteet, esimerkiksi satama-alueiden rakenteet, kuten patoluukut, laiturit, sulkulaitteet
- Im3 – maaperä
 - teräspaalut, maanalaiset säiliöt, teräsputket
- Im4 – Merivesi, murtovesi
 - upotetut rakenteet katodisuojauskella, esimerkiksi offshore-rakenteet

5.1.4 Korroosion estäminen ja pintakäsittely

Korroosiota voidaan estää valitsemalla käyttöolosuhteita kestävä materiaali, pintakäsittelyllä tai suojaamalla teräs katodisesti (sähkösuojaus). Suojaamaton rakenneteräs ruostuu helposti, mutta sen korroosiokestävyyttä voidaan parantaa oleellisesti muuttamalla teräksen koostumusta sinkityksellä tai korroosionestomaalauksella. Jaloussateeltaan erilaisten metallien yhteen liittämistä tulisi välttää, jotta niiden välille ei muodostu galvaanista eli sähkökemiallista korroosiota. Korroosiovaara on erityisen suuri, kun vähemmän jalon metallin pinta-ala on pienempi kuin jalomman metallin pinta-ala. (Tiainen & Papula 2020, 274–275, 279).

Pintakäsittely on yksi tavallisimmista korroosionesto menetelmistä. Teräksen pintakäsittely voidaan tehdä sinkittämällä tai korroosionesto maalauksella. Prosessiteollisuudelle on tyypillisempää käyttää korroosionestomaalausta, koska sillä saadaan säädettyä optimoitu suoja haastaviin olosuhteisiin. Jos

rasitukset ovat erityisen voimakkaita voidaan käyttää myös ruostumatonta- tai haponkestävää terästä, jolloin erillistä pintakäsittelyä ei tarvita.

Sinkitys

Sinkitys voidaan toteuttaa kolmella eri menetelmällä: kuumasinkityksellä, sähkösinkityksellä tai ruiskusinkityksellä. Kuumasinkitys rajoittaa kappaleen kokoa sinkitysaltaiden koon vuoksi. Putki- ja palkkirakenteet on varustettava valutus- ja ilmanpoistoaukoilla, jotta puhdistusliuokset pääsevät vapaasti valumaan ulos kappaleen onteloista ennen sinkitystä. Rakenteissa tulee välttää myös ”taskuja”, joihin voi jäädä ylimääräistä sinkkiä kastossa. Paksuudeltaan hyvin erilaiset osat voivat vääristyä lämmön vaikutuksesta sinkityspaidassa, joten niitä on syytä välttää. (Tiainen & Papula 2020, 277). Menetelmistä kuumasinkitys on yleisimmin käytössä prosessiteollisuudessa.

Korroosionestomaalaus

Korroosionestomaalausta voidaan käyttää sekä suoraan teräspintaan että sinkityille materiaaleille lisäämään niiden käyttöikä. Korroosionestomaalauksen kestävyys vaikuttavat alustan kunto, esikäsittelytyön laatu, käytetyt maaliyhdistelmät, maalikerroksen paksuus, maalaustyön laatu, maalaustyön aikaiset olosuhteet sekä korroosio-olosuhteet maalaustyön jälkeen. (Tiainen & Papula 2020, 278). Maaliyhdistelmä valitaan ilmastorasitusluokan ja vaaditun kestävyys perusteella. Pintakäsittely voidaan tehdä joko rakennuspaikalla tai konepajalla, on kuitenkin huomattavasti parempi tehdä se konepajalla, jossa on hallitut olosuhteet ja lopputuloksesta saadaan kestävämpi.

Pintakäsittely valitaan aina tapauskohtaisesti ympäristöolosuhteiden perusteella. Standardissa (SFS 5873. Metallirakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Käyttösuositus prosessi- ja metalliteollisuudelle 2008) on esitetty suositukset suojamaaliyhdistelmille prosessi- ja metalliteollisuudessa. Asiakasyrityksillä voi lisäksi olla omia ohjeita suojamaaliyhdistelmille, jos kohteessa on erityisiä ympäristörasituksia. Myös nämä ohjeet perustuvat edellä mainittuun standardiin.

Pintakäsittelytunnus prosessiteollisuuden eri ympäristöluokissa voi olla esimerkiksi muotoa:

- C4 (ankara): A4.08 EPPUR240/3-FeSa2½
- C5-I (hyvin ankara, teollisuus): A5I.02 EPPUR320/3-FeSa2½

Merkintöjen tunnuksat tarkoittavat standardin (SFS 5873 2008, 5) mukaan:

- A4.08 ja A5I.02: suojamaaliyhdistelmän etuliite ja numero
- EPPUR: maalityypin tunnus
- 240/3 ja 320/3: kuivakalvon nimellispaksuus ja maalauskertojen lukumäärä
- Fe: pintatyyppi
- Sa2½: pinnan esikäsittelyaste

Pintakäsittelylle määritetään myös värisävy. Asiakasyrityksillä on kohdekohtaiset ohjeet käytettäville värisävyille tai arkkitehti on voinut määrittää värisävyt lupakuviin.

5.1.5 Kantava teräsrunko

Teräsrakenteiden suunnittelussa tärkeimmät osa-alueet ovat rungon valitseminen, liikuntasauvojen paikkojen määrittäminen, rakenteiden kokonaistarkastelu, rakenteiden mitoittaminen, liitosten suunnitteleminen, rakenteiden jäykistämisen suunnitteleminen, korroosion estäminen ja palosuojauksen suunnitteleminen. Rakenteen rungolle valitaan runkojärjestelmä, määritetään päämitat ja liitostavat sekä valitaan käytettävät aineet ja tarvikkeet. Runkojärjestelmän valinnassa on otettava käytön asettamien vaatimusten lisäksi huomioon muun muassa ympäristö- ja perustamisolosuhteet, rakennusaika, mahdollinen tarve laajennuksille, konepajavalmistus sekä kuljetuksen ja asennuksen asettamat vaatimukset. Runkojärjestelmän valintaan vaikuttaa myös suurimmat sallitut muodonmuutokset ja taipumarajat sekä teollisuusrakennuksissa laitteiden asennusten vaatimat vapaat tilat. (Tiainen & Papula 2020, 41, 211.)

Viranomaiset määrittelevät rakenteille yleisiä vaatimuksia, kuten kuormitukset, jäykkyudet ja palonkestovaatimukset. Rakennuksen käyttäjä määrittelee lisäksi esimerkiksi käytön tuomia rajoituksia, kuten pilareiden määriä ja sijainteja, tilojen vapaata korkeutta, erityiskuormituksia, laitteistojen vaatimia tiloja sekä vapaata pääsyä laitteille ja koneille. (Tiainen & Papula 2020, 211.)

Teräsrungon jäykistysjärjestelmät

Rakennuksen teräsrungon stabiilius ja vakavuus on säilyttävä koko rakennuksen käyttöajan. Rungon tasapainotilan eli vakauden säilyminen edellyttää, että rakennusosat eivät nurjahda, kiepahda tai lommahda. Rakennus ei myöskään saa siirtyä tai kiertyä jäykkänä kappaleena. Rakennuksen jäykistäminen voidaan tehdä kolmella tavalla:

- Rungonjäykistys. Rungon siirtymiä rajoitetaan, niin ettei rakennus käyttäydy mekanismina tai siirtymät kasva liian suuriksi. Rungon jäykistämällä voidaan pienentää rakennuksen alttiutta toisen kertaluvun vaikutuksille.
- Yksittäisen sauvan tuenta. Hoikkien sauvojen stabiliteettia voidaan parantaa lisäämällä niille poikittaisia tukia pistemäisesti tai jatkuvilla tasorakenteilla, kuten muotolevyillä. Liitosten jäykkyyden lisääminen on myös yksi tapa kasvattaa sauvan stabiliteettia.
- Paikallinen jäykistys. Tukien ja pistemäisten kuormitusten vaikutusalueilla paikallista lommahdusta voidaan estää ja pistekuormakestävyyttä kasvattaa jäykisteitä käyttämällä. (Tiainen & Papula 2020, 211.)

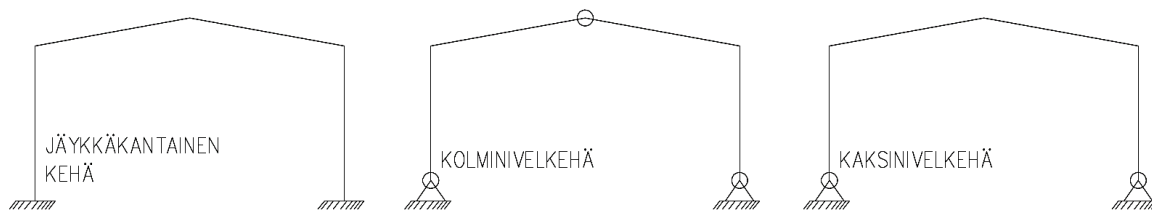
Teräsrungonjäykistäminen voidaan tehdä sauvojen välisillä jäykillä liitoksilla, diagonaalisauvojen muodostamalla ristikolla tai leikkausvoimia ottavilla levyillä. Edellisistä muodostuu jäykistämisyjärjestelmät: *kehäjäykistys*, *ristikkojäykistys*, *levyjäykistys*, *mastojäykistys*, *sydänjäykistys* ja *putkijäykistys*. Teräsrakenteissa näistä on käytössä lähinnä kehä- ja ristikkojäykistys. Kerrostaloissa käytetään usein mastojäykistystä ja korkeissa tornimaisissa rakennuksissa sydän- ja putkijäykistystä. Teräsrunko on jäykistettävä eri suuntiin ja monikerroksisissa rakennuksissa myös kerrostasolla. Jäykistysjärjestelmällä pyritään rajoittamaan vaakasuuntaiset siirtymät sallittuihin raja-arvoihin. (Tiainen & Papula 2020, 212.) Teollisuusrakentamisessa ristikkojäykistys on ylivoimaisesti eniten käytössä. Esi-

merkiksi erilaiset putkisillat koostuvat ristikkorakenteista, joissa niiden jäykistys on toteutettu jäykis-tyristikoiden vetosauvojen avulla. Pienemmissä ja matalissa rakenteissa ja rakennuksissa käytetään myös kehä- ja mastojäykistystä.

Kehäjäykistys

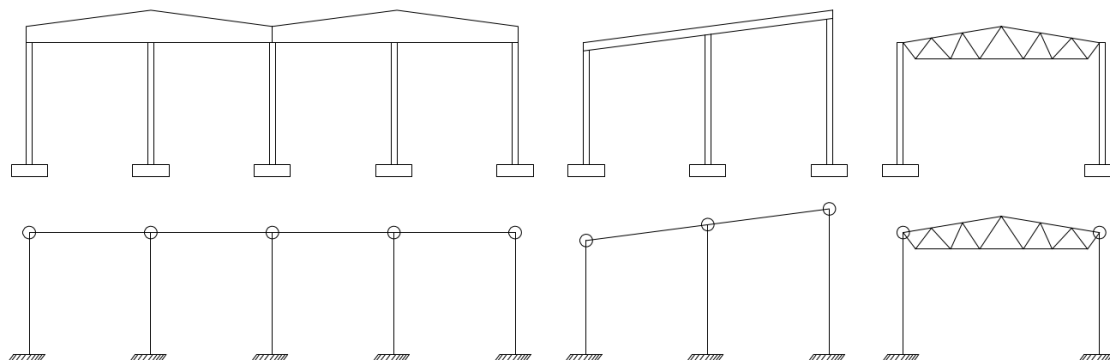
Kehäjäykistyksessä pilarien ja palkkien väliset liitokset toteutetaan jäykkinä tai osittain jäykkinä, jolloin rakennuksen jäykistys voidaan hoitaa pilarilinjojen muodostamalla kehällä. Matalissa rakennuksissa kehien vaakasiirtymät voivat olla suhteellisen suuria, koska pilarit ovat hoikkia. Korkeissa rakennuksissa suurempien pystykuormien myötä pilarien koon ja jäykkyyden kasvaessa myös vaakasiirtymät jäävät pienemmiksi ja runko on jäykempi. Kehäjäykistyksen etuna on, että siinä ei tarvita käyttöä ja muuntojoustavuutta haittaavia jäykistyslementtejä. Kehäjäykistystä voidaan käyttää myös yhdessä ristikko- ja levyjäykistyksen kanssa. (Tiainen & Papula 2020, 213.)

Kehätyypit voidaan jaotella esimerkiksi mastokehiin, nivelkantaisiin kehiin, jäykkäkantaisiin kehiin ja jäykkänurkkaisiin kehiin (KUVA 3). Kehärakenteissa on tyypillistä, että rakennesiin vaikuttaa taivutusmomentteja ja normaalivoimia samanaikaisesti. Nurkkien momenttijäykkien asennusliitosten suunnittelu ja toteutus on haastavaa ja taloudellisesti vaativaa, koska suurimmat taivutusmomentit esiintyvät tyypillisesti juuri nurkissa. (Tiainen & Papula 2020, 213.)



KUVA 3. Yksilavaisen hallin jäykkänurkkaisia kehiä (Miettinen 2024).

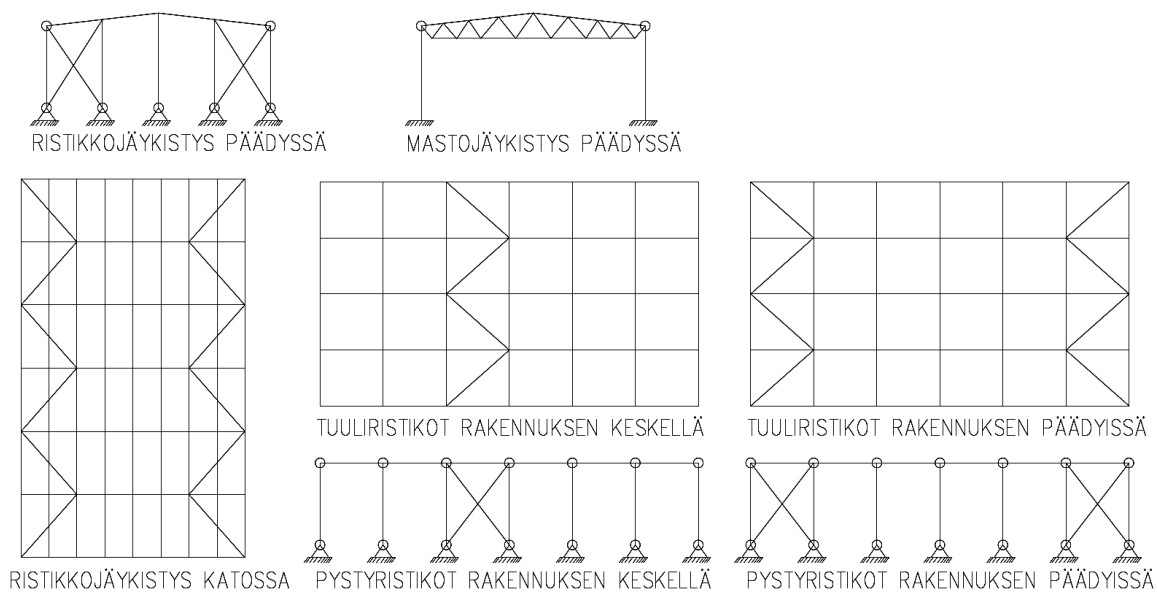
Kuvassa on esitetty tyypillisiä mastokehiä yksikerroksisille rakennuksille, joissa pilarit ovat jäykästi kiinniperustuksissa ja palkit liittyvät pilareihin nivelellisesti (KUVA 4). Momenttijäykkien liitosten käyttö teollisuusrakennusten pilari-palkki-liitoksissa on harvinaisempaa niiden haastavuuden takia, joten jäykistys hoidetaan yleensä mastopilareilla tai ristikkorakenteilla.



KUVA 4. Yksikerroksisten rakennusten tyypillisiä mastokehiä (Miettinen 2024).

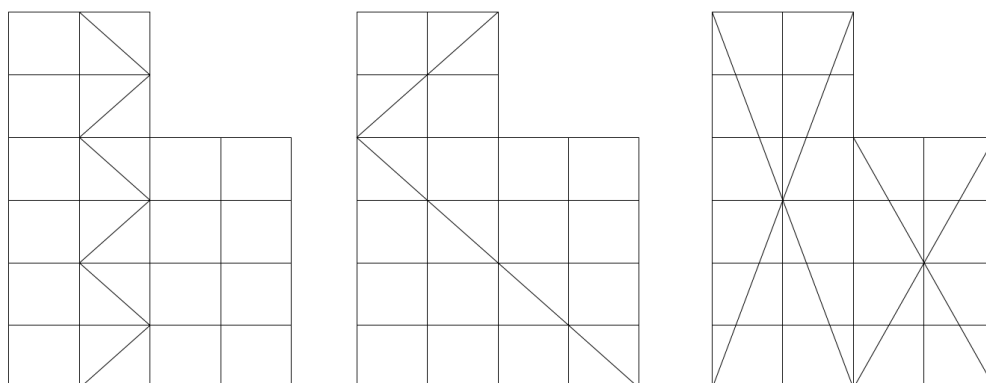
Ristikkojäykistys

Rakennuksen pituussuuntainen jäykistys toteutetaan usein erilaisilla ristikkorakenteilla. Kattotasossa ne voivat olla erilaisia siteitä tai diagonaalisauvoja ja seinien pituussuunnassa diagonaalisauvoja. Mitä korkeampi jäykistysriikko on sitä pienempi rasituksia se aiheuttaa muille runkorakenteille. Pystyristikot on hyvä sijoittaa keskelle ulkoseinälinjoja, jotta lämpöliikkeet pääsevät tapahtumaan molempiin suuntiin vapaasti. (Tiainen & Papula 2020, 215.) Kuvassa on esitetty erilaisia jäykistysristikoita (KUVA 5). Kuvassa ylhäällä ja vasemmalla on esimerkki rakennuksen poikkisuuntaisesta jäykistyksestä päädyn ristikko- ja mastojäykistyksellä sekä katon ristikkojäykistyksellä. Rakennuksen pituussuuntainen jäykistys on kuvassa keskellä ja oikealla. Pituussuunnassa rakennus voidaan jäykistää katon tuuliristikolla ja ulkoseinen pilarilinjoilla sijaitsevilla pystyristikoilla.



KUVA 5. Rakennuksen ristikkojäykistys (Miettinen 2024).

Monikerroksisten rakennusten rungoissa jäykistysjärjestelmän on katettava kaikki kerrokset. (Tiainen & Papula 2020, 215.) Kuvassa on esitetty tapoja monikerroksisen rakennuksen jäykistämiseen pystyristikoilla (KUVA 6). Kapea pystyristikko aiheuttaa pilareille ja perustuksille suurempia rasituksia kuin muut vaihtoehdot. Toisen kuvion systeemi on huomattavan jäykkä verrattuna kapeaan ristikkoon ja antaa paremman varmuuden kaatumista vastaan.



KUVA 6. Monikerroksisen rakennuksen ristikkojäykistys (Miettinen 2024).

Mastojäykistys

Mastojäykistyksessä kaikki rungolle tulevat vaakavoimat otetaan vastaan mastoilla, jotka ovat perustukseen jäykästi kiinnitetyjä ja toimivat ulokkeen tavoin. Mastojäykistyksessä on huomioitava että, perustukset ovat yleensä kiertyviä. Mastot ovat joko seinämastoja tai pilarimastoja. Mastoseinät voivat olla joko paikallavalettuja levyseiniä, teräsbetonelementtejä tai teräsrunkoisia seiniä, joilla on kykyä ottaa vastaan seinän pinnan suuntaisia vaakakuormia. Mastoseinät on ankkuroitava perustukseen, jos omapainosta kertyvät kuormat eivät riitä kumoamaan taivutuksesta aiheutuvia vetorasituksia. (Tiainen & Papula 2020, 216.)

Ainoastaan teräspilareilla toteutettu mastojäykistys on usein epätaloudellinen toteuttaa, sillä pilareiden poikkileikkaus ja perustusten koko kasvavat helposti hyvin suuriksi. Teräspilareilla toteutettu mastojäykistys toimii yleensä matalissa ja pienissä rakennuksissa.

Rakenteen kokonaistarkastelu

Teräsrakenteiden suunnittelussa on huomioitava normaalien rasiusten lisäksi myös niin kutsutut lisävaakavoimat, joita voi syntyä rakenteen siirtymätilan vaikutuksista ja epätarkkuuksista.

Rakenteen siirtymätilan vaikutukset

Sisäiset voimat ja momentit voidaan määrittää ensimmäisen kertaluvun teorian mukaisesti käyttäen rakenteen alkuperäistä geometriaa tai toisen kertaluvun teorian mukaisesti ottamalla rakenteen muodonmuutosten vaikutukset huomioon. Toisen kertaluvun vaikutukset eli siirtymätilan vaikutukset on otettava huomioon, jos ne oleellisesti kasvattavat rasiusten vaikutuksia tai muuttavat oleellisesti rakenteen käyttäytymistä. Ensimmäisen kertaluvun teoriaa voidaan käyttää, kun siirtymien vaikutus sisäisiin voimiin tai momentteihin on vähäinen verrattuna ensimmäisen kertaluvun teorian arvoihin ja muita vaikutuksia rakenteen käyttäytymiseen ei tarvitse ottaa huomioon. (SFS-EN 1993-1-1 Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt 2014, 30.)

Epätarkkuudet

Rakennelaskelmissa otetaan huomioon kuormittamattoman rakenteen epätarkkuuksien vaikutukset. Näitä ovat esimerkiksi alkujännitykset ja erilaiset geometriset epätarkkuudet, kuten poikkeamat pystysuoruudesta, suoruudesta ja tasaisuudesta sekä yhteensopivuuspoikkeamat liitosten epäkeskeisyydestä. Laskelmissa huomioidaan rakenteen ja jäykistysjärjestelmien globaalit epätarkkuudet sekä sauvojen paikalliset epätarkkuudet. (SFS-EN 1993-1-1 2014, 33.)

Lähtökohtaisesti globaalit alkuepätarkkuudet huomioidaan vain sivusiirtyvien kehien tapauksessa ja voidaan jättää huomioon ottamatta sivusiirtymättömien kehien tapauksessa. Eurokoodi 3 antaa asian tarkastukselle tarvittavan mitoitusohjeen. Myös sauvojen paikalliset alkuepätarkkuudet voidaan jättää huomioon ottamatta sivusiirtymättömien kehien tapauksessa. Rakennemalliin epätarkkuudet voidaan mallintaa ekvivalentteina kuormina. Globaalit alkuviroudet mallinnetaan pistekuormina ja paikalliset alkukaarevuudet mallinnetaan tasaisina poikittaisina voimina. (Tiainen & Papula 2020, 63–65.)

Dynaamiset kuormat ja väsyminen

Tyypillisesti kuorman vaihteluiden aiheuttamat ja vaikutukset ovat niin hitaita, että staattinen laskenta on riittävä siirtymien ja jännitysten arvioimiseksi. Kuormaa kutsutaan dynaamiseksi, jos hitausvoimilla on merkitystä rakenneanalyysissä. Tyypillisiä rakenteita, joiden suunnittelussa dynaamiset kuormat on otettava huomioon ovat:

- sillat
- hyvin korkeat rakennukset
- mastot ja savupiiput
- nosturiradat
- erilaisten koneiden ja laitteiden kantavat rakenteet. (Tiainen & Papula 2020, 280.)

Prosessiteollisuudessa tyypillisiä suunnittelukohteita ovat erilaiset laitetuennat ja esimerkiksi nosturiradat, joihin kohdistuu dynaamista rasitusta. Rasitukset on otettava huomioon mitoituksessa.

Rakenteen väsymistä voivat aiheuttaa esimerkiksi hyötykuorman suuruuden ja suunnan muutokset, erilaiset kiihdytykset ja jarrutukset, rakenteen värähtely, aalto- ja tuulikuormat sekä lämpötilan ja lämpöjännitysten vaihtelut. Jos rakenteessa vaikuttavat jännitys heilahdukset esiintyvät riittävän usein, voi rakenne menettää kantokykynsä väsymisen takia. Tässä tapauksessa väsyminen vaatii oman kestävyystarkastelunsa. (Tiainen & Papula 2020, 283).

5.1.6 Teräksen palomitoitus ja palosuojaus

Teräsrakenteiden palomitoituksessa käytettäviä laskentamenetelmiä on kolme, joita ovat taulukkomitoitus, yksinkertaiset laskentamallit ja kehittyneet laskentamallit. Taulukkomitoituksella voidaan mitoitaa yksinkertaisia rakenneosia, joille on saatavilla soveltuvia taulukoita. Yksinkertaiset laskentamallit on tarkoitettu käytettäväksi yksittäisten rakenneosien palomitoitukseen, ja ne perustuvat varmalla puolella oleviin oletuksiin. Kehittyneet laskentamallit soveltuvat tarkempien laskelmien tekemiseen, optimoituun mitoitukseseen ja tapauksiin, joihin yksinkertaiset mallit eivät ole sovellettavissa. Kehittyneet laskentamallit soveltuvat käytettäväksi sekä standardipalomitoituksessa että toiminnallisessa palomitoituksessa. Kehittyneet laskelmamenetelmät edellyttävät yleensä erityissuunnittelijan osallistumista suunnitteluun. (Tiainen & Papula 2020, 221, 243.)

Lämpötilan kohotessa teräksen lujuus ja kimmokerroin pienenevät, myös suuri lämpölaajeneminen on teräkselle ominaista. Nämä yhdessä voivat johtaa palautumattomiin muodonmuutoksiin. Korkeissa lämpötiloissa lisääntynyt viruma voi myös lisätä muodonmuutoksia. Tästä syystä teräsranteet on yleensä suojattava tulipalon vaikutuksilta. Eurokoodeissa SFS-EN 1990 ja SFS-EN 1991-1-2 on kerrottu palotilanteen kuormitukset ja palomitoitus tehdään standardin SFS-EN 1993-1-2 mukaisesti. (Tiainen & Papula 2020, 221.)

Palosuojaus on usein kallis toteuttaa, joten suunnitteluvaiheessa on hyvä tarkastaa, voidaanko se jättää tekemättä esimerkiksi rakenteen profiilikokoa kasvattamalla. Yleensä palosuojaus toteutetaan eristämällä paljas teräspinta lämmönsiirtymistä hidastavalla materiaalilla. Ulkopuolinen palosuojaus voidaan toteuttaa muun muassa palosuojailevytyksellä, ruiskusuojuuksella, rappauksella, puulla tai palosuojaamalla.

5.1.7 Teräsrakenteiden liitokset

Teräsrakenteita voidaan liittää hitsaamalla, juottamalla tai käyttäen mekaanisia liittimiä. Edellä mainituista talonrakennuksessa pääpaino on hitsaamalla ja ruuvikokoonpanoin kootuilla liitoksilla. Liitos koostuu liitosmetodista (ruuvi, hitsiliitos) ja sen välittömässä läheisyydessä olevista rakenneosista. Hitsiliitokset valmistetaan pääasiassa konepajalla. Liitosten työvaiheet sisältävät profiilin katkaisun ja leikkauksen, levyn leikkauksen, reikien ja viisteiden teon sekä hitsauksen. (Tiainen & Papula 2020, 148.) Konepajalla valmistetut hitsiliitoksin kootut kokoonpanot kuljetetaan työmaalle, jossa ne asennetaan paikoilleen ruuvikokoonpanojen avulla.

Rakenneanalyysissä liitosten vaikutukset rakenteen momenttien sekä sisäisten voimien jakaantumiseen ja rakenteen kokonaismuodonmuutoksiin voidaan yleensä jättää huomiotta, jos ne eivät ole merkittäviä.

Analyysissä liitosten vaikutus otetaan huomioon jakamalla liitokset kolmeen toimintamalliin:

- Nivelliitos: oletus, ettei liitos siirrä taivutusmomenteja
- Jäykkäliitos: liitoksen käyttäytyminen ei vaikuta rakenneanalyysiin
- Osittain jäykkä liitos: liitoksen käyttäytyminen huomioidaan rakenneanalyysissä (SFS-EN 1993-1-1 2014, 29–30.)

Jäykät liitokset voidaan toteuttaa hitsaus- tai ruuviliitoksina ja nivelelliset liitokset toteutetaan ruuviliitoksina.

Teräsrakenteiden liitokset suunnitellaan Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8: liitosten mitoitus mukaan (SFS-EN 1993-1-8 2005). Sovellusohjeita ja laskuesimerkkejä liitosten suunnitteluun löytyy esimerkiksi SSAB Domex Tube Rakenneputket EN 1993-käsikirjan luvussa 3 (Ongelin & Valkonen 2016) ja Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Eurocode 3-oppikirjan luvusta 4 (Tiainen & Papula 2020).

Ruuviliitokset

Ruuviliitokset jaotellaan kiinnitysluokkiin niiden rasiutusten mukaisesti ja ruuvien esijännittämisen perusteella. Seuraavassa on esitetty ruuvikiinnitysluokat standardin (SFS-EN 1993-1-8 2005, 22–23) mukaan:

Leikkausvoiman rasittama kiinnitys:

- Kiinnitysluokka A (reunapuristustyyppinen liitos):
 - o käytetään ruuvien lujuuksia 4.6...10.9
 - o ei esijännitystä
- Kiinnitysluokka B (käyttörajatilassa liukumisen kestävä liitos):
 - o ruuvit ovat esijännitettyjä
- Kiinnitysluokka C (murtorajatilassa liukumisen kestävä liitos):
 - o ruuvit ovat esijännitettyjä

Vetovoiman rasittama kiinnitys:

- Kiinnitysluokka D (esijännittämättömät ruuvit):
 - o käytetään ruuvien lujuuksia 4.6...10.9
- Kiinnitysluokka E (esijännitetyt ruuvit):
 - o käytetään ruuvien lujuuksia 8.8 tai 10.9

Hyvin usein ruuviliitoksissa on käytössä esijännittämättömät ruuvikiinnitykset. Esijännitettyjä ruuvikiinnityksiä käytetään lähinnä liitoksissa, joissa liitoksissa tapahtuvista siirtymistä voi olla haittaa rakenteen toiminnalle. (Tiainen & Papula 2020, 164.)

Leikkausrasitetut ruuviliitokset

Leikkausrasitetuissa ruuviliitoksissa on tarkastettava ruuvin leikkauskestävyys, reunapuristuskestävyys, palamurtumiskestävyys liitettävässä osassa, liitettävien osien netto poikkileikkauskestävyys ruuvikiinnityksen vieressä ja liitettävien osien bruttopoikkileikkauskestävyys ruuvikiinnityksen vieressä. (Tiainen & Papula 2020, 159.) Tyypillisesti teräsrakenteiden ruuviliitokset ovat leikkausrasitettuja liitoksia.

Vetorasitetut ruuviliitokset

Liitokset, joihin kohdistuu vetoa, on tarkastettava ruuvin vetokestävyys, ruuvin kannan ja mutterin lävistyskestävyys ja liitettävän osan myötääminen levynä eli niin sanottu vedetyn ekvivalentin T-osan tarkastus. (Tiainen & Papula 2020, 159.) Vetorasitettuihin ruuveihin voi kohdistua samanaikaisesti myös leikkausrasituksia, jotka täytyy ottaa mitoituksessa huomioon.

Ruuvit

Tyypillisesti ruuviliitoksissa on käytössä kuusioruuvit, joiden tunnus on M. Tunnuksen jälkeen esitetään ruuvin nimellishalkaisija. Tyypillisiä ruuvikokoja ovat M12, M16, M20, M22, M24, M27, M30 ja M36. Ruuvien lujuusluokat ovat 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8 ja 10.9, joista käytössä on tyypillisesti lujuusluokan 8.8 ja 10.9 ruuvit. Taulukossa on esitetty ruuvien myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot (TAULUKKO 6). Käytettäessä austeniittisiä ruuveja A2 (ruostumaton) ja A4 (haponkestävä) valitaan niille tyypillisesti lujuusluokaksi 8.8, jossa ruuvien vetomurtolujuus on f_{ub} on 800 N/mm² ja myötöraja f_{yb} 600 N/mm².

TAULUKKO 6. Nimellisarvot ruuvien myötörajoille ja vetomurtolujuuksille.

Ruuvien lujuusluokka	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Taulukossa on ruuvien poikkileikkausalat ja leikkauskestävyydet lujuusluokan 8.8 ruuveille. Taulukossa on esitetty ruuvien leikkauskestävyydet leikettä kohti, kun ruuvien kierteet ovat leikkaustasossa ja kun kierteet eivät ole leikkaustasossa. (TAULUKKO 7.)

TAULUKKO 7. Ruuvien poikkileikkausalat ja leikkauskestävyydet $F_{V,Rd}$.

Ruuvi	Jännityspinta-ala A_s (mm ²)	Leikkauskestävyys (kN) leikettä kohti, kun kierteet ovat leikkaustasossa	Jännityspinta-ala A_s (mm ²)	Leikkauskestävyys (kN) leikettä kohti, kun kierteet eivät ole leikkaustasossa
M12	84,3	32,4	113	43,4
M16	157	60,3	201	77,2
M20	245	94,1	314	120,6
M24	353	135,6	452	173,7
M30	561	215,4	707	271,4

Ruuvikokoonpanot

Ruuvikokoonpanot koostuvat ruuvista ja mutterista sekä tarvittaessa aluslevyistä. Ruuviliitoksissa käytetään aluslevyjä, jos se toteutuseritelmän mukaan on tarpeen, tai jos käytetään pitkiä ruuveja ja kierteet on pidettävä leikkaustason tai soviteriän ulkopuolella. Lisäksi aluslevyjä on käytettävä sekä ruuvien kannan että mutterin alla yksileikkeisissä päällekkäisliitoksissa, joissa on vain yksi ruuvirivi. (Tiainen & Papula 2020, 160.)

Teräsrakenteiden liitoksissa käytetään yleensä kuusioruuveja, eli pultteja, joiden kanta on kuusikulmainen. Käytössä on sekä osakierre- että täyskierreruuveja erilaisilla pinnoitteilla (KUVA 7). Prosessiteollisuudessa käytetään tyypillisesti vähintään kuumasinkittyjä ruuvikokoonpanoja, koska ohuemat pinnoitteet vaurioituvat helposti. Hyvin vaativissa ympäristöolosuhteissa voidaan käyttää myös ruostumattomia tai haponkestäviä ruuvikokoonpanoja. Täytyy muistaa, että käytettäessä austeniittisiä teräslaatuja, myös ruuvikokoonpanojen on oltava vähintään samaa jalousastetta, jotta osien välille ei muodostu galvaanista eli sähkökemiallista korroosiota. Ruuvikokoonpanot ovat pinta-alaltaan muuta teräsosaa huomattavasti pienempiä.



KUVA 7. Osakierre- ja täyskierreruuvit (Miettinen 2024).

Ruuvien nimellisvälykset

Pyöreille rei'ille nimellisvälys on reiän nimellishalkaisijan ja ruuvin nimellishalkaisijan erotus. Pidenne-tyille rei'ille nimellisvälys on reiän pituuden tai leveyden sekä ruuvin nimellishalkaisijan erotus. (SFS-EN 1090-2:2018, 42.) Taulukossa on esitetty ruuvien ja niveltappien nimellisvälykset. (TAULUKKO 8.)

TAULUKKO 8. Ruuvien ja niveltappien nimellisvälykset (SFS-EN 1090-2:2018, 43).

Ruuvien tai niveltappien nimellishalkaisija (mm)	12 ^a	14	16	18	20	22	24	27 to 36 ^b
Normaalit pyöreät reiät ^c	1 ^{d e}		2					3
Ylisuuret pyöreät reiät	3		4			6		8
Lyhyet pidennetyt reiät (koko pituudelle) ^f	4		6			8		10
Pitkät pidennetyt reiät (koko pituudelle) ^f	1,5 ^d							
^a Koskee myös alle 12 mm:n läpimittoja, ellei toisin esitetä.								
^b Koskee myös yli 36 mm:n läpimittoja, ellei toisin esitetä.								
^c Torneille, mastoille ja vastaaville sovellutuksille normaalien pyöreiden reikien nimellisvälystä pienennetään 0,5 mm, ellei erikseen toisin esitetä.								
^d Pinnoitetuille kiinnittimille 1 mm:n nimellisvälystä voidaan suurentaa kiinnittimen pinnoitteen paksuuden verran.								
^e Ruuveja, joiden nimellishalkaisija on 12 mm tai 14 mm, ja uppokantaisia ruuveja voidaan myös käyttää 2 mm:n välyksen rei'issä, jos niin esitetään.								
^f Pidennetyissä reiissä ruuvien nimellisvälyksen tulee leveyssuunnassa olla sama kuin normaaleilla pyöreillä rei'illä.								

Perustusruuveilla voidaan käyttää ylisuuria reikien välyksiä, jos reiät peitetään peitelevyillä, joiden paksuus ja mitat ovat tarkoituksen mukaiset. Peitelevyjen reiät on oltava standardin mukaiset. (Tiainen & Papula 2020, 161.) Peitelevyt on hitsattava pohjalevyyn. Jos hitsaus on vaikea toteuttaa pintakäsittelyn takia, voidaan käyttää esimerkiksi juotosbetonointia peitelevyjen sijasta. Perusruuviin toimittajat ilmoittavat suunnitteluohjeissaan toleranssit suunnittelemlleen kiinnikejärjestelmille.

Ruuvien sijoittelu

Ruuveille määriteltyjen vähimmäiskeskiväliden avulla pyritään varmistamaan, ettei ruuvien välissä oleva leikkausrasitus tule määrääväksi. Suurimpien sallittujen reunaetäisyyksien ja keskiväliden rajoittamisella pyritään välttämään korroosiota. Lisäksi puristetuissa rakenteissa pyritään välttämään levyn lommahdusta ja globaalia nurjahdusta. Ruuvien sijoittelussa on edellä mainittujen lisäksi otettava huomioon ruuvien kiristämisen ja mutterin asennuksen tarvitsema tila. Kulmaterästen kohdalla olisi hyvä sijoittaa laippojen ruuvit limittäin toisiinsa nähden. (Tiainen & Papula 2020, 175.)

Ruuvien keskiövälit sekä pääty- ja reunaetäisyydet

Pienimmät ja suurimmat keskiövälit sekä reuna- ja päätyetäisyydet ruuveille on esitetty taulukossa (TAULUKKO 9). Ruuvien sijoitteluun vaikuttaa minimietäisyydet teräsrakenteiden reunoihin sekä ruuvien keskinäisten välien minimi- ja maksimiarvot. Taulukossa d_0 on reiän nimellishalkaisija.

TAULUKKO 9. Keskiöväli sekä pääty- ja reunaetäisyydet (SFS-EN 1993-1-8 2005, 24).

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli, ks. kuva 3.1	Minimiarvo	Maksimiarvo ^{1) 2) 3)}		
		EN 10025 mukaisista teräksistä (paitsi EN 10025-5:n mukaiset teräkset) tehdyt rakenteet		EN 10025-5 mukaisista teräksistä tehdyt rakenteet
		Säälle tai muille korroosiorasituksille altis rakenne	Rakenne, joka ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille	Suojaamaton rakenne
Päätyetäisyys e_1	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ ja 125 mm
Reunaetäisyys e_2	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ or 125 mm
Etäisyys e_3 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Etäisyys e_4 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Keskiöväli p_1	$2,2d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm
Keskiöväli $p_{1,0}$		Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm		
Keskiöväli $p_{1,1}$		Pienempi arvoista $28t$ ja 400 mm		
Keskiöväli p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm

1) Keskiöväleillä, pääty- ja reunaetäisyyksillä ei ole ylärajaa paitsi seuraavissa tapauksissa:

- puristetuissa rakenneosissa paikallisen lommahduksen ja korroosion välttämiseksi korroosiorasituksen alaisena ja;
- korroosiorasitukselle alttiit vedetyt rakenneosat korroosion välttämiseksi.

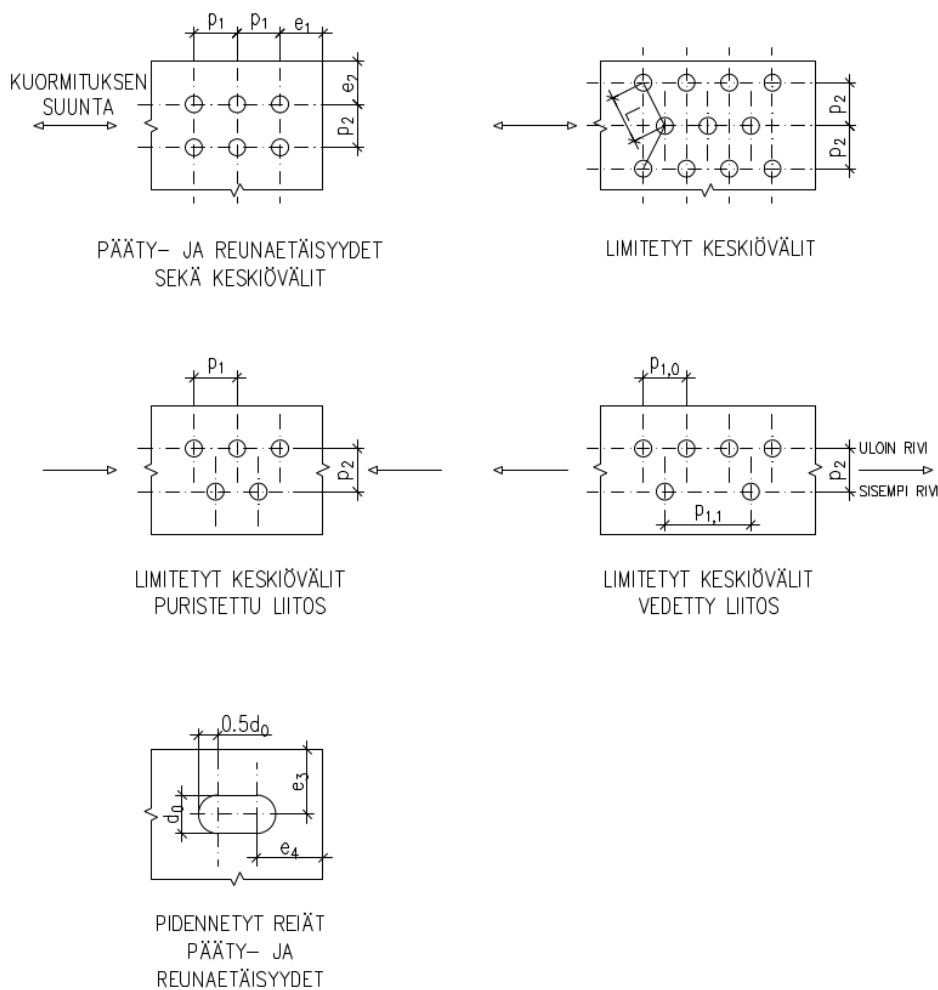
2) Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallinen lommahdus lasketaan standardin EN 1993-1-1 mukaan olettamalla levy pilariksi ja käyttämällä nurjahduspituutena arvoa $0,6p_1$. Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallista lommahdusta ei tarvitse tarkistaa, jos p_1/t on pienempi kuin 9ϵ . Reunaetäisyys saa olla enintään ulokkeelliselle puristetulle taso-osalle esitetyn arvon suuruinen paikallisen lommahduksen estämiseksi, ks. standardi EN 1993-1-1. Tämä vaatimus ei koske päätyetäisyyttä.

3) t on uloimman liitettävän osan pienempi paksuus.

4) Pidennettyjen reikien raja-arvot esitetään kohdan 1.2.7 mukaisessa viitestandardiryhmässä 7.

5) Limitetyille kiinnitinriveille voidaan käyttää minimiarvoa $p_2 = 1,2d_0$, jos kahden limityksessä olevan kiinnittimen välinen minimietäisyys $L \geq 2,4d_0$, ks. kuva 3.1b).

Kuvassa on esitetty pulttien reuna- päätyetäisyyksien ja keskiövälien mitoissa käytettävät merkinnät (KUVA 8).



KUVA 8. Kiinnittimien pääty- ja reunaetäisyyksien sekä keskiövälien merkinnät (mukaillen SFS-EN 1993-1-8 2005, 25, Miettinen 2024).

Mekaaniset kiinnikkeet

Ohutlevyrakenteille tyypillisimpiä kiinnitystapoja ovat itsekiinnittyvät ruuvit eli porautuvat ja itsekierrettävät ruuvit, kuusioruuvit, ammuttavat naulat, niitit ja lyötävät metalliankkurit. Kiinnikkeen valinnassa on huomioitava tarvikkeiden hinnat, työkuustannukset, kuormitukset, korroosioympäristö sekä kiinnitysalustan ja kiinnitettävän osan ominaisuudet. (Tiainen & Papula 2020, 268.)

Teräkseen kiinnitykseen soveltuu ruuvit, naulat ja niitit, puuhun kiinnitykseen käytetään harvakierteisii ruuveja ja betoniin kiinnitykseen käytetään kiilautuvia ankkurikiinnikkeitä tai betoniruuveja. Tyypillisesti ohutlevyrakenteet kiinnitetään itsekiinnittyvillä ruuveilla, koska ne vaativat vain yhden työvaiheen, kun erillistä esiporausta ei tarvita. Kiinnitettävien osien paksuudet määräävät kiinnikkeiden kokonaispituudet ja porakärjenpituudet, jotta niillä on riittävän suuri porautumiskyky. Kiinnikkeet voivat olla hiiliterästä tai ruostumatonta terästä. Hiiliteräs pintakäsitellään sähkösinkityksellä, kuumasinkityksellä tai maalaamalla. Ruostumattomat kiinnikkeet soveltuvat käytettäviksi jopa ilmastorasitusluokassa C5. (Tiainen & Papula 2020, 268.)

Suunnitelmiin kiinnikkeet valitaan ympäristö- ja kiinnitysolosuhteiden, rasitusten ja kiinnikkeiden saatavuuden perusteella. Osa kiinniketoimittajista ilmoittaa kuvastoissaan tarvittavat ominaisuudet, jotta kiinnikkeet on mahdollista tyypittää piirustuksiin. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi ruuvien porautuvuus, tiedot esiporaukselle, rakennepaksuus koko kiinnitykselle ja ympäristörasitusluokat.

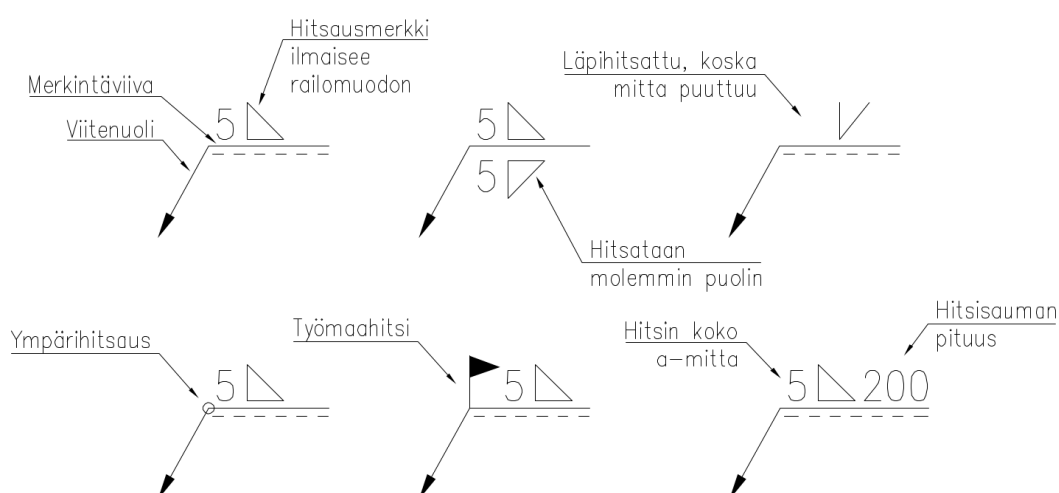
Hitsausliitokset

Teräsosia voidaan liittää yhteen hitsaamalla. Hitsatessa liitoskohtaa kuumennetaan niin, että materiaali sulaa kokonaan tai osittain. Tällöin liitettävien osien aineet sekoittuvat ja jäähtyessään muodostavat liitoksen eli hitsisauman. Sulassa tilassa liitoskohtaan sulatetaan lisäksi yleensä vielä niin sanottua lisäainetta, jotta sauman vahvuudesta voidaan varmistua. Liitettävien kappaleiden välissä olevaa rakoa kutsutaan railoksi, johon liitos hitsaamalla tehdään. Kappaleet voivat olla myös kiinnitoisissaan (Tiainen & Papula 2020, 180–181).

Hitsausliitoksia on kolme eri tyyppiä, joita ovat päittäisliitokset, t-liitokset ja päällekkäisliitokset. Standardissa SFS-EN 1993-1-8 on lisäksi luokiteltu hitsilajit kuuteen ryhmään: pienahitsi, katkopienahitsi, kolopienahitsi, päittäishitsi, tulppahitsi ja pyöröteräksen kylkihitsi. (Tiainen & Papula 2020, 181.)

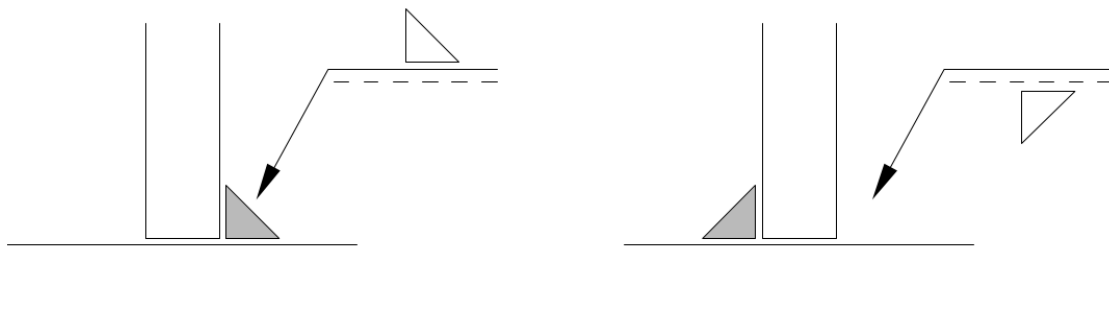
Piirustukissa esitettävä hitsausmerkki sisältää merkintäviivan ja viitenuolen. Lisäksi hitsausmerkissä voidaan esittää railomuoto, hitsin poikkileikkaus, hitsautumissyvyys, etäisyydet osahitseille, ympärihitsaus, hitsin sijainti, hitsin pinta, osahitsien lukumäärä, vuorohitsaus, asennushitsaus, hitsausohje, hitsausprosessi, hitsiluokka, hitsausasento ja lisäaine. (KUVA 9.) (Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry 2020, 5, 7.)

Mitta hitsausmerkin oikealla puolella kertoo hitsisauman pituuden, jos hitsausmerkin oikealla puolella ei ole mitta, hitsi on koko liitoksen pituudella. Hitsin koko ilmaistaan hitsausmerkin vasemmalla puolella. Mikäli kokoa ei ole ilmoitettu, kyseessä on läpihitsaus eli hitsaussyvyys on koko perusaineen ainevahvuus. Ympärihitsauksen merkintä on ympyrätunnus, joka tarkoittaa, että hitsisauma kiertää ympäri koko hitsattavan liitoksen. Työmaahitsi ilmaistaan lipputunnuksella, tällöin hitsaus tehdään työmaalla.



KUVA 9. Hitsausmerkinnät (Miettinen 2024).

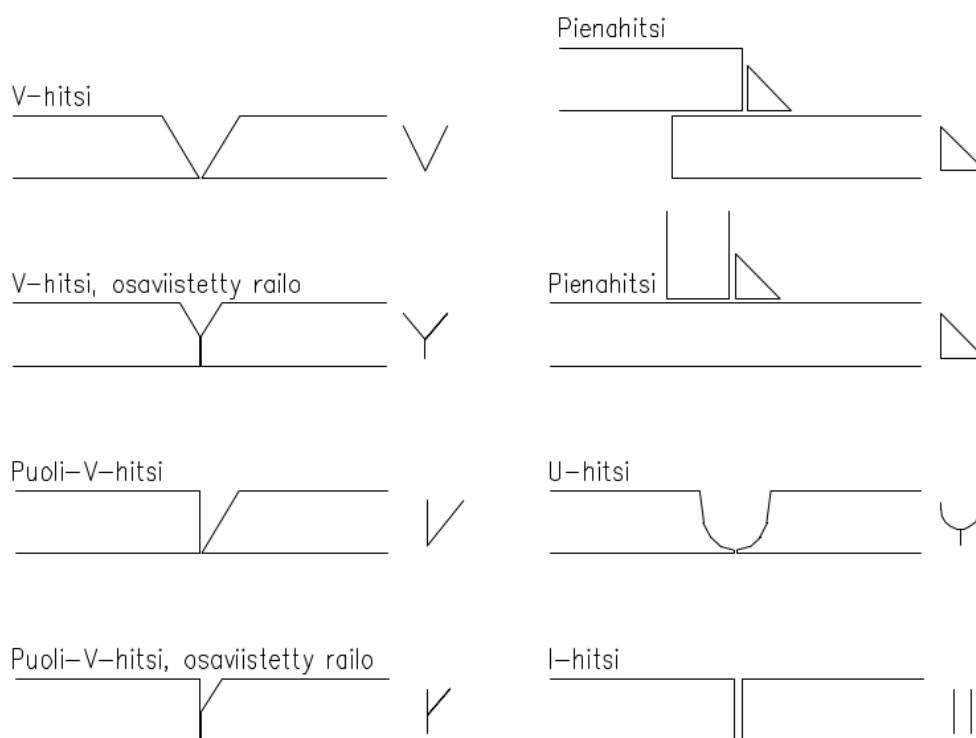
Kaksi yhdensuuntaista merkintäviivaa ilmaisevat hitsin sijainnin (KUVA 10). Jos hitsi on viitenuolen puolella, piirretään hitsausmerkki ehyen viivan puolelle. Jos hitsi on vastapuolella, piirretään hitsausmerkki katkoviivan puolelle. Symmetrisillä hitseillä katkoviiva jätetään pois. (Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry 2020, 8.)



KUVA 10. Hitsisauman sijainti (Miettinen 2024).

Hitsilajit

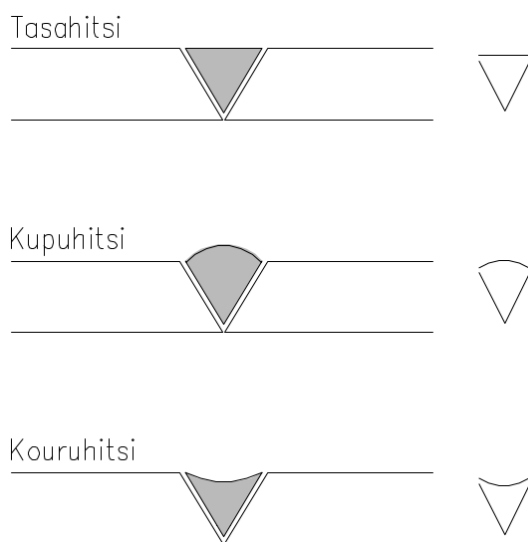
Kuvassa on esitetty tyypillisiä hitsilajeja ja piirustuksissa niille käytettävät merkinnät. Pienahitsi on yleisin hitsilaji, koska se ei vaadi erillisten viisteiden tekoa, jolloin yksi työvaihe jää pois. Muita yleisesti käytettäviä hitsilajeja ovat puoli-V-hitsi koko aineen vahvuisena ja osaviistetyllä railolla. (KUVA 11.)



KUVA 11. Tyypillisiä hitsilajeja ja niiden tunnuksat (Miettinen 2024).

Hitsisauman pinnanmuoto

Hitsisauman pinnanmuoto esitetään hitsausmerkinnässä lisätunnukseksi. Tasahitsissä hitsisauman pinta on nimensä mukaisesti tasainen, kupuhitsissä kupera ja kouruhitsissä kovera. Jos lisätunnusta ei ole, hitsin pinnalle ei ole asetettu vaatimuksia. (KUVA 12.)



KUVA 12. Hitsienpinnan muotoja (Miettinen 2024).

Hitsisauma

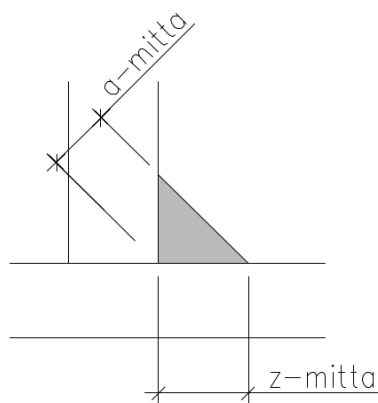
Hitsattaessa syntyy hitsisauma. Hitsisauma voi valmistua yhdellä hitsauskerralla, mutta paksumpaan hitsisaumaan tarvitaan useampi hitsauskerta. Jokaisella hitsauskerralla muodostunut osa on nimeltään palko. (Tiainen & Papula 2020, 183–184.) A-mitaltaan maksimissaan 4 mm pienahitsi voidaan toteuttaa yhdellä hitsauskerralla. Tästä suuremmat hitsikoot on tehtävä useammalle palolla. Mitä suurempi on hitsin a-mitta, sitä kalliimpaa on hitsaus. Kustannukset kasvavat huomattavasti hitsisauman koon kasvaessa.

Hitsisauman koko

Tavanomaisesti rakennesuunnittelija määrittää hitsin koon, joka kestää hitsiin kohdistuvat rasitukset. Tyypillisesti käytetään pienahitsiä, jolle määritetään a-mitta (KUVA 13). Suomessa hitsausmerkinässä ilmoitetaan ainoastaan a-mitta. Pienahitsin pienin efektiivinen mitta voimia siirtävissä liitoksissa on 3 mm. Hitsin z-mitta saadaan kaavasta (KAAVA 1). Z-mitta ilmoittaa hitsin sivumitan, joka määrittää hitsin tilantarpeen.

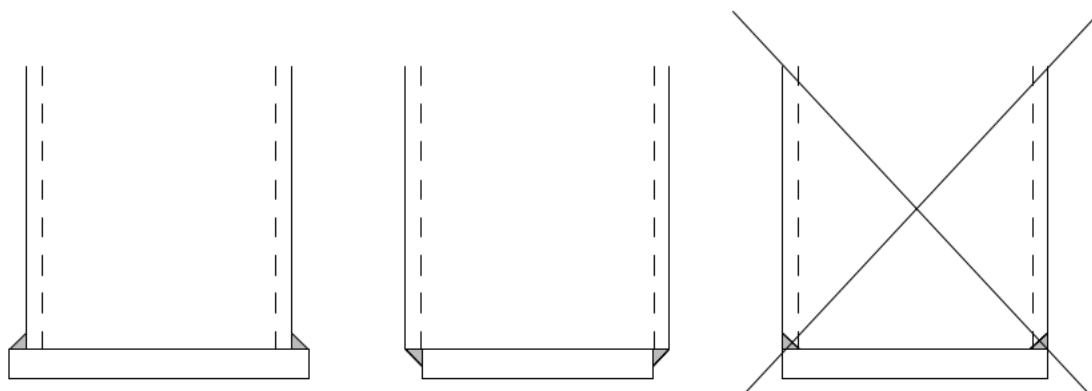
$$z = \sqrt{2} * a \quad (1)$$

missä z on hitsin vaatima tila ja a on hitsin efektiivinen a-mitta.



KUVA 13. Pienahitsin efektiiviset a- ja z-mitat (Miettinen 2024).

Tilantarve on huomioitava rakenteita mallinnettaessa, jotta hitsit on mahdollista toteuttaa. Suositeltavaa on mallintaa rakenteet niin, että pienahitsille jätetään tila aina, kun se on mahdollista, jotta vältetään työläämmiltä puoli-v-hitseiltä ja sen tarvitsemilta viisteiltä. (KUVA 14.)



KUVA 14. Pienahitsin tilantarve (Miettinen 2024).

Hitsausluokat

Standardissa SFS-EN ISO 5817 on määritelty hitsausluokat, joita sovelletaan hitsausliitoksiin. Hitsausluokat perustuvat sallittaviin hitsausvirheisiin, joille on annettu raja-arvot standardissa. Hitsausluokat ovat D, C ja B. Standardin EN 1090-2:2018 mukaan hitsiluokka määräytyy koko rakenteen, rakennusosan tai tietyn yksityiskohdan toteutusluokan EXC1...EXC4 mukaan. Hitsausluokka ei vaikuta hitsien mitoittamiseen.

- toteutusluokassa EXC4 hitsiluokka on D
- toteutusluokassa EXC2 hitsiluokka on yleensä C
- toteutusluokassa EXC3 hitsiluokka on B
- toteutusluokassa EXC4 hitsiluokka on B, mutta projektikohtaisesti voidaan määritellä lisävaatimuksia. (Tiainen & Papula 2020, 192–193.)

Pienahitsin kestävyys

Standardissa SFS-EN 1993-1-8 on kaksi tapaa pienahitsin mitoittamiseen: komponenttimenetelmä ja yksinkertainen menetelmä. Komponenttimenetelmä on työläs ja kömpelö käyttää yksinkertaisissa suunnittelutilanteissa, koska siinä täytyy rakenteeseen kohdistuvat voimasuureet muuttaa jännitykiksi hitsin leikkaantumistasossa. Yksinkertaistettu menetelmä on helppokäyttöisempi ja antaa kaikissa tapauksissa varmallalla puolella olevia hitsikokoja. Joissain tapauksissa yksinkertaisella menetelmällä mitoitettujen hitsien voimat voidaan ottaa huomioon varmallalla puolella ja tästä syystä epäkäytännöllisiä ja kalliita toteuttaa. Komponenttimenetelmästä on tästä syystä johdettu eri tilanteisiin käytännön mitoituskaavoja, jotka ovat yksinkertaisia käyttää ja antavat yksinkertaista menetelmää tarkempia tuloksia. (Tiainen & Papula 2020, 198.)

Paksuussuuntaiset ominaisuudet

Hitsatuissa nurkka-, X- ja T-liitoksissa voi esiintyä lamellirepeilyä, joka on riippuvainen teräksen paksuussuuntaisista ominaisuuksista. Jos Z:n vaadittu mitoitusavo, on pienempi kuin materiaalille käytettävissä oleva Z:n mitoitusarvo, ei lamellirepeilyvaaraa tarvitse ottaa huomioon. (SFS-EN 1993-1-10: Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–10: Materiaalin sitkeys ja paksuussuuntaiset ominaisuudet 2005, 14.)

Standardeissa SFS-EN 1993-1-10 ja SFS-EN 10164 on esitetty kaavat ja mitoitusehto tarkastelua varten. Esimerkiksi teräspilareiden paksut pohjalevyt voivat vaatia käytettäväksi materiaalia S355J2+N Z25.

5.1.8 Teräsrakenteiden toteutus

Teräsrakenteet valmistetaan, kokoonpannaan, asennetaan ja tarkastetaan teräsrakenteiden toteutus- ja asennuseritelmän sekä standardien ja kansallisten liitteiden vaatimusten mukaisesti. Teräsrakenteiden asentaja laatii myös asennussuunnitelman.

Suunnittelijan on hyvä tuntea konepajan toimintaa ja tuotantovaiheiden ymmärtäminen on oleellinen osa suunnitteluosaamista, koska suunnitteluratkaisuilla voidaan vaikuttaa teräsrakenteiden toteutettavuuteen ja kustannuksiin merkittävästi. Teräsrakenteiden toteutus alkaa konepajalta ja päättyy työmaalla rakenteen asennukseen. Teräsrakenteiden toteutuksen vaatimukset määrittää standardissa SFS-EN 1090-2:2018, kun ne on suunniteltu standardin SFS-EN 1993 mukaan. Toteutusluokka määrittää vaatimustason teräsrakenteiden toteutukselle. Toteutukseen sisältyvät toiminnot kattavat rakennustyön fyysisen toteuttamisen eli hankinnat, konepajavalmistuksen, hitsaamisen, mekaanisen kiinnittämisen, kuljetukset, asennuksen, pintakäsittelyn sekä tarkastukset ja dokumentoinnin. (Tiainen & Papula 2020, 299.)

Teräsrakenteet olisi hyvä suunnitella siten, että ne toteutetaan mahdollisimman valmiiksi jo konepajalla, jolloin asennus työmaalla on nopeampaa, yksinkertaisempaa ja turvallisempaa. Suunnittelussa täytyy huomioida, että suunnitelmien mukaiset materiaalit ovat saatavilla, kaikki työmaa-asennuksessa tarvittavat mitat ja osien tunnuksat on esitetty selkeästi piirustuksissa, liitokset ovat mahdollisimman yksinkertaisia, työmaalla tehtäviä hitsejä on vältetty ja työmaan aikainen stabiilius on varmistettu. (Tiainen & Papula 2020, 299.)

Teräsrakenteiden toteutusluokka

Teräsrakenteiden toteutusta määrittää standardi SFS-EN 1090-2:2018. Teräsrakenteiden toteutusluokkia on neljä: EXC1...EXC4. Luokkien vaatimukset kasvavat siirryttäessä luokasta 1 kohti luokkaa 4. Toteutusluokka vaikuttaa kustannuksiin, joten se on määriteltävä hyvissä ajoin, mielellään jo urakkatarjousvaiheessa. Toteutusluokka voi koskea vain yksityiskohtaa, osaa tai koko rakennetta tai rakenteella voi olla useita toteutusluokkia. Jos toteutusluokkaa ei ole erikseen määritelty, sovelletaan toteutusluokkaa EXC2. (Ongelin & Valkonen 2016, 469.) Yksittäisen kokoonpanon ja yksityiskohdan toteutusluokka valitaan yleensä samaksi koko rakenteen toteutusluokan kanssa (Ympäristöministeriö 2019a, 20).

Toteutusluokan valinta perustuu luotettavuusluokkaan RC, seuraamusluokkaan CC ja kuormitus-tyyppiin. Taulukossa on esitetty toteutusluokan valinta eurokoodi 3:n (SFS-EN 1993-1-1 2014, LIITE C, 10) mukaisesti. (TAULUKKO 10.) Tarkemmat tiedot on tarkastettava lähdemateriaalista ja kansallisesta liitteestä.

TAULUKKO 10. Toteutusluokan valinta (mukaillen SFS-EN 1993-1-1 2014, LIITE C, 10).

Luotettavuusluokka RC tai Seuraamusluokka CC	Kuormituksen tyyppi	
	Staattinen, kvasi-staattinen tai seisminen DLC ^{a)}	Väsyttävä ^{b)} tai seisminen DCM tai DCH ^{a)}
RC3 tai CC3	EXC3 ^{c)}	EXC3 ^{c)}
RC2 tai CC2	EXC2	EXC3
RC1 tai CC1	EXC1	EXC2

^{a)} Seismiset sitkeysluokat määritellään standardissa EN 1998-1: Matala = DCL; Keskimääräinen = DCM; Korkea = DCH.

^{b)} Ks. standardi EN 1993-1-9.

^{c)} Toteutusluokka EXC4 voidaan esittää rakenteille, joiden rakenteellinen vaurio voi aiheuttaa äärimmäiset seuraamukset.

Teräsrakenteiden konepajavalmistus

Konepajoilla on erilaisia valmistusprosesseja, työtapoja ja työvälineitä. Konepaja ei usein suunnittele työtä tehdessä ole tiedossa, joten suunnitelmiin ja asiakirjoihin voidaan joutua tekemään muutoksia konepajan valinnan jälkeen. Piirustukset toteutetaan mahdollisimman yleispätevinä, jotta muutoksia myöhemmässä vaiheessa tulisi mahdollisimman vähän.

Kustannusten kehittyminen teräsrakennesuunnittelussa on samankaltainen kuin muillakin rakenteilla. Rakenteeseen tulevat muutokset, jotka tehdään ennen konepajapiirustusten tekemistä ovat helppoja ja nopeimpia toteuttaa, koska päivityksiä täytyy tehdä vain tietomalliin, asennuspiirustukseen ja materiaaliluettelon. Konepajapiirustusten, eli osa- ja kokoonpanopiirustusten, tekemisen jälkeen rakenteeseen tehtävät muutokset ovat huomattavasti työlämpiä, ja tästä syystä myös kalliimpia toteuttaa. Jos rakenteeseen tulee muutoksia osien konepajavalmistuksen jälkeen, ovat kustannukset jo huomattavia, ja rakennustyömaalla tehtävät muutokset edellistäkin kalliimpia.

Konepaja tilaa tarvittavat materiaalit, kuten aihiot ja levyt materiaaliluettelon perusteella. Konepajavalmistus alkaa levyjen leikkaamisella ja aihoiden valmistelulla, mikä tehdään levy- ja ahiopiirustusten mukaisesti. Kun tarvittavat osat on valmistettu, kootaan ne kokoonpanoiksi kokoonpanopiirustusten avulla. Kokoonpanojen hitsauksen jälkeen ne pintakäsittellään ennen varastointia tai työmaalle kuljetusta.

Konepajoilla on erilaisia käytäntöjä osien valmistukseen, joten konepajan valinnan jälkeen varmistuu lopulliset tiedot tiedostomuodoista ja julkaistavista asiakirjoista. Monet konepajat valmistelevat osat tietokoneohjauksen avulla, joten esimerkiksi levyosat halutaan usein DXF- tai DSTV-formaateissa. Aihio-, kokoonpano- ja asennuspiirustukset julkaistaan yleensä DWG-formaatissa. Kaikista piirustuksista julkaistaan myös PDF-tulosteet.

Teräsrakenteiden kuljetus ja asennus

Rakenteiden suunnittelussa ja teräskokoonpanojen määrittämisessä tulisi huomioida kuljetuksen, nostojen ja asennuksen asettamat rajoitukset. Teräsrakenteissa tavoitteena on tehdä konepajalla mahdollisimman suuria kokoonpanoja, jotta asennustyö työmaalla nopeutuu ja helpottuu. Kuljetus ja työmaa-asennus tuovat omat rajoitteensa kokoonpanojen maksimimitoille. Myös konepajalla voi olla tuotannollisia syistä maksimimitoille ja -painoille.

Teräsrakenteet kuljetetaan työmaalle tyypillisesti maantiekuljetuksena, jolloin niiden kokoa rajoittavat normaaliliikenteen mitta- ja massarajoitukset. Optimaalisessa tilanteessa kuljetukset voidaan tehdä normaalikuljetuksina, jolloin normaaliliikenteen mittarajat eivät ylity. Kuljetukset voidaan tehdä myös erikoiskuljetuksina (ei luvanvarainen), kun normaalit mittarajat ylittyvät, mutta erikoiskuljetuksen mittarajat eivät ylity. Jos kuljetukset joudutaan tekemään luvanvaraisina erikoiskuljetuksina, kuljetuskustannukset nousevat huomattavasti.

Taulukossa on esitetty kokonaismittarajat korkeudelle ja leveydelle maantieliikenteen normaaliliikenteelle ja erikoiskuljetuksille, kun erikoislupaa ei tarvita (ELY-keskus 2020a, ELY-keskus 2020b). Huomioitavaa on, että esitetyt mitat ovat kuljetusten kokonaismittoja, joissa on mukana myös ajoneuvojen mitat. (TAULUKKO 11.) Kuljetusten maksimipituus vaihtelee kuljetuskaluston mukaan. Trailerilla maksimipituutena *kuormalle* voidaan pitää 15 m (Tiainen & Papula 2020, 311).

TAULUKKO 11. Maantiekuljetusten mittarajat kuljetusten kokonaismitoille.

Mittarajat	Kokonaiskorkeus	Kokonais - leveys
Normaaliliikenne	4,40m	2,60m
Erikoiskuljetus (ei luvanvarainen)	4,40m	4,00m

Työmaa-asennusta varten suunnittelijan on huomioitava, että rakenteet on mahdollista nostaa ja asentaa paikoilleen. Teräsosiin on tarvittaessa lisättävä nostoreiät- tai konsolit, joista kokoonpanot on turvallista nostaa. Teräsrakenteet asennetaan paikoilleen asennuspiirustuksen ja teräsrakenteiden asennuseritelmän mukaisesti. Asennuksenaikainen tuenta on huomioitava jo suunnitteluvaiheessa, jotta rakenteiden asennus on mahdollista toteuttaa tehokkaasti ja turvallisesti. Optimaalisesti asennus voidaan tehdä ilman erillisiä työmaatuntoja. Asennuseritelmässä ja standardeissa on esitetty yksityiskohtaiset ohjeet työmaa-asennusten toteuttamiselle.

5.2 Betoni

Betonirakenteiden suunnittelussa Suomessa tulee käyttää eurokoodeja: SFS-EN 1991 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat, SFS-EN 1992 Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu ja SFS-EN 1997 Eurokoodi 7. Geotekninen suunnittelu (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 14).

Betonirakenteiden suunnitteluun on tarjolla runsaasti ohjemateriaalia standardien ja kirjojen lisäksi esimerkiksi Betoniteollisuus ry:n ylläpitämällä sivuilla betoni.fi ja elementtisuunnitelu.fi.

Betoni on kantavien rakenteiden rakennusmateriaalina erinomainen sen suuren puristuslujuuden ansiosta. Teräsbetonirakenteiden avulla voidaan saavuttaa pitkiä jännevälejä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 9.) Teräsbetonirakenteille on tyypillistä niiden suuri ominaispaino, joka on noin 25 kN/m³. Teräsbetonirakenteilla on hyvät jäykkyys- ja lujuusominaisuudet sekä palonkestävyys- ja ääneneristävyysominaisuudet sen korkean ominaispainon vuoksi. Betonirakenteilla on myös korkea kotimaisuusaste ja ne tarjoavat mahdollisuuden materiaalin uusiokäyttöön. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 209.)

Betonimassan koostumus on oltava sellainen, että se kovettuaan täyttää sille asetetut vaatimukset. Betonin valu- ja työstettävyysominaisuuksiin vaikuttaa kiviaineksen maksimiraekoko. Maksimiraekoko valitaan rakenteen mittojen ja muodon sekä raudoitteiden mukaan. Raekoko valitaan mahdollisimman suureksi, jotta haitallinen kutistuminen pienenee. Betonin maksimiraekoko voi tyypillisesti olla 8, 12, 16 tai 32 mm. Kantavissa rakenteissa valitaan tyypillisesti maksimiraekoko, joka on $\leq 1/3$ rakenteen paksuudesta. Tiheä raudoitus ja rakenteen muoto voivat vaikuttaa raekoon valintaan. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 73).

5.2.1 Paikallavalurakentaminen

Paikallavalurakentamisessa betonirakenteet muotitetaan ja valetaan työmaalla, jolloin niiden mitat ja muodot ovat suhteellisen vapaat. Paikallavaletut betonirakenteet ovat monoliittisia, tiiviitä ja niillä on hyvät ääneneristysominaisuudet sekä lämpötilanvaihteluita tasaavat ominaisuudet. (Betoniteollisuus ry julkaisuaika tuntematon a.) Paikallavalurakenteita käytetään suhteellisen paljon teollisuusrakentamisessa. Paikallavaluissa työmaa-aikatauluja on helpompi päivittää, koska työ ei ole riippuvainen esimerkiksi elementtitehtaan aikatauluista. Paikallavalamalla voidaan toteuttaa hyvinkin massiivisia rakenteita, jotka ovat teollisuusrakentamiselle tyypillisiä. Paikallavalamalla tehdään tyypillisesti erilaiset perustukset, peruspilarit, altaat, massiiviset tukimuurit, maanpaineseinät ja maanvaraiset laatat.

5.2.2 Betonielementtirakentaminen

Betonielementtien etuna on niiden nopea asennus työmaalla, koska ne on valmistettu tehtaassa mahdollisimman pitkälle. Teolliset rakennejärjestelmät tarjoavat parempaa tuottavuutta ja laatua. Elementtirakentamisen etuna on kuivatusvaiheen lyhyempi kesto. Esijännitetyt betonivalmisosat toimivat pitkissä jänneväleissä, jolloin tilat ovat monikäyttöisiä ja muunneltavia. Valmisosarakentamisen etuja ovat toteutuksen tarkempi suunnittelu etukäteen sekä rakennusajan lyheneminen. Aikataulut suunnitellaan yleensä hyvin tarkasti etukäteen, jotta toimitukset saapuvat paikalle oikeaan aikaan. (Elementtisuunnittelu 2020.) Betonielementtejä käytetään paljon teollisuuskohteissa, koska työmaa-aikataulut ovat kireitä ja kohteet haastavia. Rakennukset tai huonetilat voivat olla korkeita ja

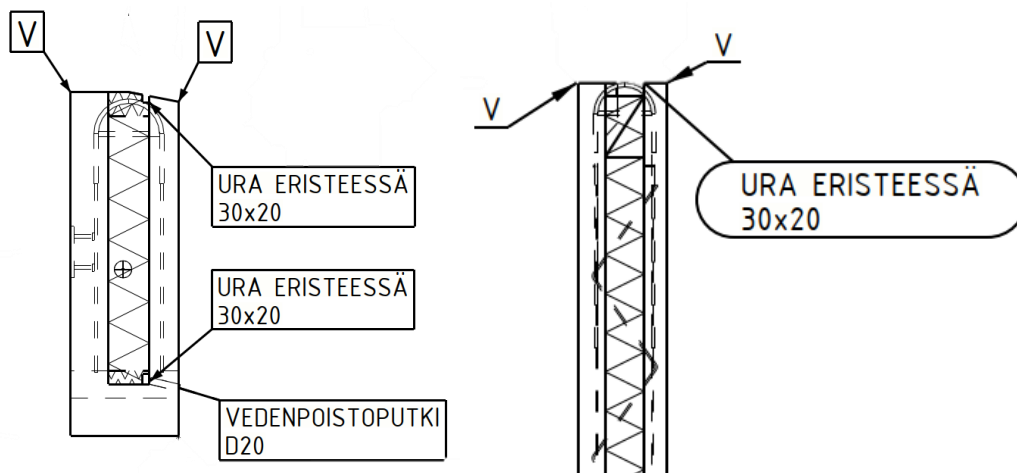
jännevälit pitkiä, joten esijännitetyille rakenteille on myös tarvetta. Teollisuudessa tyypillisesti käytössä olevien elementtirakenteita ovat rakennusten pilari-palkkirungot, kantavat väli- ja yläpohjarakenteet sekä kantavat ja ei-kantavat seinät. Elementtisuunnittelu.fi sivustolla on kattavasti tietoa eri runkorakenteista, kuten suunnitteluohjeita, mittasuosituksia ja piirustusohjeita.

Seinät

Sandwich-elementit ovat tyypillisiä rakennuksissa, joissa on kantavat väliseinät ja rakennuksen päädyissä kantavat ulkoseinät, joiden sisäkuoren varaan laatta tukeutuu. Seinäelementit valmistetaan valmiiksi elementtitehtaalla ja työmaavaihe on nopea. Näin rakennus saadaan nopeasti säältä suojaan. Kuorielementtejä käytetään, kun lämmön eristämiseksi ei ole tarvetta tai se toteutetaan työmaalla.

Kantavat seinät ovat tyypillisesti sandwich-elementtejä tai kuorielementtejä. Ei-kantavat seinät ovat yleensä sandwich-elementtejä, jotka on tuettu päällekkäin ja kiinnitetty pilareihin. Sokkeli-sandwichelementit ovat seinäelementtien kaltaisia, mutta niissä on alareunassa elementin eristeen kohdalla betonikannas ja vedenpoistoputket. (KUVA 15.)

Seinäelementtien kuoret sidotaan yhteen diagonaaliensaiden avulla ja sokkelielementeissä alareunan betonikannaksen sekä yläreunan ruostumattomien hakojen avulla.



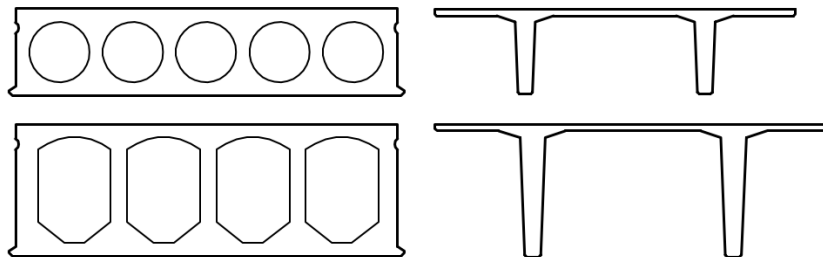
KUVA 15. Esimerkit sokkelielementistä ja ei-kantavasta sandwichelementistä (Miettinen 2024).

Palkit ja pilarit

Betonelementtipalkkeja on suorakaidepalkit, leukapalkit, I- ja HI-palkit sekä ratapalkit. Palkit voivat olla teräsbetonipalkkeja tai jännebetonipalkkeja. Betonelementtipilarit ovat poikkileikkaukseltaan suorakaiteita, neliöitä ja pyöreitä. Palkkien ja pilarien suositeltavat mittasuositukset, rei'itys- ja suunnitteluohjeet voi tarkastaa elementtisuunnittelu.fi sivustolta.

Laatat

Prosessiteollisuudessa rakennusten väli- ja yläpohjat toteutetaan tyypillisesti ontelolaatoilla, kuorilaatoilla tai TT-laatoilla (KUVA 16). Ontelolaatta on yleisin esijännitetty laattaelementtityyppi, joka on käytössä teollisuusrakennusten väli- ja yläpohjissa.



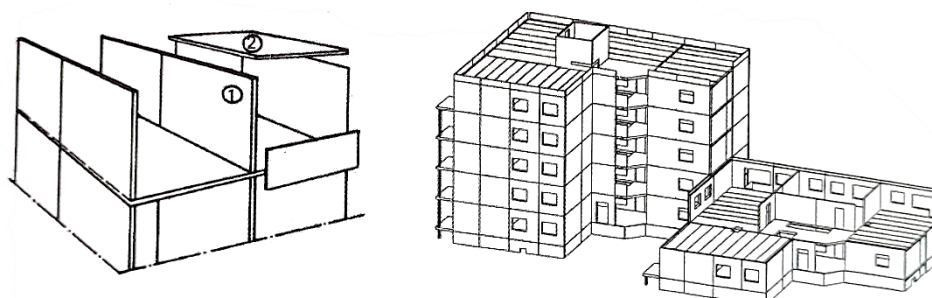
KUVA 16. Ontelolaatta ja TT-laatta (Miettinen 2024).

5.2.3 Betonirunkojen rakennejärjestelmät

Rakennus koostuu rungosta ja runkoa täydentävistä osista tai rakenteista. Rakennuksen runko on kuormia kantava ja rakennusta jäykistävä kokonaisuus perustusten yläpuolella. Rakennuksen rungon tehtävä on siirtää kaikki siihen kohdistuvat kuormat perustuksille. Rakennusten rungot voidaan jaotella erilaisiin runkotyypeihin niiden erilaisten rakenneteknisten ominaisuuksien perusteella. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 77.)

Kantavat seinät - laattarunko

Runkotyyppissä kantavat ja jäykistävät seinät tukeutuvat laattoihin (KUVA 17). Esimerkiksi betonirunkoiset kerrostalot toteutetaan nykyään yleensä tätä tekniikkaa käyttäen. Pystyrakenteet voivat olla joko paikallavalu- tai elementtirakenteisia ja vaakarakenteet ovat tyypillisesti ontelolaattoja. Tässä runkotyyppissä kantavia ja samalla jäykistäviä seiniä tulee yleensä olla molempiin pääsuuntiin, koska ne jäykistävät rakennetta pääsääntöisesti vain kohtisuorassa suunnassa itseensä nähden. Jos kantavia seiniä on ainoastaan toiseen suuntaan, jäykistys hoidetaan yleensä porrashuoneiden (sydänmas-tojäykistys) tai ei-kantavien seinien avulla. Vaakasuuntainen laatasto kytkee pystysuuntaiset rakennusosat toisiinsa ja toimii näin osana jäykistävää kokonaisuutta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 77–78.)

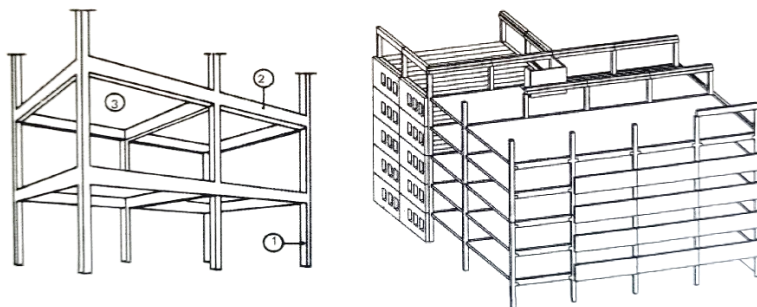


KUVA 17. Kantavat seinät - laattarunko (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 77).

Teollisuudessa kantavat seinät -runkotyyppi on yleisesti käytössä pienemmissä ja monikerroksisissa rakennuksissa, jotka tarjoavat tilat esimerkiksi prosessien tukitoiminnoille, joita voivat olla sähkö- ja muuntajarakennukset sekä sosiaali- ja toimistotilat. Seinät ovat tyypillisesti sandwich-elementtejä ja väli- ja yläpohjat ontelolaattoja.

Pilari - palkkirunko

Teollisuus- ja varastorakennuksissa käytetään kantavana runkona tyypillisesti pilari-palkkirunkoa (KUVA 18). Rakennukset ovat tyypillisesti yksikerroksisia halleja, joihin voi liittyä useampikerroksisia toimisto- ja aputiloja. Teollisuusrakennuksissa tuotantotoiminnan vaatimusten mukaan suunnitellun rakennuksen rungon on oltava muuntojoustava ja kantavia pystyrakenteita on oltava mahdollisimman vähän. Muuntojoustavuus voidaan huomioida riittävän suurella kantokyvyllä ja pitkillä jänneväleillä. Pilari-palkkirungot teollisessa rakentamisessa jäykistetään yleensä teräsbetonisilla mastopilaireilla, jäykistysristikoilla tai betoniseinillä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 431.)

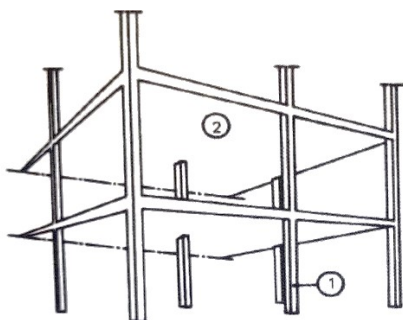


KUVA 18. Pilari - palkkirunko (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 78).

Pilarit, palkit ja laattastot on tyypillistä toteuttaa elementtirakenteisina. Palkit ovat jännitettyjä tai teräsbetonisia I- tai H-palkkeja ja väli- ja yläpohjat ovat yleensä jännitettyjä ontelo- tai kuorilaattoja.

Pilari - laattarunko

Runkotyyppissä paikallavaletut teräsbetonilaatat tai jännebetonirakenteiset laatat tuetaan suoraan pilareihin (KUVA 19). Pilarit voivat olla joko paikallavalettuja tai elementtirakenteisia. Jännebetonilaatoilla päästään pitkiin jänneväleihin ja laattaratkaisut voivat olla hyvinkin monimuotoisia. Runko jäykistetään joko porrashuoneiden avulla tai ristikkojäykistyksellä. Tämä tyyppi on yleinen toimisto- ja liikerakennuksissa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 79.)



KUVA 19. Pilari - laattarunko (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 79).

5.2.4 Betonin lujuusluokat

Kovettuneen betonin ominaisuuksista tärkeimpiä ovat sen lujuus ja säilyvyys erilaisia rasituksia vastaan. Betonin puristuslujuus on sen tärkein ominaisuus, ja sen avulla määritetään tyypillisesti myös sen muut keskeiset ominaisuudet. Betonin vetolujuus on noin 5...8 % sen puristuslujuudesta. Vetolujuus on oleellinen raudoittamattomia betonirakenteita suunniteltaessa sekä arvioitaessa halkeiluriskejä ja niiden haittoja. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 84.)

Betoni luokitellaan sen puristuslujuuden perusteella lujuusluokkiin, joiden perusteella määräytyy suunnittelussa käytössä olevat mekaaniset ominaisuudet. Lujuusluokat ilmaistaan lieriölujuuden ja kuutiolujuuden ominaisarvojen avulla. Lujuusluokkia betonilla on C12/15...C90/105 välillä 14. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 35–37.) Betonin lujuusluokkia, joita käytetään teollisuudessa ovat C25/30, C30/37, C35/45 ja C40/50.

Lujuusluokissa esitetyt betonin lujuuden arvot ovat betonin täysin kehittyneitä lujuuksia. Tämä tarkoittaa 28 vuorokautta vanhan standardioloissa säilytetyn betonin testattuja lujuuksia. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 39.) Elementtituotannon ja työmaan kannalta on oleellista tuntea betonin jäätymislujuus sekä muottien ja telineiden purkamislujuus. Jäätymislujuudesta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä lujuutta, jonka jälkeen betonin voidaan antaa jäätyä ilman, että se vaurioituu. Käytännössä siis kyseessä on lujuus, kun rakenneosan lämmittämisen talvella voi lopettaa. Jäätymislujuuden minimiarvo on 5 MN/m². Muottien tukirakenteet voi purkaa, kun luotettavasti on todettu betonin kovettuneen niin paljon, että rakenteet kestävät niille tulevat rasitukset eikä niihin synny liian suuria muodonmuutoksia. Betonin lujuuden muotinpurkuhetkellä täytyy olla vähintään 60 % sen nimellislujuudesta, ellei suunnitelmissa ole muuta mainittu. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 91.)

5.2.5 Raudoitettu betoni

Teräsbetoni on yhdistelmämateriali, joka muodostuu betonista ja raudoituksesta. Sen hyvät ominaisuudet tulevat betonin puristuskestävyydestä ja raudoituksen veto- ja taivutuskestävyydestä. Lisäksi betoni suojaa raudoitusta korroosiolta sekä liialta lämpenemiseltä ja pehmenemiseltä tulipalotilanteessa. Teräsbetonin oikean toiminnan edellytyksenä on, että jännitykset ja muodonmuutokset siirtyvät raudoituksen ja betonin välillä niiden välisen kontaktin eli tartunnan avulla. Raudoitus sijoitetaan betonirakenteen alueille, joille muodostuu vetorasituksia, mutta raudoituksia voidaan käyttää myös vahvistamaan puristusrasitettua betonia. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 56.) Tässä työssä ei käsitellä tarkemmin raudoitteiden mitoitusta tai sijoittelua betonirakenteessa, mutta esitellään tarvinta- ja jatkospituudet raudoitteille.

Betoniteräksiset

Puhuttaessa betoniteräksistä tarkoitetaan kuumavalssaamalla tai kylmämuokkaamalla hiiliteräksestä tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuja hitsattavia harjakuvioituja teräksiä (Suomen Betoniyhdistys ry 2023, 36). Betoniterästen lujuusluokat ovat 400, 500, 600 ja 700 MPa niiden myötölujuuden ominaisarvon perusteella. Teräksiset jaetaan myös sitkeysluokkiin A, B ja C. Luokan A betoniteräs on vähiten sitkeää ja luokan C teräs on sitkeintä. Teräsluokka esitetään tunnuksella, jossa ensin ilmaistaan, että kyseessä on betoniteräs B, seuraavana ilmaistaan teräksen myötölujuuden arvo ja

viimeisenä sitkeysluokka. Suomessa ympäristöministeriö on säätänyt kantavien betonirakenteiden raudoitteiden ja rauditusverkkojen oleelliset tekniset vaatimukset. Raudoitteiden tulee olla tyyppi-hyväksytyjä, ja tällä voidaan osoittaa, että ne täyttävät maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellyt vaatimukset. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 54–55.)

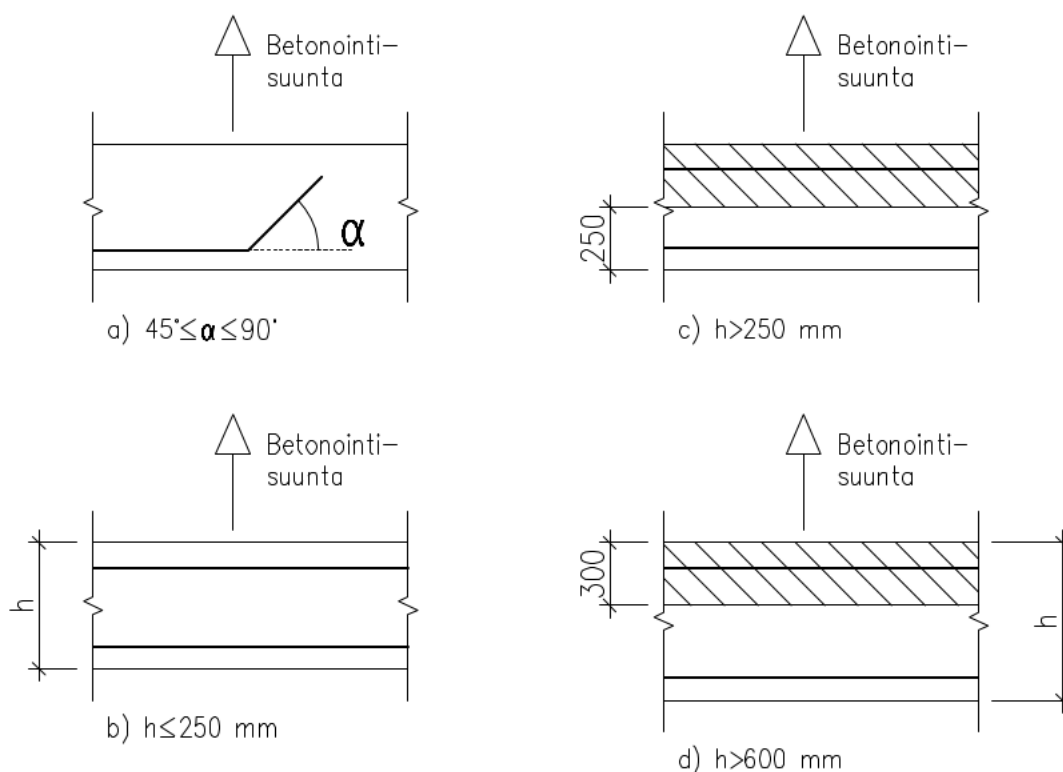
E kirjain teräksen tunnuksen edessä tarkoittaa ruostumatonta raudoiteterästä. Ruostumatonta terästä käytetään betoniraudoituissa harjaterästä vähemmän sen kalliimman hinnan vuoksi. Rauditus voidaan toteuttaa ruostumattomilla teräksillä, jos esimerkiksi riittävää suojaetäisyyttä ei voida taata.

Teollisuusrakentamisessa yleisesti käytössä olevat betoniraudoitteiden tunnukset:

- hitsattava kuumavalssattu harjatanko: T=B500B
- kylmämuovatuista harjatangoista tehty rauditusverkko: K=B500K
- kylmämuovattu ruostumaton betoniteräs: E=B600KX
- ruostumaton betoniteräsverkko: E=B600KX

Tartuntaolosuhteet

Tartuntaolosuhteet vaikuttavat ankkurointipituuksiin oleellisesti. Hyvät tartuntaolosuhteet toteutuvat silloin, kun betonirakenteen osissa betoni tiivistyy hyvin tangon ympärille. Hyvät tartuntaolosuhteet on kaikilla pystyasennossa valettavilla tangoilla, kun niiden kulma on vaakatason verrattuna $45^\circ \dots 90^\circ$, matalissa rakenneosissa sekä korkeampien rakenneosien alaosissa. Huonot tartuntaolosuhteet sijaitsevat korkeampien valujen yläosissa ja muun muassa liukuvalurakenteissa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 156–157.) Kuvassa kohdissa a ja b on hyvät tartuntaolosuhteet kaikissa tangoissa. Kohdissa c j d vinoviivoittamattomalla alueella on hyvät tartuntaolosuhteet ja vinoviivoitetulla alueella on huonot tartuntaolosuhteet. (KUVA 20.)



KUVA 20. Tartuntaolosuhteiden kuvaus (Mukaiillen SFS-EN 1992-1-1 2015, 48, Miettinen 2024).

Ankkurointi- ja jatkospituudet

Raudoituksen täytyy siirtää teräsbetonirakenteeseen kohdistuvat voimat betoniin muodostuneiden halkeamien yli, kun betonin vetojännitykset ylittyvät. Tällöin raudoituksen täytyy ankkuroitua betoniin halkeaman molemmin puolin, tämä tapahtuu yleensä betonin ja raudoitteen välisen tartunnan avulla. Ankkuroituminen voidaan hoitaa suoran tangon tartunnan avulla tai tankoon voidaan taivuttaa koukku. Rakenteen kuormankantokyvyn kannalta raudoitteiden ankkuroituminen on erittäin tärkeää. Jotta riittävä ankkuroituminen voidaan varmistaa, on raudoitteilla oltava riittävä betonipeite. Tartunnan määräämä vähimmäisbetonipeite määritetään tangon halkaisijan ja maksimiraekoon perusteella. Lisäksi tankojen väleille on annettu vähimmäisarvo, joka perustuu runkoaineen kokoon ja tankojen halkaisijaan. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 59–61.)

Terästen ankkuroitumiseen vaikuttaa käytettävän betonin lujuus, tangon pinnan geometria, tangon paksuus, tangon sijainti ja asento, betonipeitteen paksuus, tankojen keskinäinen etäisyys ja ankkurointialueella vaikuttavat poikittaissuuntaiset voimat. Eurokoodissa mitoitus esitetään ankkurointipituuden perusarvona, jota voi tarvittaessa pienentää α -kertoimien edullisten vaikutusten ansiosta. α -kertoimien arvot vaihtelevat välillä 0,7...1,0 ja ne liittyvät tankojen muotoon sekä poikittaisten raudoitusten ja lohkeilutasoon vaikuttavan paineen vaikutuksiin. Pienennyskertoimia ei kuitenkaan ole tarpeen käyttää kuin tapauksissa, jos ankkurointipituutta ei saada muuten laskennallisesti riittämään. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 154–157.)

Eurokoodi 2:sen (SFS-EN 1992-1-1 2015, 138) mukaan limijatketuilla tangoilla niiden jatkospituudet lasketaan ankkurointipituuden arvojen avulla käyttämällä kerrointa α_6 , johon vaikuttaa jatkettujen tankojen suhteellinen osuus poikkileikkauksen tankojen kokonaisalasta. Kerroin α_6 saa arvoja välillä 1...1,5, väliarvot voidaan interpoloida suoraviivaisesti.

Kertoimen α_6 arvot:

- alle 25 % tangoista on jatkettu poikkileikkauksessa $\rightarrow \alpha_6=1$
- 33 % tangoista on jatkettu poikkileikkauksessa $\rightarrow \alpha_6=1,15$
- 50 % tangoista on jatkettu poikkileikkauksessa $\rightarrow \alpha_6=1,4$
- Yli 50 % tangoista on jatkettu poikkileikkauksessa $\rightarrow \alpha_6=1,5$

5.2.6 Ympäristöolosuhteet

Eurokoodi 2 (SFS-EN 1992-1-1: Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt 2015, 47) luvussa 4.2 on esitetty ympäristöolosuhteita, jotka rasittavat betonirakennetta mekaanisten kuormien lisäksi. Näitä ovat kemialliset ja fysikaaliset olosuhteet. Kemiallista rasiutusta voivat aiheuttaa esimerkiksi rakennuksen tai rakenteen käyttö, erilaiset happoliuokset ja sulfaattisuolat tai kloridit, joita betoni sisältää. Fysikaalisia rasituksia voivat olla esimerkiksi lämpötilan muutokset, kulutus tai veden tunkeutuminen betoniin.

Prosessiteollisuudelle on tyypillistä, että suuremmat betonirakenteita kuormittavat rasitukset sijaitsevat tuotanto- ja prosessirakennusten sisätiloissa, joissa niihin saattaa kohdistua suuria ja vaihtelevia kosteusrasituksia ja lämpötilojen vaihteluiden aiheuttamia rasituksia sekä erilaisia prosessien aiheuttamia kemiallisia rasituksia. Myös erilaiset varastorakennukset, säiliöt ja altaat ovat osa prosesseja,

ja niihin kohdistuu prosessien ja niissä käytettävien aineiden aiheuttamia rasituksia. Tavanomaisempia rakennusten sisäpuolelle kohdistuvia rasituksia prosessiteollisuudessa on muun muassa sosiaali- ja toimistotiloissa sekä muissa prosessia tukevissa rakennuksissa, kuten sähkötiloissa. Rakennusten ulko-osiin kohdistuu tyypillisesti pakkasen, jäätyksen ja sulamisen aiheuttamat rasitukset sekä maaperän, veden ja meriveden aiheuttamat rasitukset.

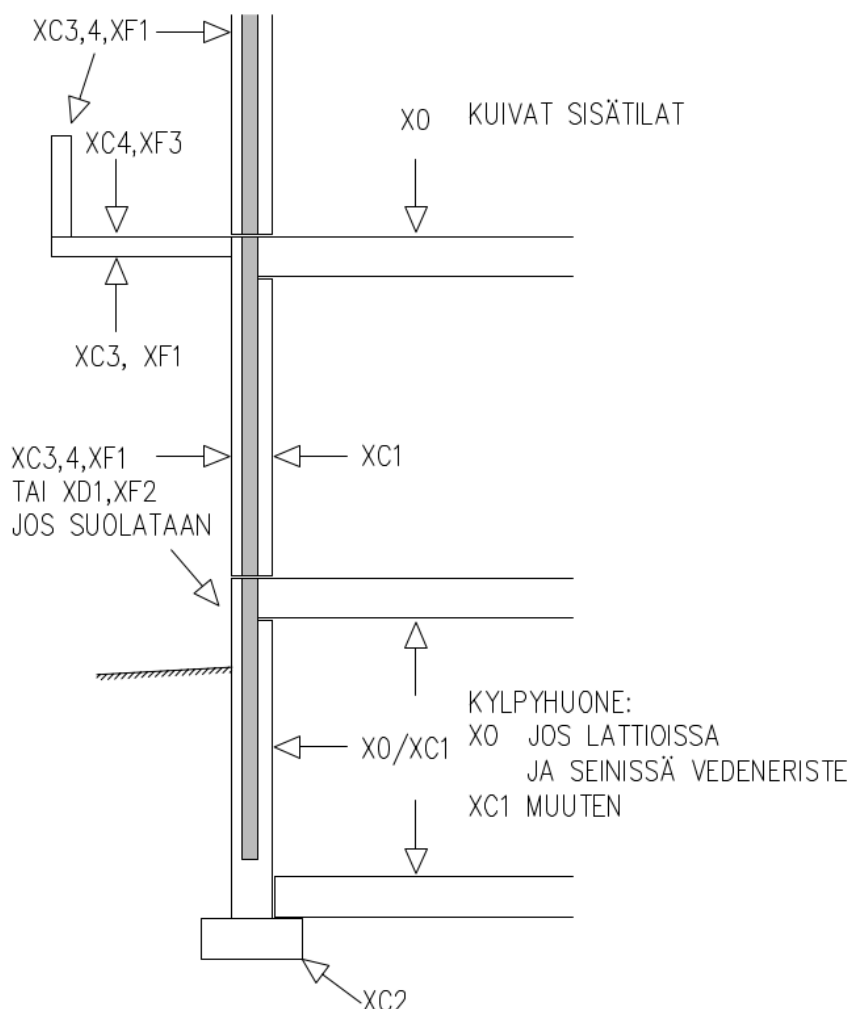
Rasitusluokat

Betonin rasitusluokat on jaoteltu korroosion aiheuttamaan vaaraan, karbonatisoitumisen aiheuttamaan korroosioon, muun kuin meriveden aiheuttamaan ja meriveden aiheuttamaan korroosioon, jäädytys-sulatusrasituksiin sekä kemialliseen rasitukseen. Rakenne voi kuulua yhtä aikaa useampaan rasitusluokkaan, jolloin sen täytyy täyttää kaikkien luokkien asettamat vaatimukset. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 64.) Taulukossa on esitetty ympäristöolosuhteista johtuvat rasitusluokat (TAULUKKO 12).

TAULUKKO 12. Ympäristöolosuhteisiin liittyvät rasitusluokat (SFS-EN 1992-1-1 2015, 48).

Luokan merkintä	Ympäristön kuvaus	Opastavia esimerkkejä paikoista, joissa rasitusluokkia voi esiintyä
1 Ei korroosion tai rasituksen riskiä		
X0	Raudoittamaton tai metalliosia sisältämätön betoni: Kaikkiin ympäristöihin lukuun ottamatta niitä, joissa esiintyy jäädytys-sulatus- tai kulutusrasitusta tai kemiallista rasitusta Raudoitettu tai metallia sisältävä betoni: hyvin kuiva	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on hyvin alhainen
2 Karbonatisoitumisen vaikutuksista aiheutuva korroosio		
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on alhainen Pysyvästi vedenalainen betoni
XC2	Märkä, harvoin kuiva	Betonipinnat, jotka ovat pitkään kosketuksissa veden kanssa Usein perustukset
XC3	Kohtalaisen kostea	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on kohtalainen tai suuri Ulkona oleva sateelta suojattu betoni
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Betonipinnat, jotka ovat kosketuksissa veden kanssa, mutta eivät kuulu rasitusluokkaan XC2
3 Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korroosio		
XD1	Kohtalaisen kostea	Betonipinnat, jotka ovat alttiina ilman sisältämille klorideille
XD2	Märkä, harvoin kuiva	Uima-altaat Betoni on alttiina kloridipitoisille teollisuusvesille
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Sillan osat, jotka ovat alttiina kloridipitoisille roiskeille Jalkakäytävät Paikoitustalojen laatat
4 Meriveden kloridien aiheuttama korroosio		
XS1	Kosketuksissa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksissa meriveteen	Lähellä rannikkoa tai rannikolla olevat rakenteet
XS2	Pysyvästi veden alla	Merirakenteiden osat
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä	Merirakenteiden osat
5 Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä		
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätykselle alttiit pystysuorat betonipinnat
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet	Tierakenteiden pystysuorat betonipinnat, jotka ovat alttiina jäätykselle ja ilman kuljettamille jäänsulatusaineille
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätykselle alttiit vaakasuorat betonipinnat
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi	Jäänsulatusaineille alttiit teiden ja siltojen kannet Suoralle jäänsulatusaineroiskeelle ja jäätykselle alttiit betonipinnat Roiskevyöhykkeellä olevat jäätykselle alttiit merirakenteet
6 Kemiallinen rasitus		
XA1	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen vähän aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA2	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen kohtalaisen aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA3	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen hyvin aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi

Rasitusluokan valintaa helpottamaan Suomen Betoniyhdistys ry on julkaissut ohjekuvan tyypillisistä rasituksista, jotka kohdistuvat asuinrakennuksiin (KUVA 21). Tätä ohjekuvaa voidaan käyttää pohjana myös prosessiteollisuusympäristön rasituskuokkia määriteltäessä. On kuitenkin huomioitava, että ohjekuvassa suuremmat rasitukset kohdistuvat rakennuksen ulko-osiin. Teollisuusrakentamisessa sisätilojen rasitukset voivat olla ohjekuvaa suurempia. Sisätiloja voi rasittaa esimerkiksi kosteusrasitukset ja kemialliset rasitukset.



KUVA 21. Ohjekuva rasitusluokan valintaan (mukaillen Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 65, Miittinen 2024).

Betonipeite

Betonirakenteelle valittujen käyttöiän ja rasitusluokan perusteella betonipeitteelle määritetään vähimmäisarvo. Vähimmäisarvo valitaan taulukosta (TAULUKKO 13). Betonipeitteen paksuusvaatimus koskee kaikkia ruostuvia betoniteräksiä, eikä siihen vaikuta onko teräs rakenteellisesti toimiva vai esimerkiksi ainoastaan asennusteräs. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 66.) Jos tarvittavaan suojaetäisyyteen ei päästä rakenteen paksuuden, muodon tai muun syyn vuoksi, joudutaan käyttämään ruostumattomia betoniteräksiä.

TAULUKKO 13. Vähimmäisarvovaatimukset betonipeitteelle, kun suunniteltu käyttöikä on 50 tai 100 vuotta Eurokoodi 2:n kansallisen liitteen mukaan eri ympäristöolosuhteissa (Ympäristöministeriö 2019b, 17).

Betonipeitteen vähimmäisarvovaatimus $c_{min,dur}$ (mm) eri ympäristöolosuhteissa							
Kriteeri	Rasitusluokka standardin SFS-EN 1992-1-1 taulukon 4.1 mukaan						
	X0	XC1	XC2	XC3, XC4	XD1, XS1	XD2, XS2	XD3, XS3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	45	50
100 vuoden suunniteltu käyttöikä	+0	+0	+5	+5	+5	+5	+5

Huomautus 1. Tartuntajänteille, joiden pitkäaikainen jännitys käyttörajatilassa on korkeintaan 400 N/mm^2 , sovelletaan betoniteräkselle asetettuja vaatimuksia.

Huomautus 2. Betonipeitteen vähimmäisarvoa voidaan pienentää 5 mm, mikäli betonin lieeriölujuus on vähintään 10 MPa suurempi kuin säilyvyyden kannalta vaadittava vähimmäislieeriölujuus.

Huomautus 3. Betonipeitteen vähimmäisarvovaatimukset koskevat myös jänneterästen ankkureita ja valuun asennettavia metalliosia ellei niitä ole korroosiosuojattu rasitusluokkaa vastaavasti.

Huomautus 4. Betonin säilyvyyden tulee myös muilta osin täyttää 100 vuoden käyttöikävaatimus, mikäli rakenteen suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta

Betonipeitekerroksen valinta tehdään kolmen vaatimuksen perusteella, joita ovat betonin ja raudoitteen tartuntavaatimus, betonin säilyvyysvaatimus ja rakenteen palokestovaatimus. Tartunnan ja säilyvyyden perusteella voidaan määrittää määräävä peitepaksuus kaavan (KAAVA 2) mukaan. Minimiarvo paksuudelle on 10 mm. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 73–74.)

$$c_{min} = \max \begin{cases} c_{min,b} \\ c_{min,dur} \\ 10 \text{ mm} \end{cases} \quad (2)$$

missä c_{min} on määräävä peitepaksuus, $c_{min,b}$ on raudoitteen tartuntavaatimus, $c_{min,dur}$ betonin säilyvyysvaatimus.

Betonipeitteen nimellisarvo

Betonipeitteen nimellisarvo, jota käytetään rakenteen suunnittelussa ja mitoituksessa saadaan, kun lisätään betonipeitteen vähimmäisarvoon mittapoikkeama. Mittapoikkeama perustuu valmistuksen mittatarkkuuteen. Normaalityypauksessa mittapoikkeama on 10 mm (toleranssiluokka 1). Maata vasten valettaessa täytyy käyttää suurempaa arvoa mittapoikkeamalle, jolloin käytössä on 20...40 mm mittapoikkeama. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 74–75.)

5.2.7 Betonin palomitoitus

Betonirakenteiden palomitoitus on esitetty yksityiskohtaisesti eurokoodissa SFS-EN 1992-1-2. Betonirakenteiden oppikirjan mukaan (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 67) betonille aiheutuu tulipalon aiheuttamista korkeista lämpötiloista haitallisia vaikutuksia, joita ovat betonin ja raudoituksen kimmoisuuden sekä lujuuden aleneminen ja betonin lohkeamisriski. Palomitoituksen tarkoitus on varmistaa, että rakenteet kestävät niille asetetut palonkestovaatimukset.

Betonirakenteiden palomitoitukseen on käytössä useita menetelmiä. Näistä menetelmistä yksinkertaisin ja yleisin on taulukkomitoitus. Taulukoissa esitetään vähimmäismittoja eri rakenneosille (pilarit, palkit, seinät ja laatat) ja raudotteiden keskiötäisyyksille. (Suomen Betoniyhdistys ry 2020, 67.)

5.2.8 Betonirakenteiden liitokset

Liitosten suunnittelussa on otettava huomioon niiden kestävyysmittoitus, jatkuvan sortuman esittäminen, palonkestävyysvaatimukset ja mahdollisten lämpöliikkeiden aiheuttamat rasitukset. Materiaalivalinnoilla ja korroosiosuojauksella on vaikutusta käyttöikään ja liitoksen kestävyysvaatimukseen. Suunnittelussa on myös huomioitava liitosten asennuksen aikainen toiminta, työturvallisuus, liitosten toteutettavuus ja lopuksi myös tarkastamisen helppous. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 453.)

Betonielementtien välillä olevat liitokset siirtävät rungossa olevat voimat elementtien välillä. Tyypillisesti liitokset ovat jälkivalettavia saumoja, joissa on lisäksi teräsosat liitosten toimintaa varmistamassa. Suunnittelijan tehtävä on liitoksen rakenteellisen toiminnan ja rasitusten selvittäminen, vakioeräosien valinta sekä muiden tarvittavien liitososien suunnittelu. Liitokset toteutetaan työmaalla, ja on taloudellista käyttää vakioeräosia sekä vakioeräosia, joilla on tyypillisesti kansalliset tuotehyväksynyt ja käyttöohjeet. Käyttöohjeesta suunnittelijan on helppo varmistaa osien materiaalit, käytötavat ja kestävyudet. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 453.)

Erilaisia vakioeräosia ovat esimerkiksi erilaiset kiinnityslevyt, pilarikengät, piilokonsolit, pilaripultit, ansaat, nostolenkit, vaijerilenkit ja valuankkurit. Yleensä suositellaan käytettäväksi yhdessä liitoksessa aina yhden toimittajan tuotteita. Esimerkiksi pilariliitoksen pultit ja pilarikengät on oltava samalta toimittajalta. Osa vakiotuotteista on myös vaihtokelpoisia, mutta asia täytyy erikseen varmistaa. (Elementtisuunnittelu 2023a.)

Valuliitos

Valuliitos on tyypillisin liitostapa betonielementtien välillä. Juotosliitoksessa on yleensä myös rauditus betonin lisäksi, jotta elementtien juotosliitoksista saadaan sitkeitä. Betonielementtirakentamisessa juotosliitoksia käytetään mm. elementtilaattojen välillä, seinien välisissä pysty- ja vaakasaumoissa, pilarien alapään juotoksissa sekä laattojen ja palkkien välisissä saumoissa. Jälkivalettavan vaakasauman on oltava vähintään 20 mm paksu. Sauman korkeus voi olla maksimissaan 50 mm, pois lukien suuret pilarit, jolloin sauma voi olla paksuudeltaan maksimissaan 70 mm. (Elementtisuunnittelu 2023b.)

Pilarin liitos perustuksiin

Pilarin perustusliitostyypeistä pulttiliitos on nykyään yleisin. Liitoksen pulttien toleranssit eivät saisi ylittyä, joten on hyvä käyttää työnaikaisia sabluunoita peruspultteja asennettaessa. Pilarin pulttiliitoksen asennusnopeus työmaalla on hyvä, jos teräsosat on asennettu asennustoleranssien mukaisesti kohdalleen. Pulttien asennustoleranssit ilmoitetaan teräsosavalmistajan ohjeissa. Pilariliitos voidaan jatkaa suoraan anturanpäältä tai ylempää, pulttiliitos suunnitellaan kohtaan, joka on rakenteen kannalta järkevintä ja taloudellista. Mastopilareissa on huomioitava liitoksen asennusaikainen kapasiteetti, joka on yleensä huomattavasti alhaisempi, kun alusvalu ei ole vielä kovettunut. Pilarin pulttiliitos täytyy mitoittaa asennusvaiheen ja lopputilan kuormituksille. (Elementtisuunnittelu 2023b.)

Palkin liitos pilariin

Palkki liitetään pilariin yleensä pulttiliitoksella. Pilarin ja palkin väliin asennetaan yleensä 10 mm neopreenipala. Pultti pyritään yleensä sijoittamaan keskeisesti palkkiin nähden, mutta reunapalkeilla voidaan käyttää myös epäkeskeistä pulttia ottamaan vääntöä. Pultin koko määritellään tukiehtojen, vääntömomentin ja sidejärjestelmän vaatimusten mukaan. (Elementtisuunnittelu 2023b.)

Hitsausliitos

Jos pultti- tai juotosliitoksia ei voida tehdä, voidaan käyttää hitsausliitoksia. Hitsausliitoksen valintaan voi vaikuttaa esimerkiksi rakenteen ja liitoksen toleranssit, asennustapa tai kuormansiirtokapasiteetti. Edellä mainitut seikat voivat tehdä liitoksesta sellaisen, että hitsausliitos on ainut käyttökelpoinen liitostapa. (Elementtisuunnittelu 2023b.)

Vaarnatappiliitos

Vaarnatappiliitos yhdistetään yleensä tappi- ja juotosliitoksiin. Mutta sen voi yhdistää myös hitsausliitokseen. Vaarnatappiliitoksia voidaan käyttää pystysaumoissa, vaakasaumoissa ja esimerkiksi liikuntasauvojen kohdalla. (Elementtisuunnittelu 2023b.)

Paikallavalurakenteiden liitokset

Paikallavalurakenteiden liitokset muodostuvat työsaumoista, liikuntasaumoista sekä erilaisten rakeneosien liitoksista toisiinsa. Prosessiteollisuudessa suunnittelutehtäviä voivat olla esimerkiksi vesitiiviiden liikuntasauvojen suunnittelu tai laiteperustuksen ja maanvaraiseen laatan välisen liitoksen suunnittelu. Työsaumojen liitokset toteutetaan yleensä ankkurointitankojen, tappiliitosten tai valmisosien avulla. Esimerkiksi valmisosat, joissa ankkurointitangot on valutyön ajaksi taivutettu teräsosan sisään, mahdollistavat helpommat muottityöt, kun muotteja ei tarvitse rei'ittää tartuntojen takia. Tartuntatangot taivutetaan esiin valutyön jälkeen.

5.2.9 Betonirakenteiden toteutus

Betonirakenteet toteutetaan betonirakenteiden toteutuseritelmän, betonielementtirakenteiden toteutuseritelmän, standardien, kansallisten liitteiden sekä säännösten ja normien mukaan. Betonirakenteet jaetaan karkeasti kahteen osaan eli paikallavalurakenteisiin ja betonielementtirakenteisiin.

Betonirakentamisen tuotantotekniikka eli työsuoritus sisältää muottityön, raudoitustyön, betonointityön ja jälkihoidon. Lopputuotteen onnistuminen tarvitsee suunnitelmien, laatutekniikan, työsuunnittelun ja työsuorituksen joustavan yhteensovittamisen huomioiden myös rakentamisen ja käytön aikaiset olosuhteet. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 209.)

Betonirakenteiden toteutusluokka

Betonirakenteiden työmaavalmistusta koskevat vaatimukset jaetaan rakenteiden vaativuuden mukaan kolmeen toteutusluokkaan 1, 2 ja 3. Toteutusluokka 3 on vaativin. Toteutusluokka valitaan standardin *SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet*, seuraamusluokkien (CC1, CC2 ja CC3) sekä rakenteen toteutukseen ja käyttöön liittyvien riskitekijöiden perusteella. (Suomen Betoniyhdistys ry julkaisuaika tuntematon.)

Betonielementtien valmistus

Elementtisuunnittelussa on huomioitava rakenteellisen kestävyuden lisäksi niiden valmistuksen, kuljetuksen ja asennuksen asettamat vaatimukset. Elementtipiirustuksissa on ilmaistava kaikki tarpeelliset tiedot materiaaleista, standardeista ja vaatimuksista. Mitat ja elementtiin liittyvät osat on esitettävä huolellisesti ja selkeästi sekä mitoitettava paikoilleen, jotta elementit on mahdollista toteuttaa.

Betonielementtien toimitusprosessiin kuuluu tarjouspyyntö, tarjous, sopimuksen tekeminen, aloituspalaveri, tuotannonohjaus, sekä elementtien valmistus, toimitus, vastaanotto ja asennus. Prosessin aikataulut ja sisällön ohjaus ovat tärkeässä asemassa, koska osapuolia on monia ja taloudelliset seuraamukset voivat olla suuria. Tehdas tekee kapasiteetti- ja aikataulusuunnitelman, joissa se määrittelee elementtien valmistuspäivät. Valmistusjärjestykseen vaikuttaa asennussuunnitelma, materiaalitalanne, muottisuunnitelma ja tehtaan kapasiteetti. Tehtaalle edullisinta on valmistaa samalaiset elementit peräkkäin sarjana, mutta asennusjärjestys, toimituspäivät ja varastotilat eivät aina tätä mahdollista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 465–466.)

Betonielementtien kuljetus ja asennus

Suunnittelijan on varmistettava, että elementit on mahdollista kuljettaa ja asentaa paikoilleen tehokkaasti ja turvallisesti. Elementit kuljetetaan voimassa olevien lakien, asetusten ja viranomais määräysten mukaisesti. Betonielementtien kuljetukset joudutaan tekemään erikoiskuljetuksina, jos normaalit mitta- tai massarajat ylittyvät. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 469.) Elementin painolla on ratkaiseva merkitys sen kuljetuksessa, nostoissa ja asennuksessa.

Elementtisuunnittelu-sivuston mukaan työmaan kannalta yleisesti hyvänä maksimipainona betonielementeille pidetään 10 t, koska nostokalusto voi rajoittaa elementin painoa. Jos tämä ylitetään, on

asiasta sovittava erikseen työmaan kanssa. (Elementtisuunnittelu 2023c.) Myös elementtitehtailla on omat suosituksensa elementtien maksimipainoille. Esimerkiksi Joutsenon Elementti ilmoittaa suositeltavaksi elementin maksimipainoksi 12,5 t. Jos tämä ylitetään, on asiasta sovittava erikseen elementtitehtaan kanssa. (Joutsenon Elementti 2024.)

Elementeille suositeltavana maksimikorkeutena pidetään 3,6 m, mutta kuljetusteknisesti maksimikorkeus on 4,2 m. On huomioitava, että tähän mittaan sisältyy myös elementtien nostolenkit sekä muut elementistä ulos työntyvät tapit ja muut osat. (Elementtisuunnittelu 2023c.) Jos joudutaan suunnittelemaan edellä mainittua korkeampia elementtejä, on ne suunniteltava käännettäviksi. Tässä tapauksessa elementit kuljetaan työmaalle kyljellään ja käännetään pystyyn asennuksen yhteydessä. Kääntökivissä nostolenkit sijoitetaan sekä elementin yläreunaan että toiseen sivureunaan.

Elementtien työmaa-asennuksesta on laadittava elementtiasennussuunnitelma, jonka laadintaan osallistuvat työmaan vastaava työnjohtaja, rakennesuunnittelija, elementtisuunnittelija ja elementtiasennustyönjohtaja. Elementit asennetaan paikoilleen asennussuunnitelman mukaisesti. Asennussuunnitelmassa esitetään asennusjärjestys, väliaikainen tuenta ja lopullinen kiinnittäminen, niin että asennustyön kaikissa vaiheissa säilyy rakenteellinen vakaus. Lisäksi suunnitelmassa esitetään tiedot elementtien turvallisesta nostosta ja käsittelystä. Asennussuunnitelma sisältää myös työturvallisuussuunnitelman. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 465, 473.)

Paikallavalurakenteiden toteutus

Paikallavalurakenteet toteutetaan betonirakenteiden toteutuseritelmän ja betonityösuunnitelman mukaisesti. Betonointityön onnistumisen kannalta valmistelevat työt on tehtävä huolella, jotta työtä hidastavilta yllätyksiltä vältytään. Paikallavalurakenteiden toteutus koostuu suunnittelutyöstä eli toteutusasiakirjojen laadinnasta, muottitöistä, raudoitustöistä, betonointitöistä ja jälkihoidosta. Suunnittelija toimittaa työmaalle toteutuseritelmän sekä tarvittavat suunnitelmat, joiden perusteella työt voidaan toteuttaa.

Betonirakenteiden toteutuseritelmässä määritellään vaatimukset toteutukselle ja esitetään tarkennuksia ja täydennyksiä standardien ja kansallisten liitteiden antamille määräyksille. Eritelmässä esitellään yleiset laatuvaatimukset, dokumentaatio, laadunhallinta, toimenpiteet poikkeamatapauksille, vaatimukset rakenteille sekä kaikki tarvittavat lisätiedot, joita tarvitaan toteutusvaiheessa.

6 TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

Työ toteutettiin tiiviissä yhteistyössä tilaajan kanssa, syventyen teoreettiseen tietoon ja soveltaen sitä käytännössä. Kyseessä oli kehittämishanke, jossa koottiin perehdytysopas ja materiaalipankki suunnittelutoimiston perehdytysprosessin laadun ja tehokkuuden parantamiseksi. Perehdytysprosessia ja työhön ohjausta haluttiin myös yhdenmukaistaa, jotta kaikille voidaan tarjota samat lähtökohdat työuran aloittamiselle heti suunnittelu-uran alussa. Ohjemateriaalin puuttuminen on voinut vaikuttaa myös muiden suunnittelijoiden työtehoon, kun keskeytyksiä on tullut usein ongelmien ja kysymysten myötä. Tavoitteena on, ettei keskeytyksiä tulisi enää yhtä paljon, kun käytössä on materiaali, jonka puoleen kääntyä ensin ja vasta sen jälkeen kysyä asiaa muilta.

Tutkimuksen aineistona hyödynnettiin alan suunnitteluohjeita, standardeja, yrityksen sisäisiä ohjeita sekä aiemmin toteutettuja suunnittelukohteita. Tietoa koottiin kollegoita haastatteleamalla ja omaa kokemusta alan työtehtävistä hyödyntämällä. Kun lähtötietoja oli alustavasti koottu ja hahmotettu, niiden pohjalta alettiin koostamaan alustavaa sisällysluetteloa ja miettimään sopivaa laajuutta perehdytysoppaalle. Tietoa ja lähdemateriaalia on erittäin runsaasti tarjolla, ja oli haaste saada koostettua työ johdonmukaiseksi ja sisällytettyä siihen mahdollisimman tarkasti vain oleellinen tieto.

Tutkimustyö aloitettiin perehtymällä teorian tietoon perehdyttämisestä, perehdytysprosessista ja hiljaisesta tiedosta. Tämä vaihe tarjosi lisätietoa perehdyttämisen vaiheista ja selvitti tämän työn roolia perehdytysprosessissa. Perehdytyksen teoreettinen tieto liittyi suurimmalta osin työntekijän alku- ja yleisperehdytykseen, johon yrityksellä on jo materiaali olemassa, joten perehdytystä koskevassa teorian tiedossa keskityttiin nimenomaan työtehtäviin perehdyttämiseen.

Työprosessin alussa huomattiin tarve toimialan esittelylle, koska toimialana prosessiteollisuus on suurelle osalle uusista suunnittelijoista vieras. Toimialakohtaista materiaalia kerättiin internetlähteistä, kuten yrityksen omilta sivuilta, joissa toimialaa ja yrityksen toimintaa on esitelty. Toimialan esittely ja yrityksen rooli siinä oli hyvä saada osaksi perehdytysopasta, koska yrityksen osaaminen on laaja-alaista ja toimialoja on monia. Tämä voi muodostua haasteeksi oleellisen tiedon löytymiselle. Uusille suunnittelijoille haluttiin koota selkeä ja tiivis kooste prosessiteollisuustoimialasta ja yrityksen osuudesta siinä, jotta he voisivat ymmärtää toimialan merkityksen rakennesuunnittelutyöhön. Suunnittelutyöhön vaikuttavia prosessiteollisuudelle tyypillisiä erityispiirteitä koottiin ja analysoitiin, jotta niitä saatiin koottua mukaan työhön, ja jotta uusi suunnittelija saisi käsityksen työtehtävistä ja suunnitteluympäristön vaatimuksista. Erityispiirteitä päädyttiin esittelemään kunkin osa-alueen yhteydessä, jotta työn rakenne pysyi mahdollisimman yhtenäisenä ja selkeänä.

Työhön haluttiin sisällyttää oleellisena osana myös muiden suunnittelualojen vaikutusta rakennesuunnittelijan suunnitteluprosessiin ja työvaiheisiin. Prosessiteollisuudessa työjärjestys voi poiketa muusta rakennetun ympäristön työjärjestyksestä. Yhteistyö muiden suunnittelualojen kanssa on oleellinen osa rakennesuunnittelua, joten työhön koottiin rajapintoja muiden suunnittelualojen kanssa. Tässä hyödynnettiin internetlähteitä sekä tekijän kokemusta.

Kun työn alustava rakenne alkoi hahmottua, työtä jatkettiin käymällä tarkemmin läpi suunnitteluohjeita rakennesuunnittelun näkökulmasta. Suunnitteluohjeita on paljon ja niitä on varsinkin työuran alussa todella vaikea hahmottaa ja sisäistää. Suunnitteluohjeita on myös monessa sijainnissa, joten

sekin lisää haastetta kokonaisuuden hahmottamiselle. Suunnitteluohjeisiin perehdyttiin tekijän työkokemuksen perusteella. Teoriatietoa alettiin koostamaan suunnitteluohjeista, eurokoodeista ja kansallisista liitteistä, niiden tulkintaa helpottavista oppikirjoista ja muusta alan kirjallisuudesta sekä rakennusteollisuuteen liittyvien yhdistysten materiaaleista ja internetsivustoilta.

Suunnitteluohjeista työhön on koottu suunnittelutyössä ja esimerkiksi piirustusten tuottamisessa tarvittavia lähtötietoja ja kerrottu niiden käytöstä. Työssä on lyhyesti kerrottu lähtökohdista muun muassa rajatilamitoituksesta, kuormituksista ja paloturvallisuudesta. Aiheista on pyritty esittelemään myös prosessiteollisuudelle tyypillisiä sovelluksia. Rakenteiden mitoitus rajattiin työstä pois, koska muuten työstä olisi tullut liian laaja kokonaisuus ja mahdoton hallita. Rakenteiden mitoitus ei myöskään tyypillisesti kuulu ensimmäisiin työtehtäviin uudella suunnittelijalla. Rakennesuunnitteluun liittyvä tiedonmäärä haluttiin pitää rajattuna ja tarjota selkeä kokonaisuus suunnittelutyön tueksi.

Suunnittelutyötä ei voi tehdä ainoastaan oppaan avulla, vaan velvoittaviin suunnitteluohjeisiin on tutustuttava ja niistä on itse etsittävä tarvittavia tietoja. Perehdytysoppaassa tarjotaan tietoa mistä suunnitteluohjeita löytyy. Tällä lähestymistavalla pyritään välttämään vanhentuneen tiedon käyttöä. Suunnitteluohjeet päivittyvät ja uudistuvat koko ajan, joten vanhentuneen tiedon käyttö olisi voinut muodostua ongelmaksi tulevaisuudessa.

Työssä tutkittiin ja siihen koottiin myös materiaalitetoutta. Mukaan otettiin teollisuudessa käytettävät perusmateriaalit, eli teräs ja betoni. Työhön haluttiin sisällyttää perustietoa näiden materiaalien suunnitteluun liittyen, jotta uudella suunnittelijalla on heti lähtökohta työn aloittamiselle. Työssä on koottuna myös prosessiteollisuuden tuomia erityispiirteitä ja lisähaasteita teräs- ja betonirakenteiden suunnitteluun liittyen.

Työtä jatkettiin kartoittamalla suunnittelutyössä esiintyviä keskeisimpiä suunnittelukohteita käymällä läpi aiemmin toteutettuja projekteja. Suunnittelutyötä tehdään useille asiakkaille erilaisiin teollisuusympäristöihin, joten erityyppisiä tehtäviä ja ympäristöjä on runsaasti. Lähtökohdaksi työhön otettiin muutamia suuria toimeksiantokokonaisuuksia, jotka kaikki koostuivat pienemmistä osista ja sisälsivät laajasti erilaisia rakenteita. Kun erilaisia esimerkkisuunnittelukohteita oli koottu, valittiin niistä tyypillisiä rakenteita esiteltäväksi oppaassa. Usein samaa tehtävää ei tehdä samalla kertaa kuin yksi tai korkeintaan muutama, joten toistojen tuomaa varmuutta työhön kertyy hitaasti ja uudella suunnittelijalla on paljon opeteltavaa ja muistettavaa. Suunnittelutehtävä voi kuitenkin toistua pääpiirteittäin samankaltaisena esimerkiksi vuoden kuluttua, jolloin tiedoille on jälleen tarvetta. Tähän opas pyrkii tarjoamaan apua.

Tutkimusaineistoa kerättiin kevyiden haastattelujen avulla muilta rakennesuunnittelijoilta sekä havainnoimalla toimintaa ja työskentelyä sekä työympäristöä. Alalla on kokeneita rakennesuunnittelijoita, joilla on hyvin laaja osaaminen teollisuuskohteiden rakennesuunnittelusta, joten heidän tietonsa oli hyvä saada osaksi työtä. Lisäksi tekijän omaa osaamista ja työkokemusta hyödynnettiin työn koostamisessa. Suunnittelutyötä tukevaa aineistoa on kerätty omaan käyttöön useiden vuosien ajan, ja myös tätä materiaalia hyödynnettiin lähtökohtana perehdytysopasta kootessa. Kaikessa tässä osaamisessa on mukana paljon hiljaista tietoa, joka oli hyvä saada osaksi materiaalia.

Yhtenä tietolähteenä oli yrityksen oma sisäinen verkko ja sieltä löytyvät ohjeet. Työssä tutkittiin materiaalien laajuutta ja laatua. Yrityksellä on laaja sisäinen verkko ja siellä on runsaasti materiaalia, joten sieltä voi olla haastavaa löytää tarvittavia tietoja. Tästä syystä materiaalien läpi käyminen ja tutkiminen oli tärkeä osa työtä. Sisäisissä ohjeissa on materiaalia suunnittelutyön tueksi, kuten mallidokumentteja, mallinnusohjeita, erilaisia tarkastuslistoja, joita voi käyttää suunnittelutyön apuna ja esimerkiksi tarkastuksissa. Sisäisessä verkossa on myös projektitoimintaohjeita, mutta iso osa ohjeista on myös niin sanottua kirjoittamatonta tietoa. Materiaaliin on koottu tietoa projektitoiminnasta ja laatujärjestelmän mukaisesta toiminnasta, jotta suunnittelijan olisi helpompi hahmottaa työvaiheet ja eri vaiheissa tehtävät toimet. Esimerkiksi tarkastustoiminta oli erittäin tärkeää sisällyttää osaksi perehdytysopasta, koska se on tärkeä osa suunnittelutyötä, suunnitteluprosessia ja laatujärjestelmän toteutumista.

Sisäiset materiaalit olivat pääosin hyvin käyttökelpoisia, ja työssä esitellään niitä ja kerrotaan, mistä ne löytyvät, jotta ne ovat kaikkien saatavilla. Yrityksessä on koko ajan menossa useita kehityshankkeita, joten yrityksen sisäiset ohjeet päivittyvät ja täydentyvät jatkuvasti. Tästä syystä oli työtä tehdessä oltava tarkkana, ettei tehdä päällekkäistä ohjeistusta.

Työn lopputuloksena syntyi perehdytysmateriaali ja tietopankki, jonka avulla uusi suunnittelija voi itsenäisesti tutustua toimialaan ja sen suunnittelutehtäviin sekä etsiä lisätietoa suunnittelutehtävien tekemiseen. Suunnittelija voi perehtyä materiaaliin kokonaisuudessaan ja tarvittaessa palata siihen, kun uusia kysymyksiä herää.

Opinnäytetyö on jaoteltu raporttiosaksi sekä perehdytysopas ja materiaalipankki liitteeksi (LIITE 1). Liitteen perehdytysopas on luottamuksellinen eikä sitä julkaista raporttiosan mukana. Siihen on koottu raporttiosan teoriasisältöä ja yrityksen sisäisiä ohjeita loogiseksi kokonaisuudeksi, joka etenee aihealue kerrallaan. Opas on jaoteltu ja otsikoitu selkeästi, jotta tarvittavan tiedon löytäminen olisi mahdollisimman helppoa.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn päämääränä oli kehittää perehdytysmateriaali ja tietopankki uusille rakennesuunnittelijoille, jotka suuntautuvat prosessiteollisuuden tehtäviin. Tavoitteena oli tehostaa ja yhtenäistää työhön ohjausta sekä perehdytysprosessia ja parantaa niiden laatua.

Opinnäytetyön toteuttaminen oli erittäin mielenkiintoinen prosessi, sillä aihepiiri on itsessään kiehtova ja antoi mahdollisuuden hyödyntää omaa kokemustani teollisuuden rakennesuunnittelutehtävistä. Oli kiinnostavaa kerätä ja järjestellä kaikki omaan kokemukseen ja suunnitteluohjeisiin perustuvat tiedot yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

Teoreettisen tiedon, haastattelujen ja aineistonkeruun sekä materiaalin analysoinnin myötä koen kehittyneeni edelleen rakennesuunnittelijana. Oma osaamiseni ja työprosessini ovat vahvistuneet opinnäytetyön tekemisen aikana, kun olen järjestelmällisesti käynyt läpi suunnitteluohjeita ja yrityksen sisäisiä ohjeistuksia. Oli erityisen mielenkiintoista huomata, että vaikka olen työskennellyt alalla jo pitkään, silti löysin jatkuvasti mahdollisuuksia taitojeni kehittämiseksi. Tämä on tietenkin tyypillistä alalle, sillä jatkuva oppiminen on olennainen osa arkea. Oli hyödyllistä tarkastella omia suunnittelu-käytäntöjäni ja pohtia, miksi tietyt asiat tehdään juuri niin kuin ne tehdään.

Itse suunnittelijana olen perehtynyt enemmän teräsrakenteiden suunnitteluun, joten sen osuus oli työhön itselle helpompi tehdä. Teräsosuteen sain sisällytettyä myös hieman enemmän oman osaamisen tuomaa lisäarvoa betoniosuteen verrattuna. Onneksi betonirakentamisesta löytyy erittäin laadukasta ja kattavaa aineistoa, kuten BY-julkaisut ja elementtisuunnittelusivusto. Teräsrakenteiden suunnitteluun liittyen tarjolla on myös runsaasti hyödyllistä materiaalia, joka oli minulle tutumpaa jo ennestään. Erityisesti Teräsrakenneyhdistyksen "Teräsrakenteiden suunnittelu- ja mitoitus" -kirja oli avainasemassa teräsosuiden kokoamisessa.

Materiaali antaa tilaajalle resursseja uusien suunnittelijoiden palkkaamiseen ja perehdyttämiseen. Mielestäni työn koostamisessa onnistuttiin hyvin, vaikka se onkin todella laaja. Tavoitteena oli tarjota samat lähtötiedot kaikkien käyttöön, jotta kaikki saavat mahdollisuuden kehittyä työympäristössä samoista lähtökohdista. Tavoitteena oli myös varmistaa suunnittelutyön laatu ja tehokkuus, jotta asiakkaat saisivat odotustensa mukaista vastinetta toimeksiannoilleen. Työssä oli erityisen tärkeää esitellä kaikki yrityksen tarjoama tieto selkeästi ja helposti löydettävissä olevassa muodossa. Sisäiset ohjeet ovat monessa sijainnissa ja niiden löytäminen itsenäisesti yrityksen sisäisestä verkosta on haastavaa, varsinkin uudelle tulijalle. Työ tarjoaa selkeät polut materiaalien hakemiselle. Toimistolla on paljon kirjoittamatonta tietoa, jota oli hyvä saada koostettua mukaan kirjalliseen ohjeeseen.

Opas ei kokonaan voi poistaa tarvetta henkilökohtaiselle perehdyttämislle, vaikka tarjoaakin mahdollisuuden itsenäiseen opiskeluun. Jokainen suunnittelija tulee erilaisista lähtökohdista, ja heillä on erilaiset osaamisalueet ja taidot, joiden mukaan kunkin perehdytysprosessi on suunniteltava.

Opinnäytetyön suurin haaste oli sen rajaus, sillä aihepiiri on valtavan laaja ja saatavilla on runsaasti tietoa ja ohjeita. Työhön olisi halunnut sisällyttää kaiken mahdollisen tiedon, mutta tämä olisi johtanut sekavaan ja epäselvään lopputulokseen. Työssä oli myös haasteena sen jäsentely ja järjestely,

ja työn edetessä aihealueita, niiden järjestystä ja laajuutta täytyi päivittää useaan otteeseen, kun sisältö tarkentui ja rajausta selkeytyi.

Opas on laaja, joten tarvittavan tiedon löytäminen voi olla haaste. Mielestäni työ on kuitenkin hyvin jäsenelty ja ulkoasu on siisti ja selkeä. Työssä on paljon väliotsikoita ja kokonaisuudet on pyritty kasaamaan selkeiksi kokonaisuuksiksi, jotta oppaasta olisi mahdollisimman helppo löytää etsittävät asiat ja osiot. Työhön pyrittiin kokoamaan selkeä sisällysluettelo ja hakemisto, jonka perusteella tarvittavat tiedot olisi mahdollisimman helppo löytää. Etsi-toimintoa hyödyntämällä voi löytää tarvittavat tiedot. Materiaalin alkuun on myös lisätty tietoa sen osa-alueista ja jaottelua millä laajuudella siihen olisi hyvä tutustua missäkin vaiheessa.

Haastava osa työtä oli myös miettiä rajausta julkaistavien ja luottamuksellisten osioiden välillä. Työstä haluttiin julkaista mahdollisimman suuri osa, joten tekstin muotoilu täytyi miettiä ja varmistaa, että mitään luottamuksellista tietoa ei päädy julkaistavaan osioon. Lopulta päädyttiin kokoomaan opinnäytetyö kahdessa osassa, raporttiosana sekä perehdytysopas ja materiaalipankki liitteenä. Tämä lähestymistapa oli kaikkein selkein ja tarjosi parhaimman lopputuloksen opinnäytetyön ja materiaalin näkökulmasta. Tämä tapa oli työläämpi ja aikaa jaottelun tekemiseen meni runsaasti, mutta lopputuloksen kannalta se oli ehdottomasti paras vaihtoehto. Näin perehdytysoppaan sisällystöstä saatiin mahdollisimman selkeä ja johdonmukainen.

Materiaalia täytyy jatkokehittää ja ylläpitää johdonmukaisesti. Sitä päivitetään ohjeiden ja käytäntöjen päivittyessä, sekä saadun palautteen perusteella, jotta sen hyöty säilyy myös tulevaisuudessa.

Tavoitteena on laajentaa materiaaleja koskemaan myös muita prosessiteollisuuden suunnittelualoja, jotta kaikille uusille työntekijöille voidaan tarjota tarvittavaa tietoa ja tukea työn aloittamiseen. Lisäksi suunnitelmissa on laajentaa rakennesuunnittelun materiaalia puurakentamisen osuudella, koska puu on tulevaisuuden materiaali ja sen käyttö lisääntyy myös prosessiteollisuudessa koko ajan. Kuvamateriaalia olisi työssä voinut olla enemmän, koska usein kirjoitettuja ohjeita täsmentää ja havainnollistaa parhaiten oikein valitut kuvat. Työn jatkokehityksen yhteydessä kuvia tullaan lisäämään.

Työn lopputulos on onnistunut ja kattava kokonaisuus ja onkin erittäin mielenkiintoista päästä hyödyntämään sitä tulevaisuudessa. Mielestäni työn tavoitteet täyttyivät, mutta materiaalin todellinen arvo tullaan näkemään vasta, kun uusia tekijöitä liittyy suunnittelutiimiin. Aionkin heidän perehdytysprosessiansa ja työuran alkua seurata, ja pyytää palautetta materiaalista. Materiaalia tullaan täydentämään, päivittämään ja muokkaamaan saadun palautteen perusteella.

LÄHTEET

Työssä on käytetty seuraavasti tekoälyä:

ChatGPT 2023. OpenAI. GPT-3.5. Käytetty kielentarkistukseen, huhtikuu ja toukokuu 2024.
<https://chat.openai.com>

Microsoft Copilot 2024. Microsoft Corporation. Käytetty lähdemateriaalin etsintään ja yksittäisten termien merkitysten selvittämiseen, helmikuu ja maaliskuu 2024. <https://www.bing.com>.

AFRY Ab 2024a. Tietoa meistä. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/tietoa-meista>. Viitattu 12.3.2024.

AFRY Ab 2024b. Rakennesuunnittelu. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/palvelu/rakennesuunnittelu>. Viitattu 12.3.2024.

AFRY Ab 2024c. Prosessiteollisuus. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/palvelut/prosessiteollisuus><https://afry.com/fi-fi/tietoa-meista>. Viitattu 12.3.2024.

AFRY Ab 2024d. Paperi- ja selluteollisuus. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/ala/paperi-ja-selluteollisuus?sector=1402>. Viitattu 13.3.2024.

AFRY Ab 2024e. Kemianteollisuus. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/ala/kemianteollisuus?sector=1402>. Viitattu 13.3.2024.

AFRY Ab 2024f. Kaivos- ja metalliteollisuus. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/ala/kaivos-ja-metalliteollisuus?sector=1402>. Viitattu 13.3.2024.

AFRY Ab 2024g. Prosessiteollisuuden oheistoiminnot. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/ala/prosessiteollisuuden-oheistoiminnot?sector=1402>. Viitattu 13.3.2024.

AFRY Ab 2024h. Prosessisuunnittelu. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/palvelu/prosessisuunnittelu>. Viitattu 12.3.2024.

AFRY Ab 2024i. Layout-suunnittelu. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/palvelu/layout-suunnittelu>. Viitattu 12.3.2024.

AFRY Ab 2024j. Teollisuuskohteiden arkkitehtisuunnittelu. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/osaamisalue/teollisuuskohteiden-suunnittelu>. Viitattu 12.3.2024.

AFRY Ab 2024k. Mekaaninen ja putkistosuunnittelu. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/palvelu/mekaaninen-ja-putkistosuunnittelu>. Viitattu 12.3.2024.

AFRY Ab 2024l. Talotekniikan suunnittelu. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/palvelu/talotekniikan-suunnittelu>. Viitattu 13.3.2024.

AFRY Ab 2024m. Sähkö, automaatio ja instrumentointi. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/palvelu/sahko-automatio-ja-instrumentointi>. Viitattu 12.3.2024.

AFRY Ab 2024n. Infra. Verkkajulkaisu. <https://afry.com/fi-fi/palvelut/infra>. Viitattu 12.3.2024.

BE Group Oy Ab 2022. Teräsrakentajan käsikirja. <https://www.begroup.fi/storage/7EF75A7A4EA29AA7D0F72AFD18F5AEB64D50AC1D467245AA3743D2EE231BD83D/45b00a98a33c412ea9c0fd9b9ad1aa88/pdf/media/7c3bc409efb843b786ba8f29bcf394e6/tera%CC%88srakentajan-ka%CC%88sikirja-2022-web.pdf>. Viitattu 18.3.2024.

- Betoniteollisuus ry julkaisuaika tuntematon a. Paikallavalurakentaminen. Verkkojulkaisu. <https://betoni.com/rakentaminen/valmisbetoni-paikallavalurakentaminen>. Viitattu 25.3.2024.
- Eklund, Annika 2018. Tervetuloa meille! - Uuden työntekijän perehdytys. Helsinki: Impact.
- Elementtisuunnittelu 2020. Teollinen valmisosarakentaminen. Verkkojulkaisu. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen>. Viitattu 25.3.2024.
- Elementtisuunnittelu 2023a. Teräsosien suunnittelu. Verkkojulkaisu. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/liitokset/terasosien-suunnittelu>. Viitattu 3.4.2024.
- Elementtisuunnittelu 2023b. Liitostyyppit. Verkkojulkaisu. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/liitokset/liitosten-toiminta/liitostyyppit>. Viitattu 3.4.2024.
- Elementtisuunnittelu 2023c. Sandwich-julkisivut. Verkkojulkaisu. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/julkisivut/julkisivujarjestelmat/sandwich-julkisivut>. Viitattu 4.4.2024.
- Elementtisuunnittelu 2024. Tervetuloa betoni-elementti-rakentamisen tietopankkiin. Verkkojulkaisu. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/>. Viitattu 11.4.2024.
- ELY-keskus 2020a. Milloin erikoiskuljetuslupaa ei tarvita EU- ja ETA-valtiossa rekisteröidylle ajoneuville. https://www.ely-keskus.fi/documents/13166/0/Milloin_erikoiskuljetuslupaa_ei_tarvita_EU_ ja_ETA-valtiossa_rekister%C3%B6idylle_ajoneuville_2020-10-23.pdf/4eea6115-8762-1bf7-472a-1eb9d202112d?t=1608299593651. Viitattu 20.3.2024.
- ELY-keskus 2020b. Suurimmat sallitut mitat Suomessa kuljetettaessa ajoneuvoa normaaliliikenteessä. https://www.ely-keskus.fi/documents/13166/0/Normaaliliikenteen_mittarajat_2020-06-01_.pdf/be24c470-1b7f-fbb9-6dfc-699d5912b50e?t=1608299761996. Viitattu 20.3.2024.
- FISE 2024. Laadukas rakentaminen taataan pätevyityneillä tekijöillä. Verkkojulkaisu. <https://fise.fi/>. Viitattu 22.3.2024.
- FISE Pätevyyspalvelu 2024. Suunnittelijat. Verkkojulkaisu. <https://www.patevyyspalvelu.fi/fi/wagtail/pages/hakuohjeet/suunnittelijat/>. Viitattu 22.3.2024.
- FISE 2023. Eduskunta hyväksyi uuden rakentamislain. Verkkojulkaisu. <https://fise.fi/eduskunta-hyvakysi-uuden-rakentamislain/>. Viitattu 22.3.2024.
- Joutsenon Elementti 2024. Tuotteet. Verkkojulkaisu. <https://www.joutsenonelementti.fi/tuotteet/#:~:text=rin%20sallittu%20koko%3A%20korkeus%204200,ylityess%C3%A4%20on%20asiasta%20sovittava%20erikseen>. Viitattu 10.4.2024.
- Kupias, Päivi & Peltola, Raija 2009. Perehdyttämisen pelikentällä. Tampere: Palmenia Helsinki University Press.
- Lastunen, Auli 2021. Eurokoodit - Tarkoitus. Verkkojulkaisu. <https://www.eurocodes.fi/eurokoodit-tarkoitus>. Viitattu 13.3.2024.
- Lastunen, Auli 2024. Toisen sukupolven eurokoodit eivät ole vielä käytössä. Verkkojulkaisu. <https://www.eurocodes.fi/toisen-sukupolven-eurokoodit-eivat-ole-viela-kaytossa>. Viitattu 13.3.2024.
- Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry 2020. Hitsausmerkit. https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/10/METSTA_Hitsausmerkit_2020.pdf. Viitattu 22.2.2024.

Ongelin, Petri & Valkonen, Ilkka 2016. SSAB Domex Tube Rakenneputket. EN 1993-käsikirja. Keuruu: SSAB Europe Oy.

Rakennustaito 2023. Rakentamislaki tuo kovat vaatimukset. Verkojulkaisu. <https://rakennustaito.fi/rakentamislaki-tuo-kovat-vaatimukset/>. Viitattu 22.3.2024.

Rakennustieto julkaisuaika tuntematon a. Edistämme hyvää rakennustapaa toimimalla kiinteistö- ja rakennusalan tiedon tuottajana ja välittäjänä suunnittelusta ylläpitoon. Verkojulkaisu. <https://www.rakennustieto.fi/yritys>. Viitattu 14.3.2024.

Rakennustieto julkaisuaika tuntematon b. RT-kortisto - laatua rakentamiseen. Verkojulkaisu. <https://tilaukset.rakennustieto.fi/rt-kortisto/rt-lisenssi>. Viitattu 26.3.2024.

RIL 195-1-2018. Rakenteellinen paloturvallisuus. Yleiset perusteet ja ohjeet 2018. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat 2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

SFS-EN 1090-2:2018: Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset 2018. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://www.eurocodes.fi/terasrakenteet>. Viitattu 19.2.2024.

SFS-EN 1991-1-1: Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat 2002. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://www.eurocodes.fi/kuormat>. Viitattu 7.2.2024.

SFS-EN 1992-1-1: Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt 2015. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://www.eurocodes.fi/betonirakenteet>. Viitattu 7.2.2024.

SFS-EN 1993-1-1 Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt 2014. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://www.eurocodes.fi/terasrakenteet>. Viitattu 22.2.2024.

EN 1993-1-3: Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-3: Yleiset säännöt. Lisäsäännöt kylmämuovatuille sauvoille ja levyille 2006. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://www.eurocodes.fi/terasrakenteet>. Viitattu 22.2.2024.

SFS-EN 1993-1-8: Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus 2005. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://www.eurocodes.fi/terasrakenteet>. Viitattu 19.2.2024.

SFS-EN 1993-1-10: Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-10: Materiaalin sitkeys ja pak-suussuuntaiset ominaisuudet 2005. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://www.eurocodes.fi/terasrakenteet>. Viitattu 15.2.2024.

SFS-EN ISO 12944-2:2017: Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu 2017. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/649594.html.stx>. Viitattu 14.3.2024.

SFS-EN ISO 12944-2:2017/Korjaus:2019 2019: Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu 2019. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/740345.html.stx>. Viitattu 14.3.2024

SFS-EN ISO 14122-1:2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulutiet. Osa 1: Pääsytien valinta ja yleiset vaatimukset 2016. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/427438.html.stx>. Viitattu 8.4.2024.

SFS-EN ISO 14122-2:2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutasot 2016. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/433267.html.stx>. Viitattu 8.4.2024.

SFS-EN ISO 14122-3:2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet 2016. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/435139.html.stx>. Viitattu 8.4.2024.

SFS-EN ISO 14122-4:2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 4: Kiinteät tikkaat 2016. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/449120.html.stx>. Viitattu 8.4.2024.

SFS 5873. Metallirakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Käyttösuositus prosessi- ja metalliteollisuudelle 2008. 3. painos. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/SFS/ID2/5/58652.html.stx>. Viitattu 5.4.2024.

Suomen Betoniyhdistys ry 2018. BY 201 Betonitekniikan oppikirja. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry 2020. BY 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja - osa 1. 4. korjattu painos. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry 2023. BY 65 Betoninormit 2021. 6. painos. Helsinki: BY-koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry julkaisuaika tuntematon. BY betonitieto. Toteutusluokka. Verkkojulkaisu. <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/toteutusluokka.html>. Viitattu 15.3.2024.

Teräsrakenneyhdistys julkaisuaika tuntematon. Rakentaminen Teräksestä. Verkkojulkaisu. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/rakentaminen-teraksesta>. Viitattu 6.2.2024.

Tiainen, Teemu, toimittaja & Papula, Suvi, toimittaja, Teräsrakenneyhdistys ry 2020. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Eurocode 3 -oppikirja. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.

Ympäristöministeriö 2016. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen rakentamismääräyskokoelma. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-suunnitteluperusteet-2016-C352472F_E7C4_4653_BF44_1AB47FB50CB0-137127.pdf/00fb719c-365d-d570-618e-cad1004fbc5b/lopullinen-suunnitteluperusteet-2016-C352472F_E7C4_4653_BF44_1AB47FB50CB0-137127.pdf?t=1603260660111. Viitattu 16.2.2024.

Ympäristöministeriö 2019a. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Teräsrakenteet. Helsinki: Suomen rakentamismääräyskokoelma. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Terasrakenteet-2019-D829E0A3_9D8E_4730_8E6C_EF076B4642F2-126585.pdf/7638f113-2484-1ac7-096c-ec1a39dc5e4e/Terasrakenteet-2019-D829E0A3_9D8E_4730_8E6C_EF076B4642F2-126585.pdf?t=1603260654037. Viitattu 15.2.2024.

Ympäristöministeriö 2019b. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Betonirakenteet. Helsinki: Suomen rakentamismääräyskokoelma. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Betonirakenteet_16122019-281486B7_FA18_4532_82C4_767392EE368F-153760.pdf/f18c7388-5543-aa9b-8c6e-1e0bd5be57e7/Betonirakenteet_16122019-281486B7_FA18_4532_82C4_767392EE368F-153760.pdf?t=1603260655971. Viitattu 8.2.2024.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>. Viitattu 26.3.2024.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta 927/2020. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200927>. Viitattu 26.3.2024.