

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka/ korjausrakentaminen ja rakennusrestaurointi

Ville Harviainen

EUROKOODI 5:N KÄYTTÖ ASUINRAKENNUKSEN MITOITUKSESSA

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

HARVIAINEN, VILLE

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Maaliskuu 2012

Avainsanat

Eurokoodi 5:n käyttö asuinrakennuksen mitoituksessa

46 sivua

Juha Karvonen, lehtori

Jani Pitkänen, päätoim. tuntiopettaja

Insinööritoimisto HT Rakenne

eurokoodit, esimerkkilaskut, paloturvallisuus

Opinnäytetyö käsittelee Eurokoodi 5:n käyttöönottoa suunnittelutoimistossa. Tarkoituksena oli selvittää, mihin asioihin eurokoodi vaikuttaa asuinrakennusten mitoituksessa ja mitkä osa-alueet on syytä huomioida uudessa mitoitusstandardissa. Vertailua alkuperäiseen mitoitustapaan rakennusmääräyskokoelman avulla ei työssä tehty.

Tavoitteena oli saada tilaajalle selkeä tietopaketti mitoituksesta eurokoodeilla ja lisäksi muutama esimerkkilasku, jotta erot alkuperäiseen mitoitustapaan rakennusmääräyskokoelman avulla näkyvät käytännössä. Koska aiheesta löytyy jo tietoa muualta, tavoitteena oli poimia ainoastaan huomionarvoisia kohtia aiheesta.

Tutkimusmenetelminä työssä olivat tiedonhankinta kirjallisuudesta ja haastattelut suunnittelijoilta, jotka eurokoodia ovat käyttäneet. Suurinta painoarvoa työssä saivat palkin ja pilarin mitoitukset sekä palomitoitus.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

HARVIAINEN, VILLE

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

March 2012

Keywords

Use of Eurocode 5 in Residential Building Design

46 pages

Juha Karvonen, Senior Lecturer

Jani Pitkänen, Lecturer

Insinööritoimisto HT Rakenne

eurocodes, example calculations, fire safety

This bachelor's thesis deals with questions and remarks about Eurocode 5. The reason to perform the study was to find out the factors that change when the design of a structure is performed using only Eurocodes. This thesis is only about structures of small residential buildings.

The goal of this thesiswork was to get a compact guide about Eurocodes, mainly about Eurocode 5. This thesis also contains a few example calculations done using only Eurocodes. These calculations clarify the changes in design of structures compared to the existing design system. In this thesis there are no calculations done using the old building codes. One of the main goals was to clarify only the important parts of Eurocodes, because a lot of information about this subject can be found elsewhere.

The research methods in this thesiswork were literature study and interviews of other designers who have used Eurocodes before. The main focus in this thesis is on the dimensioning of the beam and column and design factors in fire safety.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	HISTORIA	7
	2.1 Eurokoodien synty	7
	2.2 Tilanne nyt	7
3	SUUNNITTELUPERUSTEET	9
	3.1 Eurokoodien käyttö yleisesti	9
	3.2 Soveltamisala	9
	3.3 Rajatilamitoitus	9
	3.3.1 Murtorajatila	10
	3.3.2 Käyttörajatila	11
	3.4 Kuormat	11
	3.4.1 Omapaino	12
	3.4.2 Hyötykuorma	12
	3.4.3 Lumikuorma	12
	3.4.4 Tuulikuorma	15
4	PUU RAKENNUSMATERIAALINA	18
	4.1 Yleistä	18
	4.2 Puun koostumuksen vaihtelu	18
	4.3 Puun muodonmuutokset	19
	4.4 Materiaaliominaisuuksien huomioon ottaminen mitoituksessa	20
5	PALOMITOITUS	22
	5.1 Perusteet	22
	5.2 Standardin kansallinen liite	23
	5.3 Mitoituksen kulku	24
	5.4 Palomitoituksessa huomioon otettavia asioita	25
	5.5 Vaihtoehdot palomitoituksessa	25

6	ESIMERKKILASKUT	28
6.1	Yksiaukkoinen palkki	28
6.1.1	Lähtötiedot	29
6.1.2	Taivutuskestävyys	30
6.1.3	Taipuma	31
6.1.4	Kiepahdustarkastelu	32
6.1.5	Leikkausvoimakestävyys	33
6.1.6	Tukipainekestävyys	33
6.1.7	Värähtely	34
6.1.8	Yhteenveto	36
6.2	Runkotolppa	37
6.2.1	Lähtötiedot	38
6.2.2	Kuormat	38
6.2.3	Nurjahduskestävyys	39
6.2.4	Leikkaus	41
6.2.5	Kiepahdus	41
6.2.6	Alaohjauspuun tukipainekestävyys	42
6.2.7	Yhteenveto	43
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	44
7.1	Oma työ ja tulokset	44
7.2	Eurokoodien käyttöönotto suunnittelutoimistossa	44
	LÄHTEET	46

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana on Insinööritoimisto HT Rakenne. Tilaajan puolelta nimetty työn ohjaaja on Heikki Räisänen. Työ käsittelee eurokoodeilla tehtävää mitoitus- ja asuinrakennuksissa. Työn tarkoituksena on helpottaa siirtymistä pelkästään eurokoodien avulla suunnitteluun.

Eurokoodien käyttöönotto tuo entiseen rakennusmääräyksillä tehtävään mitoitukseen verrattuna lisää tarkkuutta mitoitukseen, koska eurokoodeja käytettäessä tarvitsee ottaa enemmän muuttujia huomioon jo tutuissa yhtälöissä. Voidaan siis sanoa, että eurokoodeilla tehtävä mitoitus on perinpohjaisempaa.

Eurokoodien avulla tehtävä mitoitus on ollut mahdollista päärakennusmateriaalien osalta jo vuodesta 2007 lähtien, jolloin eurokoodeja alettiin käyttää rinnakkain rakentamismääräyksien kanssa. Alun perin eurokoodien piti olla kokonaisvaltaisesti käytössä vuoden 2010 alussa, mutta lisäaikaa rakennusmääräyksillä mitoittamiseen on annettu toistaiseksi vuoden 2012 ajaksi. Rakennusmääräyksissä puurakenteita on koskenut B-osan kohta 10 ja kuormien laskentaa B1. Eurokoodeista puurakenteita koskee eurokoodi 5 eli EC5. Kuormat rakenteille määritellään eurokoodi 1:n (EC1) ja suunnitteluperusteet eurokoodi 0:n (EC0) mukaan.

Tässä työssä eurokoodia tuodaan tutuksi tekstimuodossa käsitellen eurokoodin takana olevaa teoriaa ja selittää hieman tarkemmin tiettyjä asioita eurokoodin käytössä. Lisäksi työn lopussa on esimerkkilaskuja, jotka on pyritty tekemään yleiseen muotoon, eli niistä voidaan laskentaa siirtää helposti toisiin kohteisiin.

2 HISTORIA

2.1 Eurokoodien synty

John Sunley aloitti EC5:n suunnittelun jo vuonna 1973 puurakenteiden suunnittelun malliohjeen CIB:n (Conseil International du Bâtiment pour la Reserche) laatimisella. Hän oli silloisen UK Forest Products Laboratoryn ja myöhemmin TRADA:n johtaja. Sunleyn aloite vastasi alalla olevaan tarpeeseen ja se muokattiin W18:ssa (Kansainvälinen rakennustutkimuksen, selvitysten ja raportoinnin neuvosto) puurakenteiden ohjeeksi, joka julkaistiin vuonna 1983. Tästä ohjeesta tuli välittömästi tulevan puurakenteita koskevan eurokoodin lähtökohta. Varsinaista eurokoodia alettiin valmistella Euroopan yhteisön komission toimesta vuonna 1985. Tällöin tavoitteena oli saada valmiiksi luonnokset Euroopassa yhteiseksi tulevista suunnitteluohjeista, jotka edesauttaisivat suunnittelijoiden yhteistyötä eri maiden välillä. (Kurkela 1996)

Yleisesti ottaen, ei siis vain puurakenteiden osalta, eurokoodien valmistelu aloitettiin 1975. Tavoitteena oli tasapainottaa teknisiä määräyksiä eri maiden välillä ja poistaa eri maiden välillä olevia kaupallisia ja teknisiä ongelmia. Uusia määräyksiä suunniteltiin alusta pitäen olemaan aluksi kansallisten ohjeiden rinnalla olevia vaihtoehtoja suunnitteluun ja vasta myöhemmin niiden oletettiin korvaavan jo olemassa olevat ohjeet. Ensimmäiset eurokoodit julkaistiin vuonna 1984, minkä jälkeen vuonna 1989 eurokoodien työstäminen siirtyi Euroopan komissiolta Euroopan neuvoston standardisointijärjestölle CEN:lle. Tällöin lyötiin lukkoon tavoitteet, rahoitus ja aikataulus. Komission tekemät ohjeistukset oli tarkoitus saada EN-standardimuotoon. Vuosina 1992 - 1998 CEN julkaisi ns. esieurokoodit (ENV-standardit), jotka olivat vielä paljon muokattavissa eri maissa kansallisessa soveltamisasiakirjassa löytyneillä arvoilla. Lisäksi eri mailla oli vielä mahdollisuus vaikuttaa siihen, miten kukin maa haluaa näitä esieurokoodeja käyttää. Suomessa Kansallisten soveltamisasiakirjojen laatimisesta oli vastuussa ympäristöministeriö, joka valmisti asiakirjat eri konsulttien avulla. Esi-eurokoodeja alettiin muuttaa varsinaisiksi eurokoodeiksi (EN-standardeiksi) vuonna 1998 ja ne julkaistiin vuonna 2007. (Kurkela 1996)

2.2 Tilanne nyt

Tällä hetkellä eurokoodit ovat viimeistä silausta vaille valmiit täyspainoiseen käyttöön. Ympäristöministeriö valmistelee viimeisiä eurokoodeihin tarvittavia kan-

sallisia liitteitä ja julkaisee niitä sitä mukaa, kun ne valmistuvat. Mitoitus on kuitenkin mahdollista tehdä pelkästään eurokoodeja käyttämällä, mutta vielä on mahdollisuus käyttää vanhoja normeja, ainakin vähän aikaa. (Eurokoodien tilanne nyt)

Tällä hetkellä useat tahot työskentelevät eurokoodien eri osien valmistelussa.

Taulukko 1. Eurokoodien parissa työskentelevät tahot (Eurokoodien tilanne nyt)

Taho	Vastuualue
Ympäristöministeriö	talonrakentamisen kansalliset liitteet
Rakennusteollisuus RT ry	suunnitteluperusteet, kuormat, betonirakenteet, liittorakenteet ja muuratut rakenteet
Metsäteollisuus ry	puurakenteet
Liikennevirasto	osa geoteknistä suunnittelua ja kaikki siltojen suunnitteluun liittyvät osat
Suomen standardisoimisliitto ry	maanjäristysosa ja eurokoodien julkaiseminen
Metalliteollisuuden Standardointikeskus ry	teräs- ja alumiinirakenteet

3 SUUNNITTELUPERUSTEET

3.1 Eurokoodien käyttö yleisesti

Eurokoodi-standardeja on yhteensä kymmenen kappaletta ja ne toimivat viitaten toisiinsa ja muodostaen yhtenäisen kokonaisuuden. Eurokoodi-standardit ovat:

EN 1990	Eurocode 0: Rakenteiden suunnitteluperusteet
EN 1991	Eurocode 1: Rakenteiden kuormat
EN 1992	Eurocode 2: Betonirakenteiden suunnittelu
EN 1993	Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu
EN 1994	Eurocode 4: Betoni-teräслиittorakenteiden suunnittelu
EN 1995	Eurocode 5: Puurakenteiden suunnittelu
EN 1996	Eurocode 6: Muurattujen rakenteiden suunnittelu
EN 1997	Eurocode 7: Geotekninen suunnittelu
EN 1998	Eurocode 8: Maanjäristysmitoitus (standardia ei ole käännetty suomeksi)
EN 1999	Eurocode 9: Alumiinirakenteiden suunnittelu

Kun rakennus tai rakenne suunnitellaan ja toteutetaan käyttäen näitä standardeja ja periaate- ja soveltamissääntöjä, sen voidaan luotettavasti olettaa toimivan asianmukaisella tavalla. Muita rakenteiden suunnitteluohjeita voidaan käyttää, jos niiden osoitetaan olevan asianomaisten periaatesääntöjen mukaisia.

3.2 Soveltamisala

Standardia EN 1990 on tarkoitus käyttää standardien EN 1991 – EN 1999 kanssa yhdessä rakennuksien ja infrarakenteiden suunnitteluun uudisrakentamisen tai korjausrakentamisen kannalta. Uudisrakentamisen kannalta tämä tarkoittaa luonnollisesti toimivien rakenteiden suunnittelua ja toteutusta. Korjausrakentamisen alalla EN-standardien avulla voidaan arvioida jo olemassa olevan rakenteen kestävyyttä ja sen käyttötarkoituksen muutosmahdollisuuksia. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL 2008)

3.3 Rajatilamitoitus

Kun eurokoodeilla mitoitetaan rakenteita, käytetään niin sanottua rajatilamitoitusta. Rajatilat jakautuvat murtorajatilaan ja käyttörajatilaan. Kummassakin rajatilassa suoritetaan erikseen oma mitoituksensa. Rajatilamitoitus perustuu yksinkertaistettuihin ra-

kennemalleihin ja ennalta arvioituihin kuormitusyhdistelmiin. Rakenteita ei siis mitoiteta siten, että ne kestäisivät kaikki niille tulevat kuormat yhdenaikaisesti. Olennaista on, että missään mitoituksen vaiheessa rakenteelle suunnitellut kuormat eivät ylitä rakenteen kapasiteettia tai rakenteelle annettua raja-arvoa. Suunnitteluarvojen symbolit ovat tavallisesti kuormille S_d , kapasiteetille R_d ja raja-arvoille C_d . Kuormat tulee vielä jakaa pysyviin kuormiin G , muuttuviin kuormiin Q ja onnettomuuskuormiin A . (Kurkela 1996)

Murtorajatilassa ja käyttörajatilassa tehtävien mitoitusmallien tulisi ottaa huomioon materiaaliominaisuudet (esim. lujuus ja jäykkyys), materiaalien erilainen ajasta riippuva toiminta (kuten kuormien kesto ja viruminen), erilaiset ilmasto-olosuhteet ja erilaiset mitoitusilanteet (esim. rakentamisvaiheessa tulevat kuormat ja käytöstä syntyvät kuormat). (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL 2008)

3.3.1 Murtorajatila

Murtorajatiloiksi luokitellaan sellaiset rajatilat, jotka käsittelevät rakenteen kapasiteetin ylityksiä jollakin tavoin, eli murtorajatilamitoituksella varmistetaan, että rakenne kestää vaurioitumatta kuormaa. Mitoituksessa tarkasteltavia murtorajatiloja ovat: rakenteen (tai sen osan) tasapainon menetys, liian suuri siirtymä, rakenteen muuttuminen mekanismiksi, katkeaminen, rakenteen (tai sen osan) stabiiliuden menetys ja aikaan sidonnaiset vauriot, kuten väsyminen. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL 2008)

Standardissa EN 1995-1-1 määritellään seuraavasti murtorajatilassa käytettävistä rakennemalleista. *Murtorajatilassa tehtävien rakennemalleissa käytetään seuraavia jäykkyysominaisuuksia:*

- *keskimääräisiä arvoja käytetään silloin, kun rakennetta analysoidaan geometrisesti lineaarisena lineaarisen kimmoteorian mukaan ja rakenteen sisäinen jäykkyysjakauma ei vaikuta voimasuureiden jakautumiseen (esimerkiksi kaikkien sauvojen ajasta riippuvat ominaisuudet on samat)*
- *mitoitettavaa kuormaa vastaavia lopputilan keskiarvoja käytetään, kun rakenteen sisäinen jäykkyysjakauma vaikuttaa rakenneosan voimasuureiden jakautumiseen (esimerkiksi liittorakenteiden osia analysoidessa, kun niiden materiaalien ajasta riippuvat ominaisuudet ovat erilaiset)*

- *kuorman keston huomiotta jättäviä mitoitusarvoja käytetään silloin, kun rakenne analysoidaan geometrisesti epälineaarisena lineaarisen kimmoteorian mukaan.*

(Suomen standardisoimisliitto SFS ry 2008)

3.3.2 Käyttörajatila

Käyttörajatiloina luokitellaan sellaiset rajatilat, jotka käsittelevät rakenteen käyttömu-
kavuutta, toimivuutta, rakenteen ulkonäköön vaikuttavia vaurioita ja rakenteiden säi-
lyvyyttä. Esimerkiksi värähtelymitoitus kuuluu käyttörajatilaan. Standardeissa on esi-
tetty käyttörajatiloina minimiraja-arvoja, jotka rakenteen tulee täyttää. Kohdekohtai-
sesti on kuitenkin mahdollista määritellä tiukemmat raja-arvot käyttörajatiloihin. Täl-
laista raja-arvojen tiukentamista vaativat yleensä kohteet joiden käyttötarkoitukset
ovat normaaleista asuinrakennuksista poikkeavia.

Käyttörajatilamitoituksella varmistetaan siitä, että rakenteeseen kohdistuvien kuormi-
en tai kosteuden vaikutuksesta ei synny ollenkaan tai vain riittävän pienissä määrin
vahinkoa rakenteen ulkonäkövaatimuksille tai toimintavaatimuksille. Kuormasta syn-
tyvän hetkellisen muodonmuutostilan U_{inst} voi laskea standardin EN 1990 kohdan
6.5.3(2)a) mukaisella kuormien ominaisyhdistelmällä sekä käyttämällä kimmokerto-
imen, liukukertoimen ja siirtymän kertoimen keskiarvoja. (Suomen Rakennusinsinöö-
rien Liitto RIL 2008)

3.4 Kuormat

Kuormien laskenta perustuu oletuksiin ja arviointiin suurimmista rakenteille koh-
distuvista kuormista ja näiden kuormitusyhdistelmistä. Pelkästään kuormien laskentaa
käsittelee siis standardi SFS-EN 1991 ja suunnitteluohjeita löytyy mm. RIL 201-
2007:stä ja yksinkertaistettuna RIL 205-1-2007:n kohdasta 2.3.1.4. Oleelliset
kohdat, jotka tulee kuormien mitoituksessa ottaa huomioon, ovat kuorman arvioitu
suuruus, kuorman kesto, puun kosteus ja kosteuden vaihtelusta syntyvät rasitukset.

3.4.1 Omapaino

Rakenteiden omapaino lasketaan rakenteen nimellismittojen ja nimellisten tilavuuspainojen avulla. Havupuun nimellinen tilavuuspaino on 5 kN/m^3 , ja tätä samaa tilavuuspainoa käytetään havupuusta valmistettujen rakennustuotteiden kohdalla. Tehdasvalmisteisten rakennustuotteiden tilavuuspainot saadaan useimmin valmistajalta. Kevyille väliseinille voidaan käyttää tasaista lattiakuormaa, jonka arvo on vähintään $0,3 \text{ kN/m}^3$. (Kevarinmäki 2008)

3.4.2 Hyötykuorma

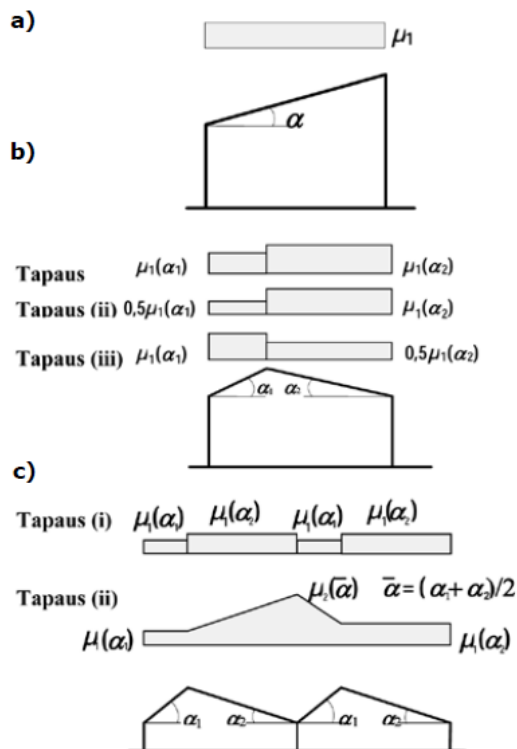
Hyötykuormia ovat kaikki tilan käytöstä johtuvat muuttuvat ja liikkuvat kuormat, esimerkiksi ihmisistä tai kalustuksista johtuvat kuormat. Laskennallisesti niiden otaksutaan esiintyvän rakenteiden kannalta pahimmassa paikassa suurimmalla arvolla, jolla niiden uskotaan esiintyvän. Pistekuormaa Q_k ei yhdistetä muihin tasaisesti jakautuviin kuormiin, vaan se huomioidaan erillisenä. Mikäli Q_k :n arvo on alle 2 kN , sen oletetaan vaikuttavan 250 mm^2 :n alueella ja mikäli Q_k :n arvo on yli 2 kN , sen oletetaan vaikuttavan 1000 mm^2 :n alueella. (Kevarinmäki 2008)

Taulukko 2. Tavallisimpia kuormia (Kevarinmäki 2008)

Käyttötarkoitukseluokka ja tila	tasainen kuorma q_k	pistekuorma Q_k	vaakakuorma q_k
Luokka A: Asuintilat			
Lattiat	2,0	2,0	0,5
Portaat	2,0	2,0	0,5
Parvekkeet	2,5	2,0	0,5
Luokka B: Toimistotilat	2,5	2,0	0,5
Luokka C: Kokoontumistilat			
C1: Pöytäalueet	2,5	3,0	0,5
C2 Kiinteiden istuimien alueet	3,0	3,0	1,0
C3: Esteettömät alueet	4,0	4,0	1,0
C4: Liikuntatilat ja näyttämöt	5,0	4,0	1,0
C5 Tungokselle alttiit alueet	6,0	4,0	3,0

3.4.3 Lumikuorma

Lumikuorma saadaan, kun selvitetään ensin lumikuorman ominaisarvo maassa ja tämän jälkeen kuorma ”siirretään” katolle. Tavallisesti lumikuorma katolla on n. $2\text{--}3 \text{ kN/m}^2$. Seuraavana on kuva, josta voi nähdä lumikuormien ominaisarvot eli lumi-



Kuva 3. Muotokertoimen valinta, eri kattotyypeille (Kevarinmäki 2008)

Näistä taulukoista saatuja arvoja voidaan käyttää, jos lumen poistumista katolta ei esitetä millään muotoa. Jos lumi ei esteettä pääse katolta pois, muotokertoimen arvon tulee olla vähintään 0,8. Myös tuulesta johtuva lumen kinostuminen tulee ottaa huomioon seuraavilla kaavoilla. (Kevarinmäki 2008)

$$\mu_1 = 0,8$$

(RIL 205-1-2009 2.5.6S)

$$\mu_2 = \gamma * \frac{h}{s_k}$$

$$\mu_3 = 2,5$$

keskimmäistä kaavaa voidaan käyttää vain, jos $0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$

γ = lumen tilavuuspaino = 2 kN/m³

h = esteen korkeus

s_k = ominaislumikuorma maassa

Se, millä alueella vaikuttaa μ_1 ja millä alueella μ_2 , riippuu kinostumispuutuksesta l_s , joka on $2 * h$

3.4.4 Tuulikuorma

Tuulikuorman laskeminen eurokoodeilla on melko hankalaa, joten sen laskemiseksi asuinrakennukselle kannattaa käyttää joko tietokoneohjelmaa tai yksinkertaistettua laskentamallia, joka löytyy mm. lyhennetystä puurakenteiden suunnitteluohjeesta ja RIL 205-1-2009:stä. Yksinkertaistetulla menettelyllä voidaan laskea joko kokonais-tuulikuorman vaikutus rakennuksen tuulta jäykistäville rakenteille tai raken-teen/rakennuksen osapintojen ja niiden kiinnitysten mitoitus paikalliselle tuulen pai-neelle.

Rakenteita, jotka toimivat jäykisteinä muulle kuin tuulikuormalle, ei yleensä mitoiteta kuormitusyhdistelmissä, joissa tuulikuorma vaikuttaa yhdessä muiden muuttuvien kuormien kanssa.

Kun lasketaan rakennuksen tuulta vastaan jäykistäviä rakenteita, on oleellista selvit-tää rakennuksen tai erillisen seinämän kokonaistuulikuorman ominaisarvio. Kokonais-tuulikuorman resultantti $F_{w,k}$ lasketaan kaavalla.

$$F_{w,k} = c_f q_k(h) A_{ref} \quad (\text{RIL 205 -1-2009 2.5.10S})$$

jossa

$F_{w,k}$ = kokonaistuulikuorman resultantti

c_f = rakenteen voimakerroin

$q_k(h)$ = rakennuksen korkeutta h vastaava nopeuspaine

A_{ref} = rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala

Kun taas lasketaan rakennuksen/rakenteen osapintojen ja niiden kiinnitysten mitoitus-ta paikalliselle tuulenpaineelle, on oleellista selvittää tuulen aiheuttama osapinnan net-topaine. Tuulen aiheuttama osapinnan nettopaine $q_{w,k}$, lasketaan kaavasta.

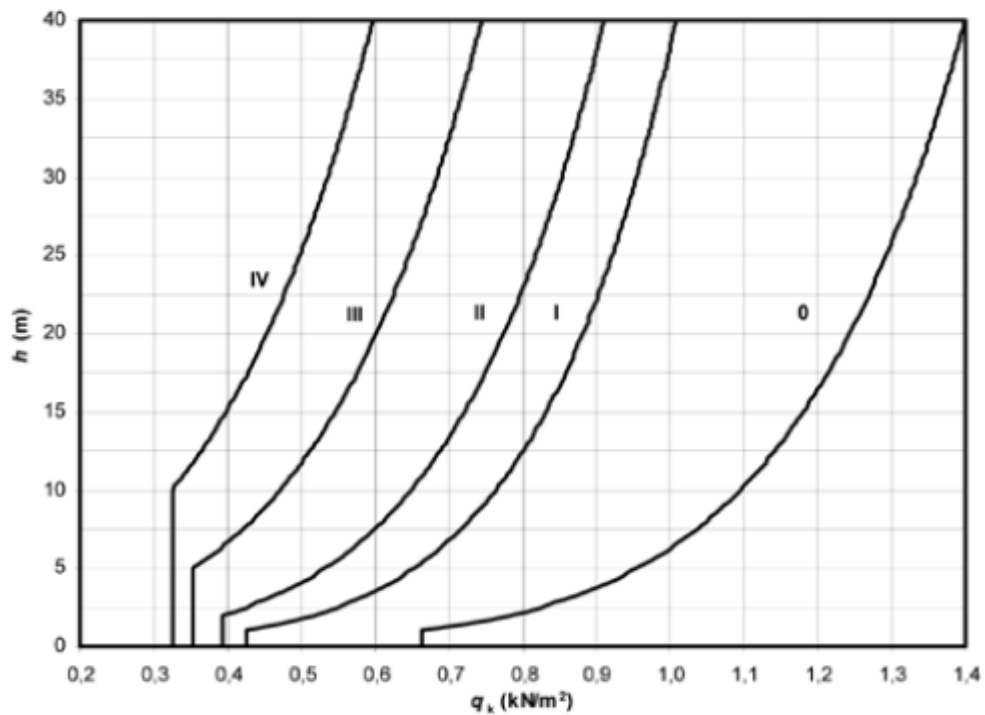
$$q_{w,k} = c_{p,net} q_k(h) \quad (\text{RIL 205-1-2009 2.5.11S})$$

jossa

$c_{p,net}$ = osapinnan nettotuulenpaine kerroin

Taulukko 3. Kertoimen c_f hankkiminen (Kevarinmäki 2008)

Kuvaus	c_f
Umpinainen rakennus yleensä	1,3
Pulpettikattoinen umpinainen rakennus tarkasteltaessa kattolapteen suuntaista tuulta, kun katon kaltevuus on $5^\circ \dots 40^\circ$ (toisessa suunnassa $c_f = 1,3$)	1,5
Osittain avoin rakennus, kun tuulen puoleisella sivulla olevien aukkojen pinta-ala on enintään 30% rakennuksen ulkoseinien kokonaispinta-alasta	1,6
Erillinen seinämä	2,1

Kuva 4. Kertoimen $q_k(h)$ hankkiminen (Kevarinmäki 2008)

Taulukko 4. Kertoimen $c_{p,net}$ hankkiminen (Kevarinmäki 2008)

Ulkoseinät	suurin imu nurkka-alueilla		suurin imu keskialueilla		suurin paine sisäänpäin	
	A>10	A<1m ²	A>10	A<1 m ²	A>10	A<1 m ²
tarkasteltava pinta-ala	A>10	A<1m ²	A>10	A<1 m ²	A>10	A<1 m ²
$c_{p,net}$	-1,5	-1,7	-1,1	-1,4	1,1	1,3

Taulukko 5. Kattojen nettopainekertoimia suurimmalle paikalliselle tuulen imulle (Kevarinmäki 2008)

kattotyyppi	katon kaltevuus (asteina)	nurkka-alueet			reuna-alueet			muu alue	
		A≥10	A≤1	räystäs	A≥10	A≤1	räystäs	A≥10	A≤1
tasakatto	<5	-2,1	-2,8	-3,5	-1,5	-2,3	-3,0	-1,0	-1,5
pulpettikatto	5...15	-2,7	-3,2	-3,9	-2,2	-2,8	-3,5	-1,2	-1,5
	≥30	-2,4	-3,2	-3,9	-1,8	-2,3	-3,0	-1,3	-1,6
harjakatto	5...15	-2,0	-2,8	-3,5	-1,6	-2,3	-3,0	-1,0	-1,5
	≥30	-1,4	-1,8	-2,5	-1,7	-2,3	-3,0	-1,2	-1,5

4 PUU RAKENNUSMATERIAALINA

4.1 Yleistä

Puun materiaaliominaisuudet vaihtelevat paljon eri puiden ja jopa saman puukappaleen sisällä. Siksi puukappaleiden tarkka mitoitus vaatisi erilaisia mittauksia jokaisen rakennuksessa käytettävän puukappaleen osalta. Näin ei kuitenkaan tehdä, vaan puukappaleet mitoitetaan keskiarvojen ja olettamuksien perusteella. Varmuus mitoituksen paikkansa pitävyydelle tulee siitä, että käytetään lujuusluokiteltua puutavaraa tai ns. hajotettuja ja uudelleen koottuja puutuotteita, joissa puun luonnollista epähomogeenisuutta on pienennetty pienentämällä puussa tapahtuvaa vaihtelua. Tällaisia hajotettuja ja uudelleen koottuja puutuotteita ovat esimerkiksi liimapuu ja vaneri. (Kurkela 1996)

Myytävä puumateriaali jaetaan lehti- ja havupuihin, joiden välillä on merkittäviäkin eroja materiaaliominaisuuksien kannalta. Puutyyppien erot johtuvat toisistaan poikkeavasta solurakenteesta ja puusolukon kehittymisen ja kasvun vaihtelevuudesta. (Kurkela 1996)

4.2 Puun koostumuksen vaihtelu

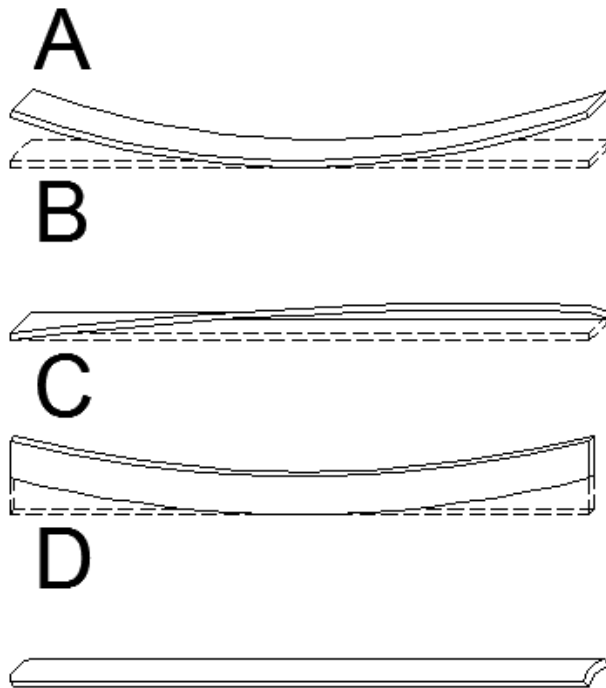
Materiaaliominaisuuksiin vaikuttavaa koostumuksen vaihtelua aiheuttavat mm. kosteuden ja tiheyden vaihtelu, rungon kohta, josta puutuote on otettu, ja puussa olevat oksat. Puussa oleva kosteus vaikuttaa merkittävästi puun käyttäytymiseen rakenteessa ja kosteuden vaihdellessa puu ns. elää rakenteessa. Kosteuden vaihtelusta aiheutuvien muutoksien vähentämiseksi rakenteeseen valittavan puun kosteus tulisi sovittaa ympäröivään kosteuteen. Tämä voi olla haastavaa esimerkiksi silloin, kun puu on sijoitettu merkittävästi vaihtelevaan kosteusympäristöön tai jos puu on sijoitettu esimerkiksi osittain eristekerroksen sisään ja osittain kylmän ilman puolelle. (Kurkela 1996)

Se puunrungon kohta, josta käytettävä puutuote on otettu, vaikuttaa myös puun ominaisuuksiin. Puun vuosittainen kasvu ilmenee puussa ns. vuosilustoina. Ensimmäisten 5 - 20 vuosiluston aikana kasvanutta puuta sanotaan nuorpuuksi, ja tämän osan lujuus ja jäykkyys on heikompi kuin ulompien kerrosten, lisäksi turpoaminen ja kutistuminen on tällä alueella voimakkaampaa.

Puussa olevat oksat alentavat puun lujuutta ja jäykkyyttä. Niin kutsuttu terve oksa on kiinnittynyt puun ytimeen ja kasvanut ympäröivään puuainekseen kiinni. Mikäli oksa on jossain vaiheessa katkennut tai kuollut, se koteloituu puun sisään eikä se kiinnity ympäröivään puuainekseen. (Kurkela 1996)

4.3 Puun muodonmuutokset

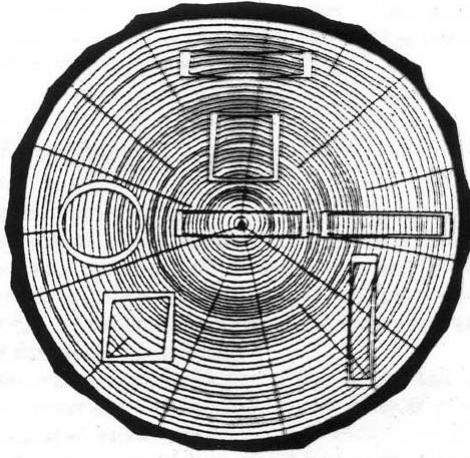
Puu kutistuu eri suuntiin eri nopeudella, ja tästä johtuvat monet puutuotteiden muodonmuutokset. Vuosilustot ovat sahatussa kappaleessa kaarevia, mutta kutistumalla ne pyrkivät oikenemaan ja riippuen kohdasta, josta kappale on sahattu, kutistuminen aiheuttaa erilaisia muodonmuutoksia. Alla olevassa kuvassa on esitelty muodonmuutoksia, joita voi tulla normaaliin lautaan. Muodonmuutokset ovat: A-lapevääryys, B-kierous, C-syrjävääryys ja D-koveruus. (Kurkela 1996)



Kuva 5. Muodonmuutokset laudoissa (Kurkela 1996)

Normaalioloissa puu sisältää aina jonkin verran vettä. Kun puu kuivuu, silloin vesi poistuu rungon eri osista erilaisella nopeudella, mikä aiheuttaa jo sahattuihin kappaleisiin muodonmuutoksia. Puun kuivuminen aiheuttaa siis puun kutistumisen. Eniten puu kutistuu vuosirenkaiden mukaisessa suunnassa ja vähiten pituussuunnassa. Kuivuminen ei ole pelkästään huono asia, sillä se parantaa puun lujuusominaisuuksia. Ohessa

on kuva rungon poikkileikkauksesta, josta näkyy, miten siitä sahatut kappaleet muuttuvat kuivumisen seurauksena. (Kurkela 1996)



Kuva 6. Sahattujen kappaleiden muodonmuutokset (Kurkela 1996)

4.4 Materiaaliominaisuuksien huomioon ottaminen mitoituksessa

Kosteuden ja kuorman keston vaikutus huomioidaan mitoituksessa kertoimella k_{mod} .

Tämän kertoimen arvo määräytyy seuraavasta taulukosta:

Taulukko 6. Kosteuden ja kuorman keston huomioiva kerroin k_{mod} (Kevarinmäki 2008)

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
Sahatavara, Pyöreä puu, Liimapuu, LVL, Vaneri	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90
Lastulevy P4*, OSB/2*, Kova kuitulevy EN 622-2	1	0,30	0,65	1,10
	2	0,20	0,45	0,80
Lastulevy P6*, OSB/3 ja OSB/4	1	0,40	0,70	1,10
	2	0,30	0,55	0,90
Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA*, MABH.HLS, MDF.LA* ja MDF.HLS	1	0,20	0,60	1,10
	2	0,20	0,60	0,80

*Voidaan käyttää vain käyttöluokassa 1

Mitoitusarvo lujuusominaisuudelle x_d lasketaan seuraavasta kaavasta.

$$x_d = k_{\text{mod}} \frac{x_k}{\gamma_M} \quad (\text{RIL 205-1-2009 2.14})$$

jossa

x_k = lujuusominaisuuden mitoitusarvo

γ_M = materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

k_{mod} = muunnoskerroin

Rakenneosan jäykkyysominaisarvot E_d ja G_d lasketaan kaavoista.

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}, G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad (\text{RIL 205-1-2009 2.15/2.16})$$

5 PALOMITOITUS

5.1 Perusteet

Palomitoitus on rakenteiden mitoittamista palotilanteisiin. Yleensä mitoituksella pyritään ratkaisemaan, kauanko rakenne toimii tarkoitetulla tavalla, ennen kuin se romahtaa tai menettää muita merkityksellisiä ominaisuuksiaan. Näin ollen palomitoituksella saadaan varmuutta rakenteiden turvallisuudesta jopa onnettomuustilanteessa. Palonsuojaus rakennuksessa voi olla aktiivista tai passiivista. Aktiivisella palonsuojauksella tarkoitetaan palotilanteessa toimivaa sammutusjärjestelmää, joka sammuttaa palon, esimerkiksi sprinklerijärjestelmä. Passiivinen palonsuojaus tarkoittaa sitä, että rakenne vastustaa/ehkäisee paloa koko ajan, eli materiaali rakenteessa on sellaista, joka ei pala ollenkaan tai palaa heikosti tai materiaalia on niin paljon, että sen palaminen kestää verrattain kauan. Passiivisia palonkestävyysominaisuuksia vaaditaan yleensä rakenteilta, jotka ovat kantavia tai osastoivia. Kantavat rakenteet pyritään mitoittamaan siten, että rakennusosien kantokyky säilyy ainakin tietyn ajan palon alkamisesta. Osastoivat rakenteet mitoitetaan halutulla laajuudella niin, että ne täyttävät tiiviystvaatimukset, vastakkaiselle puolelle tulevan lämpösäteilyn vaatimukset ja vaadittaessa eristävyysvaatimukset.

Standardista EN 1995-1-1 löytyy joitakin palomitoitukseen liittyviä perusasioita, mutta tarkemmat ohjeet palomitoitukseen löytyvät standardin EN 1995 osasta kaksi. Tämän standardin pääasiallisena tehtävänä on varmistaa, että suunnitteluvaiheessa huomioidaan palosuojelu ja sen tavoitteet. Yleisenä tavoitteena palosuojelulla on tulipalotilanteessa rajoittaa yksilöön, yhteiskuntaan, suoraan palolle altistettuun omaisuuteen, lähellä olevaan omaisuuteen ja ympäristöön kohdistuvia riskejä.

Palomitoituksen tulisi täyttää rakennustuotedirektiivissä 89/106/ETY asetetut vaatimukset. Rakennustuotedirektiivin mukaan tulipalotilanteessa.

- kantavien rakenteiden voidaan olettaa kestävän tietyn ajan
- tulen ja savun kehittyminen ja leviäminen rakennuksen sisällä on rajoitettu
- tulen leviäminen viereisiin rakennuksiin on rajoitettu
- henkilöt pääsevät poistumaan rakennuksesta tai heidän pelastamisensa on muutoin mahdollista.

(Suomen standardisoimisliitto SFS ry 2004)

Rakennuksen palomitoitus ja paloturvallisuus on syytä ottaa huomioon jo rakennuksen luonnosteluvaiheessa. Myöhemmissä suunnittelun vaiheissa palomitoitus voi hankaloittaa suunnittelua merkittävästi ja aiheuttaa lisäkustannuksia, esim. materiaali- vaihtosten ja suunnittelun myöhästymisen vuoksi. Jo luonnosteluvaiheessa ainakin poistumisteiden ja palo-osastointien olisi hyvä olla jo selvillä. Paloteknisen suunnittelun voi hoitaa vain henkilö, jolla katsotaan olevan siihen pätevyys. Tehdyistä suunnitelmista laaditaan myös selvitys kirjallisesti paloturvallisuusdokumentaationa. Tässä dokumentissa tulee esittää seuraavat asiat:

- *Rakennuksen käyttötarkoitus*
- *Rakennuksen käyttäjät*
- *Palon kehittymistodennäköisyys*
- *Passiivinen palosuojaus (rakenteet)*
- *Aktiivinen palosuojaus (hälyttimet, sprinklaus)*
- *Rakennuksessa olevien ihmisten saatavilla olevat sammutusvälineet*
- *Poistumisstrategia*
- *Palokunnan resurssit ja rakennuksen saavutettavuus.*

(Puuinfo 2005)

5.2 Standardin kansallinen liite

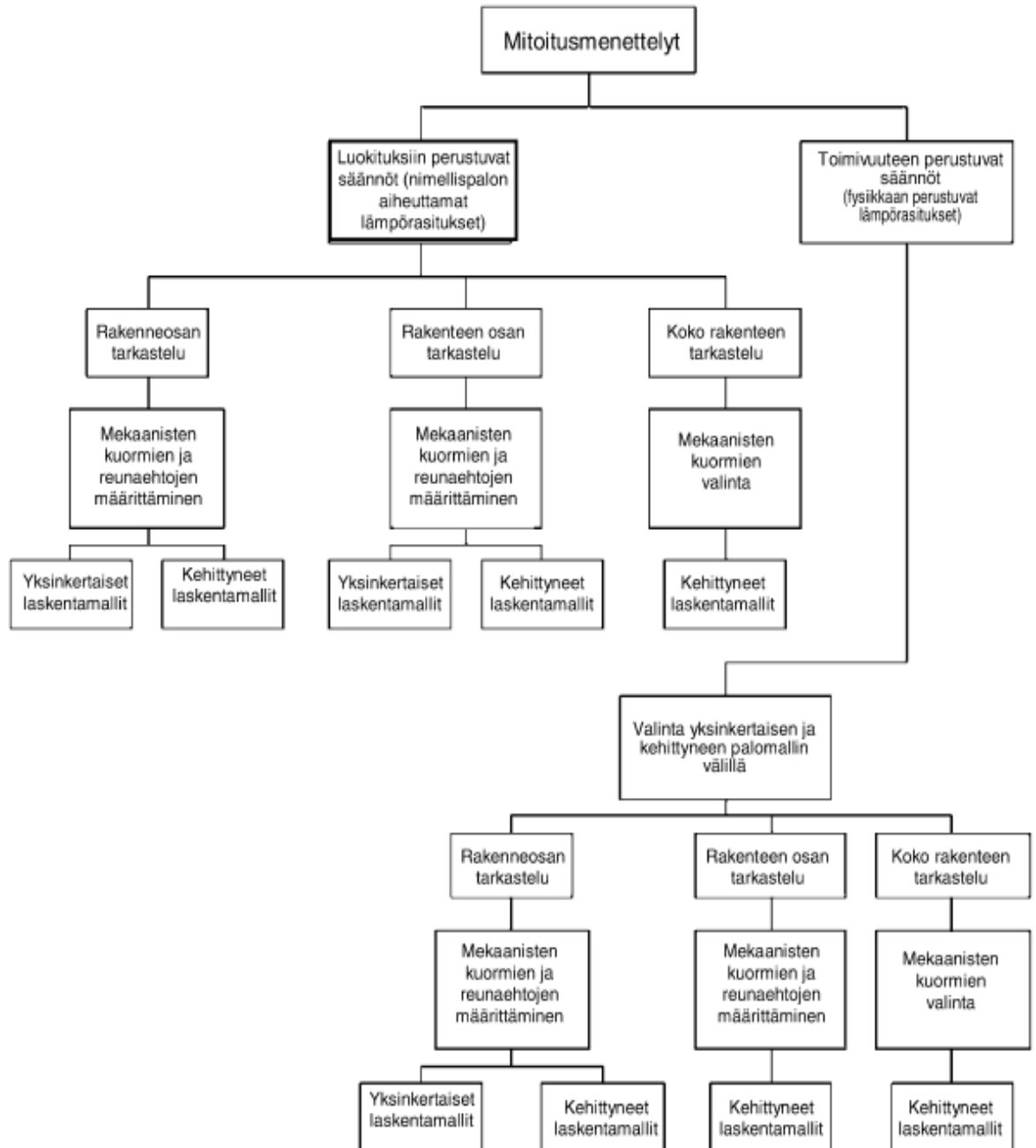
Tietyissä kohdissa standardia sovelletaan tai voidaan soveltaa jokaisen valtion omaa kansallista liitettä. Kansallinen valinta sallitaan standardin EN 1995-1-2 seuraavissa kohdissa:

- 2.1.3(2) Suurin lämpötilan nousu osastoivuuden kannalta parametrisessa palotilastuksessa
- 2.3(1)P Materiaaliominaisuuksien osavarmuusluku
- 2.3(2)P Materiaaliominaisuuksien osavarmuusluku
- 2.4.2(3) Kuormayhdistelmän yhteydessä käytettävä pienennyskerroin
- 4.2.1(1) Poikkileikkauksominaisuuksien määrittämismenetelmä

(Suomen standardisoimisliitto SFS ry 2004)

5.3 Mitoituksen kulku

Palomitoitusta voidaan tehdä usealla eri tavalla riippuen kohteesta. Mikäli palomitoitus suoritetaan laskennallisesti täydellisessä muodossa, siinä otetaan huomioon rakenteen toiminta korkeissa lämpötiloissa, mahdollinen lämmölle altistuminen eri kohdissa rakennusta ja aktiiviset ja passiiviset palonsuojajärjestelmät. Ohessa on standardista EN 1995-1-2 löytyvä kaavio vaihtoehtoisista mitoitusmenettelyistä.



Kuva 7. Palomitoituksen kulku (Suomen standardisoimisliitto SFS ry 2004)

Kaavio jakaa palomitoituksen käsittelytavat kahteen ryhmään: luokituksiin perustuvaan ja toimivuuteen perustuvaan. Luokituksiin perustuvassa mitoituksessa käytetään ns. nimellispaloa lämpörasitusten selvittämiseen. Nimellispalolla tarkoitetaan kunkin valtion itse määrittelemää tavanomaista paloskenaariota. Mikäli palomitoitusta tehdään toimivuuteen perustuvalla käsittelytavalla, rakenteisiin syntyvät lämpörasitukset selvitetään fysikaalisten ja kemiallisten parametrien perusteella.

5.4 Palomitoituksessa huomioon otettavia asioita

Laskennallisesti palomitoituksen perussääntönä on ehto $E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}$, mikä tarkoittaa sitä, että palotilanteessa vallitsevan voimasuureen mitoitusarvon $E_{d,fi}$ tulee olla isompi kuin vastaavan kestävyuden mitoitusarvo palotilanteessa $R_{d,t,fi}$. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL 2009b)

Koko rakennetta tarkasteltaessa on otettava huomioon seuraavat: palossa kyseeseen tuleva murtumistapa, lämpötilasta riippuvat materiaaliominaisuudet ja rakenneosien jäykkyydet ja välilliset palorasitukset eli lämmön aiheuttamat lämpölaajenemiset ja taipumatilan muutokset. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL 2009b)

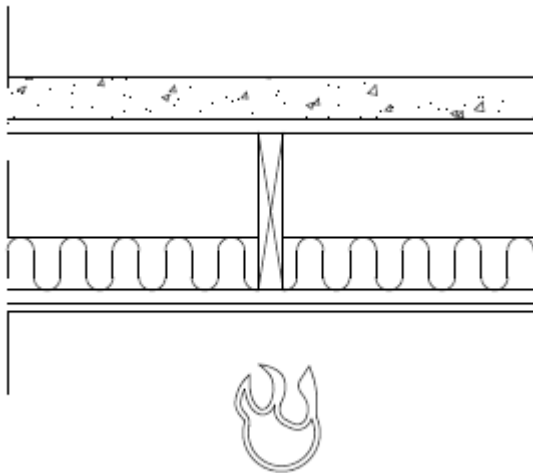
Rakenteen osan/osien tarkastelussa mitoitusta voidaan tehdä standardin EN 1995-1-2 kohdan 2.4.2(1) mukaisesti käyttämällä palon analysointia hetkellä $t=0$, jolloin käytetään yhdistelykertoimia standardin kohdan 4.3.1 mukaisesti. Mikäli mitoitusta ei tehdä näin, vaihtoehtona voidaan käyttää ns. normaalilämpötilatarkastelua, jossa käytetään hyväksi rakenteen tukireaktioita ja rakenteen rajoilla vaikuttavia voimasuureita standardin kohdan 2.4.2 mukaisesti. Huomioon tulee ottaa myös tarkasteltavan osan vaikutusta muihin rakenteen osiin lämpölaajenemisen ja taipumatilan muutoksen perusteella. Lisäksi olennaista on ottaa huomioon kyseisen osan murtumistapa palotilanteessa. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL 2009b)

5.5 Vaihtoehdot palomitoituksessa

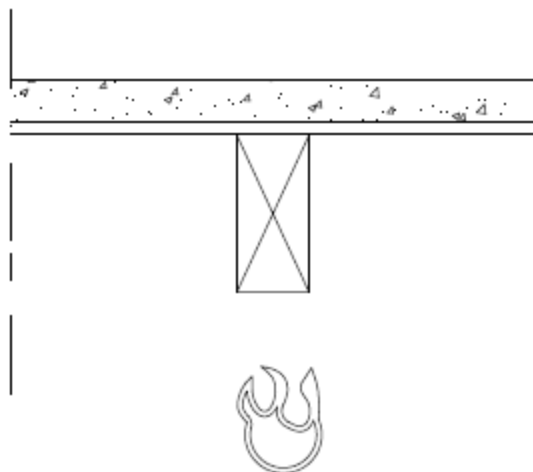
Rakenteet voidaan mitoittaa palomitoituksen kannalta kolmella erilaisella tavalla ja näiden muunnoksilla. Palomitoitus voi olla matemaattisesti haastavaa ja suunnittelussa kannattaa pohtia, suojataanko rakenne palolta, jolloin mitoitus voidaan tehdä ns. ke-

vyemmin. Palomitoitus on myös hyvin yksityiskohtaista ja rakennekohtaista, eli laskentapohjia palomitoitukselle on vaikea tehdä. Edellä mainitut kolme mitoitustapaa ovat

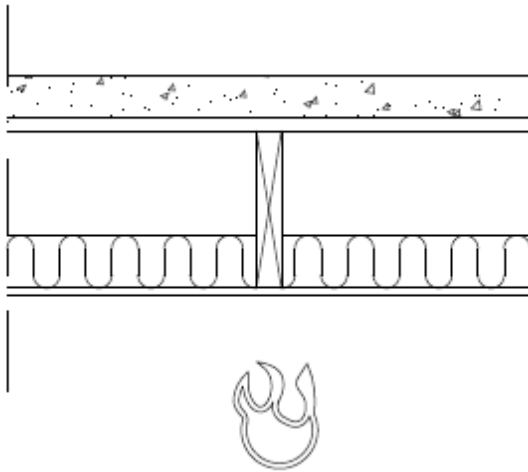
- täysin suojattu
- täysin palomitoitettu
- välimuoto suojauksen ja mitoituksen välillä



Kuva 8. Välipohja täysin suojattu



Kuva 9. Välipohja täysin palomitoitettu



Kuva 10. Välipohja osittain suojattu, osittain mitoitettu

Edellä olevissa kuvissa palomitoituksen vaihtoehtoja on tarkasteltu välipohjassa alapuolista paloa vastaan. Oleellista on siis mitoitaa palkisto kestävänsä paloa. Kuvassa 8 välipohja on täysin suojattu kivivillalla (lasivillaa ei palomitoituksessa tule käyttää, sillä se sulaa varsin alhaisessa lämpötilassa) alapuolelta kohdistuvalle palolle. Rakenteen on siis alhaalta katsoen: palokipsilevy 15 mm, ääniranka 25 mm, kivivilla 100 mm, runko 300 mm (josta kivivillaa 100 mm), levytys 25 mm ja betoni 80 mm. Tällaisen rakenteen voidaan olettaa olevan suojattu riittävän kauan alapuolista paloa vastaan ilman matemaattista näyttöä.

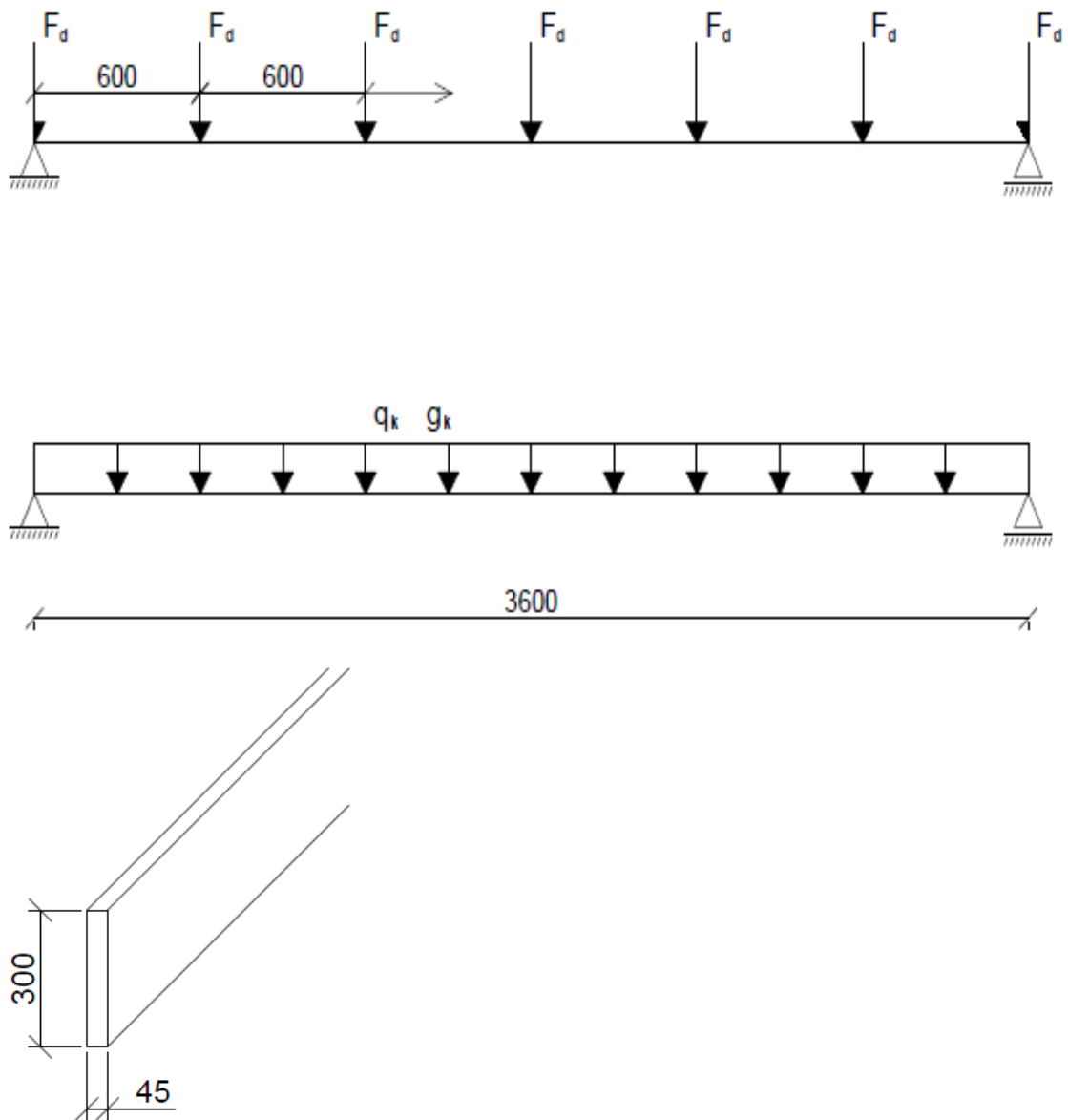
Kuvassa 9 palkisto on mitoitettu siten, että palkki massansa takia kestää paloa riittävän kauan. Palkkia ei siis ole suojattu millään lailla, mutta laskennallisesti on osoitettu, että se kestää tietyn ajan paloa. Oleellista tässä on se, että laskennallisesti tulee ottaa huomioon, että palkki hiiltyy kolmelta sivulta, ja näin ollen palkin tulee olla massiivinen.

Kuvassa 10 on toteutettu välimuoto suojauksen ja mitoituksen välillä. Siinä rakenne on siis muutoin sama kuin kuvassa 8, mutta siinä ei ole äänirankaa vaan pelkkä kipsilevy alapinnassa. Palkisto pääsee siis hiiltymään ainoastaan alapinnasta. Oleellista tässä on huomioida hiiltymisnopeus. Palkin alapinta hiiltyy jonkin verran kipsilevyn ollessa paikallaan, mutta jossain vaiheessa paloa kipsilevy todennäköisesti putoaa, ja tällöin hiiltymisnopeus kiihtyy palkin alapinnassa.

6 ESIMERKKILASKUT

6.1 Yksiaukkoinen palkki

Lasketaan normaali yksiaukkoinen palkki, joka voisi olla esimerkiksi rakennuksen katto- tai välipohjapalkkina. Palkille tulee kuormaa 600 mm:n jaolla olevilta palkeilta, joita kuvaa kuorma F_d . Koska yksiaukkoiselle palkille tulee enemmän kuin kolme samansuuruisia pistekuormaa, ne voidaan laskea jatkuvana kuormana.



Kuva 11. Välipohjapalkin lähtötiedot

6.1.1 Lähtötiedot

Lähtötiedot voi hakea esimerkiksi Lyhennettystä Suunnitteluohjeesta (Kevarinmäki 2008) tai rakentajan kalenterista.

Palkin materiaali ja poikkileikkaus = Kerto-S 45*300

k-jako = 600 mm (laskuissa palkkiväli terminä s)

palkin jänneväli = 3,6 m

palkiston jännevälin keskellä yksi poikittaisjäykistelinja

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

$$k_{\text{def}} = 0,8$$

$$\gamma_m = 1,2$$

$$f_{m,k} = 44 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 2,733 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = 4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,\text{mean}} = 13800 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 11600 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

$$k_h = \left(\frac{300}{h} \right)^S$$

Kuormat (tyypillisiä kuormia välipohjapalkille)

$$g_k = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Voimasuureita

Maksimimomentti välipohjan omasta painosta

$$M_{g,k} = \frac{g_k * L^2 * s}{8} = \frac{0,8 * 3,6^2 * 0,6}{8} = 0,78 \text{ kNm}$$

Maksimimomentti välipohjan hyötykuormasta

$$M_{q,k} = \frac{q_k * L^2 * s}{8} = \frac{2,0 * 3,6^2 * 0,6}{8} = 1,94 \text{ kNm}$$

Maksimileikkausvoima välipohjan omasta painosta

$$V_{g,k} = \frac{L}{2} * s * g_k = \frac{3,6}{2} * 0,6 * 0,8 = 0,86 \text{ kN}$$

Maksimileikkausvoima välipohjan hyötykuormasta

$$V_{q,k} = \frac{L}{2} * s * q_k = \frac{3,6}{2} * 0,6 * 2,0 = 2,16 \text{ kN}$$

Tukireaktio välipohjan omasta painosta

$$R_{g,k} = V_{g,k} = 0,86 \text{ kN}$$

Tukireaktio välipohjan hyötykuormasta

$$R_{q,k} = V_{q,k} = 2,16 \text{ kN}$$

6.1.2 Taivutuskestävyys

(RIL 205-1-2009 6.1.6 s.68)

(SFS EN 1995-1-1 6.1.6 s.35)

Maksimitaivutusmomentti

$$M_d = 1,15 * M_{g,k} + 1,5 * M_{q,k} = 1,15 * 0,78 + 1,5 * 1,94 = 3,81 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{M_d}{b * h^2 * \frac{1}{6}} = \frac{3,81 * 10^6}{45 * 300^2 * \frac{1}{6}} = 5,64 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{44 * 0,8}{1,2} = 29,3 \text{ N/mm}^2$$

ehto: $\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$

Käyttöaste 19%

Mikäli palkin korkeus h olisi yli 300 mm, taivutuslujuutta tarvitsisi pienentää kertoimella k_h .

6.1.3 Taipuma

(RIL 205-1-2009 7.2 s.89)

(SFS EN 1995-1-1 7.2 s.47)

Palkin jäyhyysmomentti

$$I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{45 * 300^3}{12} = 101,25 * 10^6 \text{mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$w_{inst,G} = \frac{5 * s * g_k * L^4}{384 * E_{mean} * I_y} = \frac{5 * 0,6 * 0,8 * 3600^4}{384 * 13800 * 101,25 * 10^6} = 0,93 \text{mm}$$

Hetkellinen taipuma hyötykuormasta

$$w_{inst,Q} = \frac{5 * s * q_k * L^4}{384 * E_{mean} * I_y} = \frac{5 * 0,6 * 2,0 * 3600^4}{384 * 13800 * 101,25 * 10^6} = 1,88 \text{mm}$$

Suurin sallittu hetkellinen taipuma

$$\frac{L}{400} = \frac{3600}{400} = 9 \text{mm}$$

Suurin sallittu kokonaistaipuma

$$\frac{L}{300} = \frac{3600}{300} = 12 \text{mm}$$

Hetkellinen taipuma kokonaisuudessaan

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 2,81 \text{mm}$$

Käyttöaste: 31%

Kokonaistaipuma

$$w_{net,fin} = (1 + k_{def}) * w_{inst,G} + (1 + 0,2 * k_{def}) * w_{inst,Q}$$

$$= (1 + 0,8) * 0,93 + (1 + 0,2 * 0,8) * 1,88 = 3,85 \text{ mm}$$

Käyttöaste: 32%

6.1.4 Kiepahdustarkastelu

(RIL 205-1-2009 6.3.3 s.76)

(SFS EN 1995-1-1 6.3.3 s.39)

$$\text{ehto: } \sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} * f_{m,d}$$

jossa, $\sigma_{m,d}$ = taivutusjännityksen mitoitusarvo

k_{crit} = kerroin, joka huomioi kiepahdusriskistä johtuvan taivutus jännityksen pienennyksen

$f_{m,d}$ = taivutuslujuuden mitoitusarvo

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c * b^2}{h * L_{ef}} * E_{0,05} = \frac{0,58 * 45^2}{300 * 200} * 11\,600 = 56,8 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\ddot{e}_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{44}{56,8}} = 0,88$$

jossa, $c = 0,58$ (Kerto-S)

$E_{0,05} = 11\,600 \text{ N/mm}^2$ (Kerto-S)

L_{ef} = normaalisti palkin tehollinen pituus, mutta tässä tapauksessa se on sama kuin liitinväli, jota on pienennetty kertoimella 2h

(Mikäli laskettava palkki ei ole suorakaide, kriittinen taivutusjännitys lasketaan kaavasta, joka löytyy RIL 205-1-2009:n kohdasta 6.31. Mikäli palkkiin vaikuttaa sekä momentti että puristusvoima, tulee osoittaa, että kohdan 6.35 ehto täyttyy.)

Kerroin k_{crit}

$$k_{crit} = 1, \text{ kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\text{tai } 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m}, \text{ kun } \lambda_{rel,m} < 1,4$$

$$\text{tai } \frac{1}{\lambda_{rel,m}}, \text{ kun } 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 * 0,88 = 0,90$$

$$\rightarrow \text{ehto: } \sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} * f_{m,d}, 1,56 \leq 0,9 * 29,33 \rightarrow \text{OK}$$

Käyttöaste: 6%

6.1.5 Leikkausvoimakestävyys

(RIL 205-1-2009 6.1.7 s.68)

(SFS EN 1995-1-1 6.1.7 s35)

Maksimileikkausvoima

$$V_d = 1,15 * V_{g,k} + 1,5 * V_{q,k} = 1,15 * 0,86 + 1,5 * 2,16 = 4,23 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_d}{b_{ef} * h} = \frac{3}{2} * \frac{4230}{45 * 300} = 0,47 \text{ N/mm}^2$$

(koska kyseessä on kertopuu, niin $b_{ef} = b$)

$$\text{ehto: } \tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow \text{OK}$$

Käyttöaste: 17%

6.1.6 Tukipainekestävyys

(RIL 205-1-2009 6.1.5 s.66)

(SFS EN 1995-1-1 6.1.5 s33)

Tukireaktio

$$A_d = 1,35 * A_{g,k} = 1,35 * 0,86 = 1,16 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b * l} = \frac{1160}{45 * 45} = 0,57 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{6,0 * 0,8}{1,2} = 4 \text{ N/mm}^2$$

ehto: $\sigma_{,90,d} \leq f_{c,90,d} \rightarrow \text{OK}$

Käyttöaste: 14%

Mikäli tukipainekestävyys tulee mitoittavaksi, kapasiteettia on mahdollista korottaa kertoimella $k_{c,\perp}$. Asia on selitetty tarkemmin RIL 205:ssä sivulla 66 kohdassa 6.1.5.

6.1.7 Värähtely

(RIL 205-1-2009 7.3 s.91)

(SFS EN 1995-1-1 7.3 s.48)

Värähtelymitoitus toteutetaan yksinkertaistettuna, joten pitää tarkistaa, että kaksi ehtoa täyttyy. Ehdot ovat seuraavat:

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz}$$

$$k_B * k_S * \delta_L \leq 0,5 \text{ mm}$$

Palkin taivutusjäykkyys

$$EI = E_{mean} * I_y = 13800 * 101250000 = 1,4 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Lattian omapainon ja pitkäaikaisen hyötykuorman yhteinen massa

$$m = \frac{g_k + \ddot{o}_2 * q_k}{9,81} = \frac{800 + 0,3 * 2000}{9,81} = 142,7 \text{ kg/m}^2$$

Lattian ominaistaajuus

$$f_1 = \frac{\pi}{2 * L^2} * \sqrt{\frac{EI}{s * m}} = \frac{\pi}{2 * 3,6^2} * \sqrt{\frac{1,4 * 10^6}{0,6 * 142,7}} = 15,5 \text{ Hz}$$

ehto: $f_1 \geq 9 \text{ Hz} \rightarrow \text{OK}$

Käyttöaste: 58%

$$\text{ehto } k_B * k_S * \delta_L \leq 0,5 \text{ mm}$$

,jossa

k_B =lattian poikittaissuunnan jäykkyyden ja huoneen koon huomioon ottava kerroin

k_S =lattiapalkkien välisestä etäisyydestä riippuva kerroin

δ_L =laskennallinen suurin hetkellinen taipuma, joka tulee 1 kN:n staattisen pistevoiman kuormasta. Kuorman jakautumista muille palkeille ei huomioida ja taivutusjäykkyytenä käytetään termiä $(EI)_L$, joka on taivutusjäykkyys yhtä lattiapalkkia kohden.

$k_B = 0,5$, koska lattiapalkistossa yksi poikittaisjäykistelinja

$$k_S = \sqrt{\frac{s}{0,6}} \geq 0,5, k_S = \sqrt{\frac{0,6}{0,6}} = 1$$

Jotta hetkellinen suurin taipuma voidaan laskea, täytyy laskea palkin taivutusjäykkyys $(EI)_p$, ja koska palkiston päälle liimataan levytys työmaalla, niin tulee palkin taivutusjäykistystä pienentää ja laskea liimauksen muodostaman T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys $(EI)_L$ seuraavasti:

$$(EI)_p = E_{\text{mean}} * I_y = 13800 * 101,25 = 1,4 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Rakenteellisesti liimattu poikkileikkaus

$$(EI)_T = (2,2 - 0,1 * L) * (0,4 + s) * (EI)_p = (2,2 - 0,1 * 3,6) * (0,4 + 0,6) * 1,4 * 10^{12} \\ = 3,1 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Työmaalla liimatun palkin ja levyn muodostama T-poikkileikkaus

$$(EI)_L = 0,5 * [(EI)_p + (EI)_T] = 0,5 * [1,4 * 10^{12} + 3,2 * 10^{12}] = 4,6 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Suurin hetkellinen taipuma 1 kN:n kuormasta

$$\delta_L = \frac{F_k * L^3}{48 * (EI)_L} = \frac{1000 * 3600^3}{48 * 4,6 * 10^{12}} = 0,21 \text{ mm}$$

$$\text{ehto } k_B * k_S * \delta_L \leq 0,5 \text{ mm}$$

$$0,5 * 1 * 0,21 \leq 0,5 \text{ mm}$$

$0,11\text{mm} \leq 0,5\text{mm} \Rightarrow \text{OK}$

Käyttöaste 21%

6.1.8 Yhteenveto

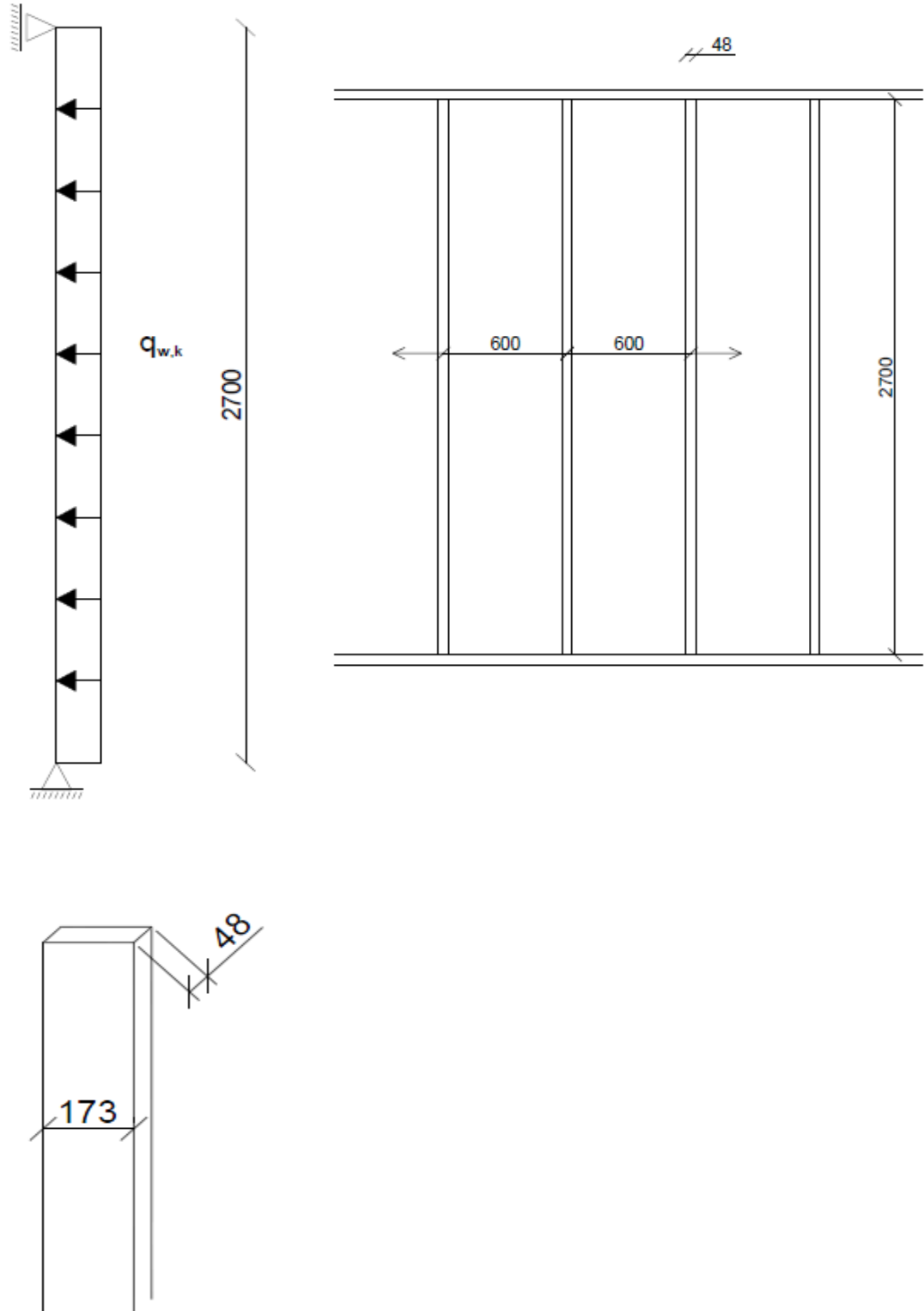
Taulukko 7. Yhteenveto välipohjapalkin mitoituksesta

Tarkastelu	Käyttöaste
Taivutuskestävyys	19 %
Taipuma	31%/32%
Kiepahdus	6 %
Leikkausvoimakestävyys	17 %
Tukipainekestävyys	14 %
Värähtely	58%/21%

Taulukosta huomataan, että mitoitus on onnistunut, vaikkakin palkistolla on hieman enemmän kapasiteettia kuin tarvitsisi. Eli mikäli kohteen budjetti on tiukalla, mitoituksen puolesta palkin koosta ja jaosta voidaan tinkiä hieman. On syytä myös huomioida, että tämä kyseinen esimerkki on koemielessä laskettu k-jaolla 600 mm, kun tavallisesti välipohjan kannatinpalkit lasketaan k-jaolle 400 mm.

6.2 Runkotolppa

Lasketaan kuvien ja lähtötietojen mukainen ulkoseinän runkotolppa yksikerroksisessa pientalossa.



Kuva 12. Runkotolpan lähtötiedot

6.2.1 Lähtötiedot

Sahatavara C24

$$h = 173 \text{ mm}$$

$$b = 48 \text{ mm}$$

$$A = 8304 \text{ mm}^2 \text{ (tolpan poikkileikkausala)}$$

$$L_t = 2,7 \text{ m (tolpan pituus)}$$

$$L_{NR} = 8,0 \text{ m}$$

$$L_r = 0,6 \text{ m (räystä)$$

$$k\text{-jako} = 900 \text{ mm (laskussa pelkkä kirjain k)}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,\text{mean}} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,4$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

Mahdollisia tutkittavia kuormitustapauksia on useita, mutta tässä esimerkissä käytetään vain yhtä => omapaino 100 % + lumi 70 % + tuuli 100 %

$$\Leftrightarrow 1,15G + 0,7*1,5Q_{\text{lumi}} + 1,5Q_{\text{tuuli}}$$

6.2.2 Kuormat

$$g_{k1} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

yläpohja

$$g_{k2} = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

yläpohja (räystään kohdalla)

$$q_{k1} = 2,2 \text{ kN/m}^2$$

lumikuorma (katolla)

$$q_{k(h)} = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

nopeuspaine

Pystykuorma tolalle yläpohjan omasta painosta

$$N_{g,k} = \frac{L_{NR}}{2} * k * g_{k1} = \frac{8,0}{2} * 0,9 * 0,5 = 1,8 \text{ kN}$$

Pystykuorma tolalle lumikuormasta

$$N_{q,k1} = \frac{L_{NR}}{2} * k * q_{k1} + L_r * k * q_{k2} = \frac{8}{2} * 0,9 * 2,2 + 0,6 * 0,9 * 2,2 = 8,0 \text{ kN}$$

Tolpan taivutusmomentti tuulikuormasta

$$M_{w,k} = \frac{(c_{p,net} * q_k(h) * k) * L_t^2}{8} = \frac{(1,4 * 0,45 * 0,6) * 2,7^2}{8} = 0,34 kNm$$

(termin $c_{p,net}$ saa esimerkiksi Lyhennetystä Suunnitteluohjeesta (Kevarinmäki 2008) taulukoista 2,4 ja 2,5)

6.2.3 Nurjahduskestävyys

(RIL 205-1-2009 6.3.2 s.73)

(SFS EN 1995-1-1 6.3.2 s.38)

Maksimi normaalivoima

$$N_d = 1,15 * N_{g,k} + 1,05 * N_{q,k1} + 1,05 * N_{q,k2} \\ = 1,15 * 1,8 + 1,05 * 8,0 = 10,5 kN$$

Nurjahduskerroin $k_{c,y}$

$$L_{c,z} = 1,0 * L_t = 2700 mm$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{173}{\sqrt{12}} = 50$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{2700}{50} = 54$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{54}{\pi} \sqrt{\frac{21}{11600}} = 0,73$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5(1 + 0,1(0,73 - 0,3) + 0,73^2) = 0,79$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{0,79 + \sqrt{0,79^2 - 0,73^2}} \leq 1$$

$$k_{c,y} = 0,92$$

(luvun voi myös katsoa taulukosta, esimerkiksi Lyhennetyn Suunnitteluohjeen (Kevä-
rinmäki 2008) kuva 5.6)

Puristusjännitys

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b * h} = \frac{10500}{48 * 173} = 1,3N / mm^2$$

Puristuslujuus

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 * 1,1}{1,4} = 16,5N / mm^2$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 1,5 * M_{w,k} = 1,5 * 0,34 = 0,51kNm$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2} = \frac{6 * 510000}{48 * 173^2} = 2,1N / mm^2$$

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 * 1,1}{1,4} = 18,8N / mm^2$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{2,1}{18,8} + \frac{1,5}{0,92 * 16,5} \leq 1$$

$$0,21 \leq 1$$

=>OK

Käyttöaste 21%

6.2.4 Leikkaus

(RIL 205-1-2009 6.1.7 s.68)

(SFS EN 1995-1-1 6.1.7 s.35)

Maksimileikkausvoima

$$V_{w,k} = \frac{1,5 * c_{p,net} * q_k(h) * k * L}{2} = \frac{1,5 * 1,4 * 0,45 * 0,6 * 2,7}{2} = 0,77 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

$$\tau = \frac{2}{3} * \frac{V_{w,k}}{b * h} = \frac{2}{3} * \frac{770}{48 * 173} = 0,06 \text{ N / mm}^2$$

ehto: $\tau \leq f_{v,d}$ ->OK

Käyttöaste: 3%

6.2.5 Kiepahdus

(RIL 205-1-2009 6.3.3 s.76)

(SFS EN 1995-1-1 6.3.3 s.39)

Kiepahdustarkastelu tehdään käyttäen apuna taulukkoa 5.5 Lyhennetystä Suunniteluohjeesta (Kevarinmäki 2008) sivulta 27.

Kiepahdusväli = tolpan pituus = 2700 mm

Tehollinen jänneväli

$$L_{ef} = 0,5 * L = 1350 \text{ mm}$$

Tässä tapauksessa kuorma sijaitsee vedetyllä reunalla, joten tehollista jänneväliä voidaan pienentää $0,5 * h$ verran.

$$L_{ef} = L_{ef} - (0,5 * 173) = 1264 \text{ mm}$$

$$\frac{L_{ef}}{b} = \frac{1264}{48} = 26,33$$

$$h = 4b$$

Näillä arvoilla kiepahduskertoimeksi saadaan 1,0, mikä tarkoittaa sitä, että kiepahdusta ei tapahdu.

6.2.6 Alaohjauspuun tukipainekestävyys

(RIL 205-1-2009 6.1.5 s.66)

(SFS EN 1995-1-1 6.1.5 s.33)

Tukireaktio

$$R_d = N_d = 12,2 \text{ kN}$$

Puristusjännitys alaohjauspuussa

$$f_{c,90,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1,1 * \frac{2,5}{1,4} = 1,96 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_d}{b * h} = \frac{12200}{48 * 173} = 1,47 \text{ N / mm}^2$$

Mitoitusehto

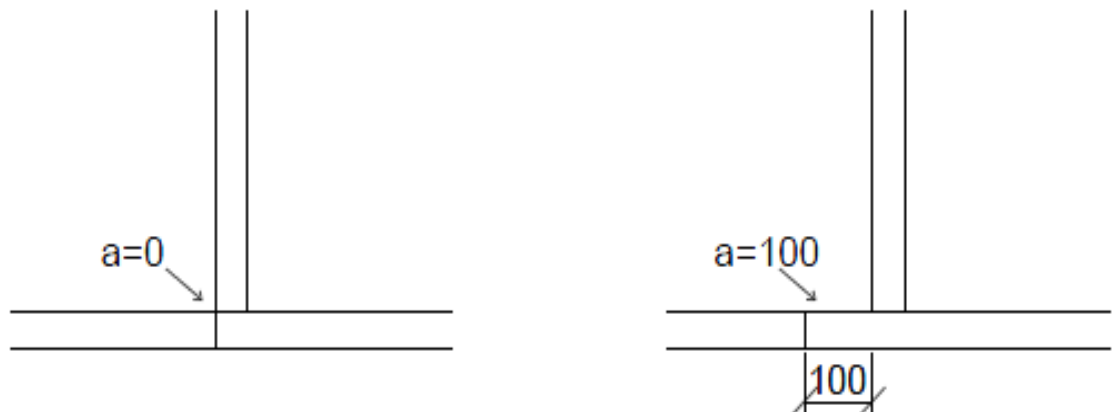
$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d}$$

$$1,47 \leq 1,96$$

=>OK

Käyttöaste: 75%

Usein alaohjauspuun kestävyys tulee mitoittavaksi. Tällöin kestävyyttä voidaan korottaa tukipainekertoimella $k_{c,\perp}$. Asia on selitetty tarkemmin RIL 205:ssä sivulla 66 kohdassa 6.1.5, mutta lähtökohtaisesti alajuoksua ei saisi katkaista liian läheltä runkotolppaa, niin kuin seuraavissa kuvissa on osoitettu. Jos alajuoksu katkeaa liian läheltä, kapasiteetin korottaminen ei onnistu.



Kuva 13. Tukipainekestävyys alaohjauspuussa.

6.2.7 Yhteenveto

Taulukko 8. Yhteenveto välipohjapalkin mitoituksesta

Tarkastelu	Käyttöaste
Nurjahduskestävyys	21 %
Leikkauskestävyys	3 %
Kiepahduskestävyys	OK
Alaohjauspuun tukipainekestävyys	75 %

Yhteenvedosta huomataan, että pilari on melko hyvin valittu kyseisille kuormituksille, sillä siinä on vielä kapasiteettia, mutta ei kovin paljon ylimääräistä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Oma työ ja tulokset

Mielestäni valmis opinnäytetyö vastaa sitä, mitä tilattiin ja mitä sen odotettiin sisältävän. Työ pysyi hyvin aikataulussa eikä kiire päässyt vaikuttamaan negatiivisesti työn sisältöön. Sisällöltään tämä työ on mielestäni keskitasoa, mutta valinnat siitä, mitä työhön tulee sisällyttää ja mitä jättää pois, onnistuivat mielestäni hyvin. Sisältöä voisi olla enemmän, mutta mielestäni tässä tapauksessa sisältöä ei sovi olla liikaa eri osa-alueilta, jotta idea lyhyestä ja ytimekkäästä tietopaketesta säilyy.

Työn tuloksena syntyi lyhyt teoreettinen tietopaketti eurokoodeista yleisesti, palomitoitus teorian ja teoreettisten esimerkkien avulla ja kaksi esimerkkilaskua mitoitukselta eurokoodeilla. Tilaajan puolelta ohjeena tuli, että työn pitäisi kertoa, mistä lisätietoa kuhunkin kohtaan löytyy. Tässä mielestäni onnistuttiin, sillä melkein kaikissa kohdissa tätä työtä on kerrottu laajempi tietolähde, mistä voi hakea kyseisestä asiasta lisätietoa.

Suurempia vaikeuksia tai vastoinkäymisiä työssä ei mielestäni ollut. Suurin osa ajasta meni esimerkkilaskujen suunnitteluun ja tekemiseen. Ne veivät jopa enemmän aikaa, kuin olin suunnitellut niiden vievän.

7.2 Eurokoodien käyttöönotto suunnittelutoimistossa

Suunnittelutoimistojen on syytä varautua muutokseen rakennusmääräyskokoelmilla tehtävästä mitoitukselta eurokoodeilla tehtävään mitoitukseen, sillä työntekijöiltä tulee viemään aikaa sopeutua muutokseen täysin. Jos on mahdollista, jonkinlainen kursoritus työntekijöille eurokoodien osalta olisi hyvä idea, vaikka suunnittelijalla olisikin paljon kokemusta rakennusmääräyskokoelmalla tehtävästä mitoitukselta. Pääasiassa suunnittelutyö tulee pysymään samanlaisena, sillä muutokset tapahtuvat monella mitoituksen osa-alueella hyvin pienissä asioissa. Esimerkiksi johonkin tuttuun kaavaan tulee uusia termejä tai raja-arvot muuttuvat suuntaan tai toiseen. Mutta juuri näihin pieniin yksityiskohtiin tottuminen ja niiden muistaminen voi viedä suunnittelijalta jonkun verran aikaa.

Rakenteiden mitoitusta tehdään myös hyvin paljon tietokoneella, ja tällä hetkellä on jo olemassa mitoitushjelmia, jotka kykenevät eurokoodipohjaiseen mitoitukseen. Tällaisten ohjelmien käytön opettelu on myös tärkeää suunnittelutoimistossa työskenteleville. Eurokoodipohjaista mitoitusta voi tällä hetkellä tehdä vaikkapa Staad Pro, tai Jigi nimisillä ohjelmilla. Staad Pro on hyvin kattava mitoitushjelma, ja sillä voi mitoitaa paitsi yksittäisiä rakenneosia, myös rakennekokonaisuuksia, kuten vaikkapa talon rungon kokonaisuudessaan. Jigi ei kykene yhtä kattavaan mitoitukseen kuin Staad Pro, mutta se on huomattavasti helpompi käyttää ja se esittää selkeästi laskut, joilla tulokset on saatu. Lisätietoja ohjelmista saa niiden kotisivuilta, jotka ovat Staad Prolla www.bentley.com ja Jigillä www.jigi-soft.fi.

LÄHTEET

EC-Sovelluslaskelmat – Asuinrakennus 2010. Puuinfo

<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/eurokoodit/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus>

[viitattu 4.1.2012]

Eurokoodien tilanne nyt – saatavissa:

<http://www.eurocodes.fi/Eurokoodien%20tilanne%20nyt/Contentstilanne.htm> [viitattu

12.10.2011]

Kurkela, J. 1996. Step 1 : puurakenteet : suunnitteluperusteet, materiaaliominaisuudet, rakenneosat, liitokset . Helsinki : Rakennustieto

Kevarinmäki, A. 2008. Puurakenteiden suunnittelu, lyhennetty suunnitteluohje. Puuinfo

Puuinfo 2005. Paloturvallinen puutalo. Vammala . Wood Focus Oy

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL 2008 RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat : eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki : RIL

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL 2009a RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje : eurokoodi EN 1995-1-1.Helsinki : RIL

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL 2009b RIL 205-2-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje : eurokoodi EN 1995-1-2 Helsinki : RIL

Suomen standardisoimisliitto SFS ry 2008 SFS-EN 1995-1-1+A1+AC

Suomen standarisoimisliitto SFS ry 2004 SFS-EN 1995-1-2+AC