

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka
Aleksi Jeremin

Opinnäytetyö

Puurakenteiden vertailulaskennat

Eurokoodi 5 ja venäläisen rakennusnormiston mukaisesti

Työnohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 5/2009

DI Raimo Koreasalo
KPM-Engineering, valvojana DI Heikki Löytty

Tekijä	Jeremin, Aleksei
Työn nimi	Puurakenteiden vertailulaskennat Eurokoodi 5 ja venäläisen rakennusnormiston mukaisesti
Sivumäärä	46 sivua
Työn ohjaaja	DI Raimo Koreasalo
Työn teettäjä	KPM-Engineering Oy, valvojana DI Heikki Löytty
Valmistumisaika	Huhtikuu 5/2009

TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena on perehtyä venäläisiin standardijärjestelmiin sekä luoda suuntaa antavat laskentatiedot suunnittelijoille. Koska tekijä hallitsee molemmat kielet, yritetään tämän työn avulla luoda mahdollisimman selkeät laskentaohjeet. Laskupohjina on käytetty uutta Eurokoodi 5:ta ja venäläisiä rakennusstandardeja ja suunnitteluohjeita.

Tässä työssä perehdytään puurakenteita ja kuormia käsiteltäviin normeihin. Työn painopiste on pääasiallisesti venäläisissä standardeissa. Yleisimmät ovat venäläinen standarttijärjestelmä GOST (ГОСТ) sekä rakennusnormien ja suunnitteluohjeiden kokoelma SNiP (СНиП). Eurokoodin mukaisissa laskuissa käytetään yleensä RIL 205-1-2007 B-liitteen lyhennettyä versiota. Osa taulukoista on otettu normeista, käännetty suomeksi ja muokattu luettavuuden helpottamiseksi.

Työssä on käytetty ja tutkittu alkuperäisiä venäjänkielisiä asiakirjoja, mutta joidenkin asioiden tulkitseminen, ymmärtäminen sekä opetusmateriaalin saatavuus voivat aiheuttaa epävarmuutta.

TAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Construction engineering

Building construction

Writer Alexey Eremin

Thesis A Comparison calculation of Wood construction between Eurocod 5 and Russian methods of design.

Pages 46 pages

Thesis supervisor M.Sc. Raimo Koreasalo

Co-operating Company KPM-Engineering Ltd, Supervisor M.Sc. Heikki Löytty

April 2009

ABSTRACT

The exporting of own products abroad is very important earning method for companies. In structural design exporting designers are facing a difficulty in the difference of directions. The main target of my work is creating simple and clear guide for calculations between Russian method of design and Eurocode 5.

In my work I compare just a small area of wood construction calculations. This engineering thesis concentrates on the Russians method of design and the methods are represented in more details.

Theses include calculation of beams, columns, wood joints and compression durability.

This work has been made using and investigating original Russian documents. Because of the challenge of interpretation and availability difficulties of direction material, some results may be open to interpretations. Calculations in Finnish design were easier to create than Russian calculations, because of the lesser experience calculating with Russian instruction.

Keywords structural engineering, wood construction, Russia

Alkusanat

Olin kesällä 2008 harjoittelussa KPM-Engineering Oy:ssa, jossa toimin puuosastolla avustavana rakennesuunnittelijana. Yrityksellä on aktiivista ulkomaantoimintaa, ja viennin osuus kokonaisliikevaihdosta onkin n. 30 %. Yksi suurimmista viennin kohdemaista on Venäjä.

KPM-Engineering Oy:llä on hyvät edellytykset toimia Venäjän markkinoilla. Yrityksellä on vahvaa osaamista puurakenteiden rakennesuunnittelusta ja kokemusta suurista puurakennehankkeista. Tiivis yhteistyö Venäjän markkinoilla menestyneiden suomalaisten talotehtaiden kanssa tarjoaa yritykselle suunnittelua Venäjän puolella. Rakennusten vaatimustason noustessa Venäjällä, kasvaa myös rakennusviranomaisten määrä. Tämän myötä rakentajayrityksiltä vaaditaan yhä yksityiskohtaisempia asiakirjoja, jotka koskevat rakennuksen rakenteellista toimintaa.

Kiitän KPM-Engineering Oy:tä lopputyön toimeksiannosta sekä mielenkiintoisesta aiheesta.

Tampereella toukokuussa 2009

Aleksei Jeremin

Sisällysluettelo

1	Johdanto	8
2	Yleistä statiikasta	9
3	Kuormitukset ja varmuuskertoimet.....	10
3.1	Varmuuskertoimet Eurokoodi 5 mukaan	10
3.2	Varmuuskertoimet venäläisen standardin mukaan.....	11
3.3	Vertailulaskenta.....	17
4	Palkki	18
4.1	Palkki Eurokoodi 5 mukaan	18
4.2	Palkki venäläisen standardin mukaan	22
4.3	Vertailulaskenta.....	24
4.3.1	Esimerkki Eurokoodi 5 mukaan.....	25
4.3.2	Esimerkki Venäläisen standardin mukaan	26
4.3.3	Kommentti	26
5	Pilarit ja pylvääät	27
5.1	Pilari eurokoodi 5 mukaan	27
5.2	Pilari venäläisen standardin mukaan.....	30
5.3	Vertailulaskenta.....	32
5.3.1	Esimerkki Eurokoodi 5:n mukaan.....	33
5.3.2	Esimerkki venäläisen standardin mukaan	34
5.3.3	Kommentti	34
6	Leimapaineet.....	35
6.1	Tukipinnan pinta-ala Eurokoodi 5:n mukaan.....	35
6.2	Tukipinnan pinta-ala Venäläisen standardin mukaan	37
6.3	Vertailulaskenta.....	38
6.3.1	Esimerkki Eurokoodi 5:n mukaan.....	38
6.3.2	Esimerkki Venäläisen standardin mukaan	39
6.3.3	Kommentti	39
7	Liitokset	40
7.1	Liitokset Eurokoodi 5:n mukaan.....	40
7.2	Liitokset venäläisen standardin mukaan	42
7.3	Vertailulaskenta.....	43
7.3.1	Esimerkki Eurokoodi 5:n mukaan.....	44
7.3.2	Esimerkki venäläisen standardin mukaan	45
7.3.3	Kommentti	45
8	Yhteenveto	46
9	Lähteet.....	47

Symboliluettelo

Oheisiin taulukkoihin on lueteltu sekä venäläiset että suomalaiset symbolit selityksineen. Taulukon avulla rakennesuunnittelijalle selviää, mistä laskusta on kyse, ja hän pystyy helposti vertailemaan laskentoja keskenään. Symboliluettelo on taulukoitu ja jaettu kolmeen sarakkeeseen. Ensimmäisessä sarakkeessa ovat venäläisen standardin mukaiset symbolit, toisessa eurokoodin mukaiset ja kolmannessa niiden selitykset. Jotkut symboleista esitetään tarkemmin laskukaavoissa tämän työn myöhemmässä vaiheessa.

Taulukko 1 Kuormitukset

SNiP	Eurokoodi 5	Selitys
M	M	Taivutusmomentti
N	N	Normaalivoima
Q	V	Leikkausvoima

Taulukko 2 Materiaalien ominaisuudet

SNiP	Eurokoodi 5	Selitys
R_H	$f_{m,d}$	Taivutuslujuus murtorajatilassa
R_C	$f_{c,0,d}$	Puristuslujuus murtorajatilassa
R_p	$f_{t,0,d}$	Vetolujuus murtorajatilassa
R_{cm}	-	Puristuskestävyys
R_{ck}	$f_{v,0,d}$	Saumaleikkauslujuus murtorajatilassa
R_{c90}	$f_{c,90,d}$	Kohtisuora puristuslujuus murtorajatilassa
R_{p90}	$f_{t,90,d}$	Vetolujuus murtorajatilassa
E	E	Kimmomoduuli
E^I	$E_{0,05}$	Kimmomoduuli murtorajatilassa
T	$R_{d,f}$	Liitoksen leikkauskestävyyden laskenta-arvo yhtä leikettä kohden

Taulukko 3 Profilin ominaisuudet

SNiP	Eurokoodi 5	Selitys
F	A	Ala
F_{HT}	A_{net}	Elementin nettoala
$F_{\acute{o}p}$	A_{br}	Elementin bruttoala
F_{cm}	A_{ip}	Tukipinnan ala
b	b	Elementin leveys
d	d	Halkaisija
h	h	Elementin korkeus
I	I	Hitausmomentti
l	l	Elementin pituus, jänneväli
l_0	l_c	Nurjahduspituus, elementin laskentapituus
S	S	Staattinen momentti neutraaliakselin suhteen
W	W	Taivutusvastus

Taulukko 4 Muut merkinnät

SNiP	Eurokoodi 5	Selitys
φ	φ	Taivutuskerroin
λ	λ	Hoikkuusluku
f	$w_{net,fin}$	Taipuma

1 Johdanto

Rakentaminen ja rakennukset muodostavat suurimman osan Suomen kansantaloudesta. Oman osaamisen ja tuotteiden vienti ulkomaille on jatkuvasti kasvussa oleva osa yritysten toiminnasta. Euroopan alueella normien yhtenäistäminen on helpottanut rakennesuunnittelun vientiä huomattavasti, mutta Venäjän normistot poikkeavat jossain määrin eurooppalaisista. Ongelmaan törmätään usein ei pelkästään rakennusalan viennissä, vaan muillakin aloilla. Sen takia paikallisten standardien ja normien tunteminen on tärkeää.

Rakennesuunnittelun vienti vaatii sääntöjen mukaista rakennelaskentaa eikä se koske ainoastaan Venäjän alueelle tapahtuvaa vientiä. Eurokoodi on yhteinen kaikille Euroopan maille, mutta eri maiden olosuhteet ja ympäristövaikutukset on kuitenkin aina otettava huomioon. Ne on esitetty joka maan omassa kansanliitteessä. Viranomaiset ovat tarkkoja normien noudattamisesta, ja asiakirjojen ulkoasun on oltava standardien mukainen puhumattakaan itse laskelmista.

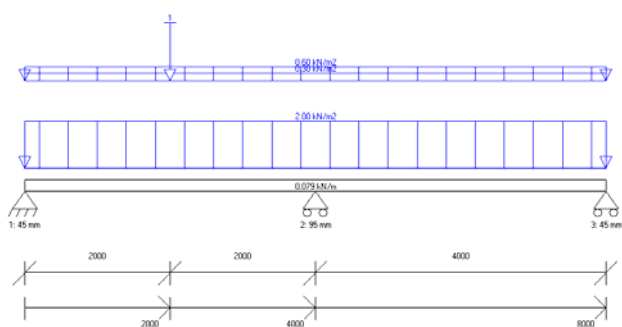
Opinnäytetyön aihe on sen verran haasteellinen ja laaja, että siinä keskityttiin tutkimaan vain yleistä puurakenteiden suunnittelualueetta. Laskuissa pyritään käyttämään suomalaisia puumateriaalien lujuuksia, mikä antaa objektiivisen näkökulman laskuissa. Laskentaohjeissa venäläisten standardien mukaan on käytetty kaavoja SNiP II-25-80:sta, SNiP 2.01.07-85:sta ja STO 36554501-002-2006:sta.

Puumateriaalien lujuuksien määrittämistä on Venäjällä tutkittu vain vähän, joten jotkut standardit ja normit ovat pysyneet melkein muuttumattomina vuodesta 1986 asti.

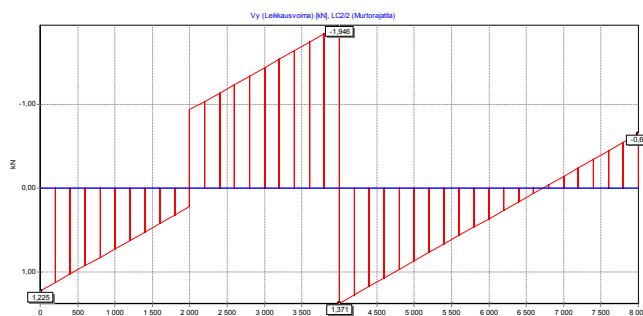
Puujalostuksen kehittyminen, materiaalin eri lujittamistavat ja kyllästyttäminen kemiallisilla seoksilla ovat antaneet puumateriaaleille parempia lujuusarvoja. Tosin kaikki puunjalostustehtaat eivät pysty toteuttamaan samanlaisia tasalaatuisia puumateriaaleja. Puumateriaalille voidaan antaa koreammat lujuusarvot siinä tapauksessa, että materiaalin valmistaja pystyy osoittamaan viranomaisille suorittaneensa standardien mukaiset murtokokeet ja niiden tulokset.

2 Yleistä statiikasta

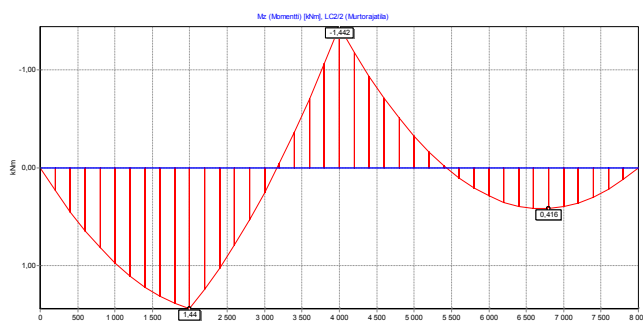
Rakennelaskujen statiikassa ei ole eroja Suomen ja Venäjän standardien välillä. Momenttikaavat, normaalivoimat ja leikkausvoimat pätevät ja vaikuttavat samalla tavalla rakenteisiin. Leikkausvoiman symboli on erilainen, mikä on mahdollisesti huomioitava laskuissa. Kaava- ja laskuesimerkeissä ei ole huomioitu sivulta vaikuttavia voimia, jotka aiheuttavat lisää rasiutusta. Voimakuvioiden piirtäminen toteutuu samalla tavalla. Kuvioissa 2 ja 3 on esitetty voimakuviot kaksiaukkoiselle palkille hyötykuormalla, omapainolla ja yhdellä pistekuormalla.



Kuvio 1: Rakennemalli



Kuvio 2: Leikkausvoiman kuvio



Kuvio 3: Momenttivoiman kuvio

3 Kuormitukset ja varmuuskertoimet

Tässä luvussa käsitellään varmuuskertoimia ja selvitetään yleisimmät kertoimet ja määritelmät rasiituskuormituksille SNIIP 2.01.07-85:n avulla. Venäläisessä standardissa kertoimet ovat usein rakennekohtaisia ja ne on esitetty laskuissa taulukoina. Epäkeskisyyksiä ja sivusta vaikuttavia rasituksia ei ole otettu esimerkeissä huomioon.

3.1 Varmuuskertoimet Eurokoodi 5 mukaan

Eurokoodissa kuormat jakautuvat pysyviin, pitkäaikaisiin ja hetkellisiin. Yleisempinä kertoimina pysyville kuormille, esimerkiksi sellaiselle kuin rakenteen oma paino, käytetään varmuuskerrointa 1,15 ja väliaikaisille kuormille kerroin on 1,5.

Rakennuskestävyyttä tarkistetaan erilaisilla kuormitusyhdistelmillä. Kuormitustapauksissa otetaan huomioon kuormituksen aikaluokat.

Pysyvä aikaluokka:

$$P_d = k \cdot 1,35 \cdot G_{kj} \quad (1)$$

Keskipitkä aikaluokka:

$$P_d = k \cdot (1,15 \cdot G_{kj} + 1,5 \cdot Q_{k,1} + 1,05 Q_{k,2}) \quad (2)$$

Hetkelliset aikaluokat:

$$P_d = k \cdot \begin{cases} 1,15 G_{kj} + 1,5 Q_{k,t} + 1,05 Q_{k,1} + 1,05 Q_{k,2} \\ 1,15 G_{kj} + 1,5 Q_{k,1} + 1,05 Q_{k,2} + 0,9 Q_{k,t} \end{cases} \quad (3)$$

Jossa:

k	rakenteiden jako keskeltä keskelle
G _{kj}	pysyvien kuormien ominaisarvo
Q _{k,1}	lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista suurempi
Q _{k,2}	lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista pienempi
Q _{k,t}	tuulikuorman ominaisarvo

3.2 Varmuuskertoimet venäläisen standardin mukaan

Venäläisissä standardeissa kuormitukset jakautuvat kahteen pääryhmään, joista ensimmäinen sisältää vakituiset kuormat (rakenteiden omapaino, esijännitykset ja maapaineet) ja toinen väliaikaiset kuormat. Väliaikaiset kuormat jakautuvat edelleen kolmeen alaryhmään eli pitkäaikaisiin (laitteiden paino, palkkinosturit), lyhytaikaisiin (ihmiskuormat, lumikuormat, tuulikuormat) ja erikoisiin (maanjärjestyskuormat, tapaturmat ja törmäykset, epätasaiset maaperän painumat).

Tässä luvussa käytettiin kaavoja, jotka on esitetty venäläisessä normistoissa SNiP 2.01.07-85:ssä ja SNiP 2-25-80:ssä.

Kuormien yhdistäminen

Varmuuskertoimet vaihtelevat rakennusmateriaaleista, rakennuksen tarkoituksesta ja painojen suhteesta riippuen. Jos lähdetään tutkimaan kattorakenteita tavanomaisessa pientalossa, huomataan, että kuormat ja varmuuskertoimet ovat taulukoitu laskutyön helpottamiseksi, koska eri materiaaleilla on erilaiset varmuuskertoimet. Niin puisilla rakenneosilla kuin lämmöneristemateriaaleillakin omapainovarmuuskerroin (γ_f) on 1,1, höyrysululla ja bitumikermillä on 1,3. Osa materiaalien varmuuskertoimista on esitetty taulukossa 5.

Tavallisessa kuormitusyhdistelmä tapauksessa kuormat on kerrottava kertoimella ψ , joka on pitkäaikaisille kuormille 0,95 ja hetkellisille 0,9.

Taulukko 5: Materiaalien varmuuskertoimet (SNiP 2.01.07-85 Taulukko 1)

Rakennemateriaali	γ_f
Teräs	1,05
Betoni (tiheys suurempi 1600 kg/m ³), teräsbetoni, tiili, puu	1,1
Betoni (tiheys pienempi 1600 kg/m ³), eristeet, laasti	
Toteutettu tehtaalla:	1,2
Toteutettu työmaalla:	1,3

Lumikuorman varmuuskerroin tapauksessa, jossa rakenteen omapainon suhde lumen painoon on suurempi kuin 0,8, varmuuskerroin γ_f lumikuormalle on 1,4. Jos taas painesuhteet ovat pienemmät kuin 0,8 - γ_f kerroin on 1,6. Tarkempi esittely alla olevissa kaavoissa 4 ja 5.

$$\frac{g_n}{S_o} \geq 0,8 \Rightarrow \gamma_f = 1,4 \quad (4)$$

$$\frac{g_n}{S_o} \leq 0,8 \Rightarrow \gamma_f = 1,6 \quad (5)$$

Jossa:

g_n rakenteiden omapaino käyttörajatilassa

S_o lumen ominaispaino (Taulukko 6)

Taulukko 6: Lumikuorman ominaisarvot Venäjän alueella (SNiP 2.01.07-85 Taulukko 4)

Lumialueet	I	II	III	IV	V	VI
maanpinnan lumikuorman ominaisarvot kPa	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5

Hyötykuormille sekä kaide- ja porraskuormille yleinen varmuuskerroin γ_f on 1,2, hyötykuormat on tarkemmin esitetty taulukossa 7. Muille tasaisesti jaetulle kuormille varmuuskerroin määräytyy yhtälöiden 6 ja 7 mukaan.

$$g \leq 2kPa \Rightarrow \gamma_f = 1,3 \quad (6)$$

$$g \geq 2kPa \Rightarrow \gamma_f = 1,2 \quad (7)$$

Jossa:

g Kuorman paino

Taulukko 7: Hyötykuormat (SNiP 2.01.07-85 Taulukko 3). Taulukossa on esitetty vain osa ominaisarvoista.

Rakennukset ja tilat	Ominaisarvo kPa	
	kokonaisarvo	pienettyarvo
Asuinhuoneet, päiväkodit, koulut ja oppilaitokset, hotellihuoneet, terassit, sairaalan tilat	1,5	0,3
2. Tekniset tilat, sosiaalityilat, opetustilat.	2,0	0,7 (70)
3. Keittiöt, kellarit, tietotekniikka tilat, laboratorio tilat.		
4. Salit	Vähintään	Vähintään
a) Lukusalit	2,0	1,0
b) Ruokailusalit (kahvilat, ruokalat)	2,0	0,7
c) Kokoonmistilat	3,0	1,0
d) Myymälät, messusalit	4,0	1,4
5. Kirjastot	Vähintään	Vähintään
	4,0	1,4
6. Näyttämöt	Vähintään	Vähintään
	5,0 (500)	5,0 (500)
7. Urheilukatsomot	Vähintään	Vähintään
a) Istumapaikat	5,0	1,8
b) Seisomapaikat	4,0	1,4
8. Ullakkotilat	5,0	1,8
9. Päällysteet alueilla:	0,7	-
a) joilla mahdollisesti kokoontuu ihmisiä (poistuessaan tuotantotiloista, saleista, auditorioista jne.)		
b) joilla on virkistystoimintaa	4,0 (400)	1,4 (140)

c) muut	1,5 (150)	0,5 (50)
10. Parveke	0,5 (50)	-
a) Kuormitusleveys 0,8 m kaiteen vieressä	4,0 (400)	1,4 (140)
b) Koko parvekkeen pinta-alalle tasaisesti jaettu kuorma, jos vaarallisempi kuin kohdassa 10a on määritelty		
11. Huoltotilat, korjaamotilat teollisissa rakennuksissa	2,0 (200)	0,7 (70)
12. Eteisaulat, tuulikaapit, porrashuoneet (mukaan lukien niihin liittyvät käytävät), jotka liittyvät seuraavissa kohdissa esitettyihin tiloihin:	Vähintään	-
	1,5 (150)	
a) 1, 2 ja 3		
b) 4, 5, 6 ja 11	3,0 (300)	1,0 (100)
c) 7	4,0 (400)	1,4 (140)
13. Rautatien laiturit	5,0 (500)	1,8 (180)

Kantavan peruspilarin, palkin tai laatan laskuissa voidaan pienentää hyötykuormia, jos niihin kohdistuu yhden välipohjan voimat. Hyötykuormat on esitetty yllä olevassa taulukossa 7 ja ne vaihtelevat kuormituksen pinta-alasta.

Pienennyskerroimet ψ kohdissa 1, 2 ja 12a taulukossa 7 voidaan laskea kaavan 8 mukaan, ja kohdissa 4, 11 ja 12 taulukossa 7, kaavan 9 mukaan.

Jos $A > A_1 = 9m^2$

$$\psi_{A1} = 0,4 + \frac{0,6}{\sqrt{A/A_1}} \quad (8)$$

Jos $A > A_2 = 36m^2$

$$\psi_{A2} = 0,5 + \frac{0,5}{\sqrt{A/A_2}} \quad (9)$$

Jossa:

A Kuormituksen pinta-alat

ψ Pienennyskerroin

Jos pilarit, seinät tai perustukset kantavat enemmän kuin yhden välipohjan hyötykuormat, jotka on esitetty taulukossa 7 kohdissa 1,2,12a, pienennyskerroin saadaan kaavasta 10, ja kohdissa 4,11,12 b kaavasta 11.

$$\psi_{n1} = 0,4 + \frac{\psi_{A1} - 0,4}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

$$\psi_{n2} = 0,5 + \frac{\psi_{A2} - 0,5}{\sqrt{n}} \quad (11)$$

Jossa:

n välipohjien lukumäärä

3.3 Vertailulaskenta

Määritetään kuromat Eurokoodi 5:n ja SNiP 2.01.07-85:n mukaan. Kyseessä on omakotitalon kattorakenne. Katon omapainon suhde lumikuormaan on pienempi kuin 0,8, kaava 5.

$$\frac{0,692}{2} = 0,346 \leq 0,8 \Rightarrow \gamma_f = 1,6$$

Taulukko 8: Yläpohjan kuormien vertailut

Rakennekerrokset	omapaino	Eurokoodi 5		SNiP	
			kN/m^2	γ_f	kN/m^2
3 kerroksinen kumibitumi	0,12	1,15	0,138	1,3	0,156
raakapontti laudat	0,106	1,15	0,1219	1,1	0,1166
tuuletus ja korotus rimat	0,026	1,15	0,0299	1,1	0,0286
min.villa	0,06	1,15	0,069	1,1	0,066
Kantavat kattovasat	0,26	1,15	0,299	1,1	0,286
höyrynsulku	0,03	1,15	0,0345	1,3	0,039
verhouslevy	0,09	1,15	0,1035	1,2	0,108
omapaino yhteensä	0,692	1,15	0,7958		0,8002
Lumikuorma	2	1,5	3	1,6	3,2
Ψ				0,95	4,0002
Yhteensä	2,692		3,7958		3,80019

Vertailulaskuissa käy ilmi, että tässä tapauksessa venäläisen standardin mukaisilla varmuuskertoimilla saadaan suurempi laskentakuorma, mikä vaikuttaa kantavien rakenteiden dimensioihin.

4 Palkki

Palkkien tehtävänä on kantaa ylärakenteita, sellaisia kuten välipohjat ja kattorakenteet. Yleisimmät palkkimuodot ovat neliömuotoiset palkit, i-palkit, harjapalkit sekä kiilapalkit. Palkkien materiaalina käytetään höylättyä puuta, liimapuuta sekä kertapuuta. Liimapuiset palkin dimensiot ovat kooltaan noin sadasta millimetristä puoleentoista metriin, ja suunnittelussa on huomioitava materiaalivalmistajan tai toimittajan kapasiteetti.

Rakennesuunnittelussa yleensä pyritään tasaiseen palkkijakoon, jotta rakennus olisi tasapainossa. Tässä esimerkeissä käytetään neliönmuotoista palkkia.

Välipohjajamitoituksessa palkit mitoitetaan samalla tavalla kuin yläpohjapalkit, mutta sen lisäksi on tarkistettava värähtelyt.

4.1 Palkki Eurokoodi 5 mukaan

Eurokoodin mukaisissa laskuissa ensin on laskettava voimasuuret yleisillä kaavoilla. Mitoitettavat voimasuuret ovat esitetty momenttikaavalla 12 sekä leikkaus- ja tukivoimakaavalla 13.

$$M_d = \frac{P_d \cdot L^2}{8} \quad (12)$$

Jossa:

M_d	Momenttivoima
L	Palkin pituus
P_d	Laskentakuorma

$$V_d = R_d = \frac{P_d \cdot l}{2} \quad (13)$$

Jossa:

V_d Leikkausvoima

R_d Tukivoima

Laskentaa varten on selvitettävä materiaalin taivutuslujuuden suunnitteluarvo, joka saadaan kaavasta 14. Taivutuslujuus vaihtelee kahden tekijän seurauksena muunnoskerroimesta ja materiaalin ominaisuuden osavarmuusluvusta. Muunnoskerroin k_{mod} on riippuvainen rakenteenkäyttöluokasta ja kuorman aikaluokasta. Osa materiaaliominaisuuden osavarmuusluvuista on esitetty taulukossa 9 ja muunnoskerroimet taulukossa 10. Materiaalien ominaislujuudet on esitetty taulukossa 11.

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (14)$$

Jossa:

k_{mod} Muunnoskerroin

$f_{m,k}$ Ominaislujuus

γ_M Materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

Taulukko 9: Suomessa käytettävät materiaalien osavarmuusluvut (RIL 205-1-2007, Taulukko 2.7, 2008)

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,4
Havusahatavara, jonka lujuusluokka \geq C35	1,25
Liimapuu, LVL	1,2
Puulevyt	1,25

Taulukko 10: Muunnoskerroimen arvot (RIL 205-1-2007, Taulukko 3,1, 2008)

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
	1	0,60	0,80	1,10
Sahatavara, Pyöreä puu,	2	0,60	0,80	1,10
Liimapuu, LVL, Vaneri	3	0,50	0,65	0,9
Lastulevy EN 312-4, OSB/2, Kova kuitulevy	1	0,30	0,65	1,10
EN 622-2	2	0,20	0,45	0,8

Taulukko 11: Puumateriaalien ominaislujuudet (RIL 205-1-2007, Taulukko 3,3, 2008)

Lujuusluokka	Sahatavara			Sahatavara		
	C18	C24	C30	GL28c	GL32c	
Ominaislujuudet (N/mm ²)						
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	28	32
Veto	$f_{t,0,k}$	11	14	18	16,5	19,5
	$f_{t,90,k}$	0,5	0,5	0,6	0,4	0,45
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	23	24	26,5
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,7	3
Leikkaus	$f_{v,k}$	2	2,5	3	2,7	3,2
Jäykkyysominaisuuudet (N/mm ²)						
Kimmomoduuli	E_{mean}	9000	11000	12000	12600	13700
	$E_{90,\text{mean}}$	300	370	400	390	420
Liukumoduuli	G_{mean}	560	690	750	720	780
Tiheydet (kg/m ³)						
Ominaisstiheys	ρ_k	320	350	380	380	410
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	380	420	460	430	470

Kun kaikki tarvittavat voimat ja materiaalien lujuudet ovat laskettu, lasketaan profiilin taivutusvastus kaavan 15 mukaan.

$$W_{vaad} = \frac{M_d}{f_{m,d}} \quad (15)$$

Jossa:

W_{vaad} Vaadittava taivutusvastus

Ominaiskuormien aiheuttama hetkellinen taipuma lasketaan kaavan 16 mukaan.

Jokaiselle ominaiskuormalle on laskettava hetkellinen taipuma erikseen.

$$w_{inst} = \frac{5}{358} \cdot \frac{Pl^4}{EI} \quad (16)$$

Jossa:

w_{inst} Hetkellinen taipuma

P Ominaiskuorma

E Kimmomoduuli

I Hitausmomentti

Taipumamitoituksen tarkastuksessa käytetään kahta kaavaa 17 ja 18. Suuremmasta saadusta arvosta tulee mitoittava arvo.

$$w_{fin} = (1 + k_{def}) \cdot w_{inst,g} + (1 + 0,2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,lumi} + (0,7 + 0,3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,hyöty} \quad (17)$$

$$w_{fin} = (1 + k_{def}) \cdot w_{inst,g} + (1 + 0,3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,hyöty} + (0,7 + 0,2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,lumi} \quad (18)$$

Leikkauslujuuden suunnittelu-arvo lasketaan samalla periaatteella kuin taivutuslujuudenkin suunnittelu-arvo kaavan 19 mukaisesti. Siinä käytetään osavarmuuskertoimia, jotka on esitetty taulukoissa 9 ja 10 sekä materiaalien ominaisarvoja taulukon 11 mukaan.

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (19)$$

Jossa:

$f_{v,k}$ Ominaislujuus leikkauskestävyydelle taulukon 11 mukaan.

Lopuksi tarkistetaan leikkauskestävyys kaavan 20 mukaan. Leikkausvoiman aiheuttama jännitys on oltava pienempi kuin rakenteen laskentaleikkauskestävyys.

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{A} < f_{v,d} \quad (20)$$

Jossa:

τ_d leikkausjännitys
 V_d Leikkausvoima
 A Poikkileikkauksen pinta-ala

4.2 Palkki venäläisen standardin mukaan

Palkin taivutuskestävyyden tarkastelu toteutetaan lähes samalla tavalla kuin Eurokoodissa. Venäläisissä normistossa taivutuskestävyyden laskemisessa käytetään kaavaa 21, joka on samanlainen kuin Eurokoodissakin.

$$\frac{M}{W_{\text{paci}}} \leq R_u \quad (21)$$

Jossa:

M	Momenttivoima
$W_{расч}$	Taivutusvastus
R_u	Taivutuslujuuden suunnittelu-arvo

Leikkauskestävyyskaavassa 22 huomataan olennaiset erot verrattuna Eurokoodin leikkauslujuudentarkasteluun. SNiP:n mukaisessa laskennassa huomioon on otettu erilaiset materiaalimuodon ominaisuudet.

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{\bar{o}p}}{I_{\bar{o}p} \cdot b_{расч}} < R_{ск} \quad (22)$$

Jossa:

Q	Leikkausvoima
$S_{\bar{o}p}$	Staattinen momentti neutraaliakselin suhteen
$I_{\bar{o}p}$	Jäyhyysmomentti
$b_{расч}$	Elementin leveys
$R_{ск}$	Leikkauslujuuden laskenta-arvo

Viimeisenä tarkistetaan taipuma kaavan 23 mukaan.

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^H l^3}{EJ_{\bar{o}p}} \quad (23)$$

Jossa:

q^H	Laskentakuorma
l	Palkin pituus
E	Kimmomoduuli
$J_{\bar{o}p}$	Hitausmomentti

4.3 Vertailulaskenta

Taulukossa 12 on esitetty palkin perustietoja, joita käytetään laskuesimerkeissä.

Taulukko 12: Palkin tiedot

Välipohjapalkki	
Palkin pituus l	4m
Ominaiskuorma	palkille 0,26 hyötykuormalle 0,8 Yhteensä 1,06 kN
Laskentakuorma P_d	1,5 kN
Käyttöluokka	1
Momenttivoima M	$\frac{1,5 \cdot 4^2}{8} = 3kNm$
Leikkausvoima ja tukireaktio $V_d = R_d$	$\frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 4 = 3kN$
Taivutus lujuus $f_{m,d}$	$\frac{0,80 \cdot 24}{1,4} = 13,71 N/mm^2$
Leikkauslujuus $f_{v,d}$	$\frac{0,80 \cdot 2,5}{1,4} = 1,4 N/mm^2$
Puuprofiilin taivutusvastus W	$\frac{50 \cdot 200^2}{6} = 333 \cdot 10^3 mm^3$
Hitausmomentti I	$\frac{50 \cdot 200^3}{12} = 3333 \cdot 10^4 mm^4$
koko $h \times b$	200mm \times 50mm

4.3.1 Esimerkki Eurokoodi 5 mukaan

Taulukossa 13 on esitetty välipohjapalkin laskentaesimerkki Eurokoodi 5:n mukaan.

Taulukko 13: Laskentaesimerkki Eurokoodi 5 mukaan

Välipohjapalkki	
Taivutusvastus W	$\frac{3 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{333 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 9 \text{ N/mm}^2 < 13,71 \text{ N/mm}^2$
Hetkellinen taipuma palkin painolla $w_{inst,g}$	$\frac{5}{384} \cdot \frac{0,26 \cdot 4000^4}{11000 \cdot 3333 \cdot 10^4} = 2,4 \text{ mm}$
Hetkellinen kuorma hyötykuormalla $w_{inst,q}$	$\frac{5}{384} \cdot \frac{0,8 \cdot 4000^4}{11000 \cdot 3333 \cdot 10^4} = 7,3 \text{ mm}$
Kokonaistaipuma $w_{inst,g+q}$	$2,4 \text{ mm} + 7,3 \text{ mm} = 9,7 \text{ mm}$
Kokonaistaipuma tapaus I w_{fin}	$(1 + 0,6) \cdot 2,4 + (0,7 + 0,3 \cdot 0,6) \cdot 7,3 = 10,3 \text{ mm}$
Kokonaistaipuma tapaus II w_{fin}	$(1 + 0,6) \cdot 2,4 + (1 + 0,3 \cdot 0,6) \cdot 7,3 = 12,45 \text{ mm}$
Taipumaraja $w_{net,fin}$	$\frac{4000 \text{ mm}}{400} = 10 \text{ mm}$
Käyttöaste	124,5 % ei kestä
Leikkausjännitys τ_d	$\frac{1,5 \cdot 3000 \text{ N}}{200 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm}} = 0,45 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d}$
Käyttöaste	31,5 %

4.3.2 Esimerkki Venäläisen standardin mukaan

Taulukossa 14 on esitetty välipohjapalkin laskentaesimerkki venäläisen normiston mukaan.

Taulukko 14: Laskentaesimerkki Venäläisen standardin mukaan

Välipohjapalkki	
Taivutusvastus W_{pac}	$\frac{3 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{333 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 9 \text{ N/mm}^2 < 13,47 \text{ N/mm}^2$
Taipumatarkistelu f	$\frac{5}{384} \cdot \frac{1,06 \cdot 4000^4}{11000 \cdot 3333 \cdot 10^4} = 9,63 \text{ mm}$
Käyttöaste	48 %
Leikkauskestävyys τ	$\frac{3000 \text{ N} \cdot 250 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}{3333 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \cdot 50 \text{ mm}} = 0,45 \text{ N/mm}^2 < 1,4 \text{ N/mm}^2$
Käyttöaste	31,5 %

4.3.3 Kommentti

Palkin laskennassa tarkistaminen toteutuu samalla tavalla sekä venäläisillä että suomalaisilla laskumenetelmillä. Laskennassa tarkistettiin taivutuskestävyys, leikkausvoimien kestävyys sekä taipuma. Venäläisessä standardissa taipuma tarkistetaan yksinkertaisemmin hetkellisen taipuman mukaisesti. Käyttämällä eurooppalaisia puulujuuksia päästiin samoihin kestävyysarvoihin, mutta taipuma ylitti sallitun taipuman rajan Eurokoodi 5:n mukaisessa tarkastelussa melkein 25:lla prosentilla.

5 Pilarit ja pylväät

Pilari on pystysuora tuki, joka kantaa yläpohjasta tai katosta tulevat kuormat.

Yleensä pilarit ovat neliönmuotoisia tai pyöreitä, jälkimmäisiä tosin harvemmin käytetään puurakentamisessa. Pilaria vastaava rakenne on pilasteri, joka on osittain upotettu seinään tai on seinässä kiinni. Tässä kappaleessa käsitellään sisätiloissa käytettäviä pilareita, joihin ei kohdistu sivusta vaikuttavia voimia.

5.1 Pilari Eurokoodi 5:n mukaan

Pilarinlaskussa on selvitettävä kuormituksen pinta-ala ja neliökuorma. Seuraavaksi valitaan pilarin profiilikoko.

Taulukko 15: Palkin teoreettisen pituuden kertoimet puurakenteille.

Teoreettinen pilarin pituus L_c			
jäykkä+ nivel	masto	nivel+ nivel	jäykkä+ jäykkä
0,85L	2,5L	1L	0,7L

Tarkistetaan lujuudet ja jännitykset.

Taivutuslujuuden suunnitteluarvo tarkistetaan samalla tavalla kuin palkeissakin käyttäen kaavaa 14.

Taivutusjännitys huomioidaan siinä tapauksessa, jos pilariin vaikuttaa momenttivoima.

Jännityksen on tarkistettava silloin kaavan 24 mukaan.

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} \quad (24)$$

Jossa:

M_d Momenttivoima

b Poikkileikkauksen leveys

h Poikkileikkauksen korkeus

Materiaalin puristuslujuuden suunnittelu-arvo lasketaan kaavan 25 mukaan. Varmuuskertoimena käytetään arvoja taulukoista 9 ja 10.

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (25)$$

Jossa:

$f_{c,0,k}$ Puristuskestävyyden ominaisarvo taulukossa 11.

Puristusjännitys pilarille tarkistetaan kaavan 26 mukaan. Sitä tarvitaan jälkikäteen taivutuksen tarkastelussa.

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad (26)$$

Jossa:

N_d Puristusvoima

A Poikkileikkauksen pinta-ala

Puristetut hoikat sauvat tarkistetaan nurjahdukselle. Ensimmäisenä tarkistetaan kriittinen jännitys kaavan 27 mukaan.

$$\sigma_{c,crit} = \pi \cdot \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} \quad (27)$$

Jossa:

$E_{0,05}$ Kimmomoduuli murtorajatilassa taulukon 11 mukaan.

λ Hoikkuusluku

Hoikkuusluku määritellään kaavan 28 mukaan.

$$\lambda = \frac{L_c}{i} \quad (28)$$

Jossa:

L_c Sauvan teoreettinen pituus
 i Poikkileikkauksen jäyhyysäde

Pilarin suhteellinen hoikkuus lasketaan kaavan 29 mukaan.

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} \quad (29)$$

Puristuslujuuden pienennyskerroin saadaan kaavasta 30.

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} \quad (30)$$

Nurjahdussuunnasta riippuva kerroin lasketaan kaavan 31 mukaan.

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) \quad (31)$$

Jossa:

β_c Alkukäyryyden kerroin 0,2 sahatavaralle ja 0,1 limapuulle ja LVL:lle

Viimeisenä on tarkistettava taivutus- ja puristusrasituksen yhteisvaikutus, jonka on oltava pienempi kuin 1.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} < 1 \quad (31)$$

5.2 Pilari venäläisen standardin mukaan

Pilarin tarkistelussa ja teoreettisen pituuden määrittämisessä käytetään samaa periaatetta kuin eurokoodeissakin. Pilarin teoreettinen pituus on riippuvainen tuentatavasta, mikä hieman poikkeaa eurokoodin kertoimista. Kertoimet on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16: Teoreettisen pituuden kertoimet

Kerroin μ_0			
jäykkä+ nivel	masto	nivel+ nivel	jäykkä+ jäykkä
0,8	2,2	1	0,65

Tehollinen tai teoreettinen sauvan pituus lasketaan kaavan 32 mukaan.

$$l_0 = l \cdot \mu_0 \quad (32)$$

Jossa:

l Sauvan pituus

μ_0 Sauvan kerroin taulukon 16 mukaan

Sauvan poikkipinta-alan puristuskestävyys on tarkistettava samalla tavalla kuin eurokoodin laskuissa. Tässä tapauksessa kaavassa 33 on esitetty puristuskestävyyden lasku.

$$\frac{N}{F_{HT}} \leq R_c \quad (33)$$

Jossa:

N Puristusvoima

F_{HT} Poikkileikkauksen pinta-ala

Laskettaessa taivutuskestävyys puristuskestävyyden yhteydessä on otettava huomioon sauvan taivutus. Lasku toteutetaan kaavan 34 mukaan.

$$\frac{N}{\varphi \cdot F_{pac}} \leq R_c \quad (34)$$

Jossa:

φ Sauvan taivutuskerroin
 F_{pac} Poikkileikkauksen nettopinta-ala

Rakenteen hoikkuusluku λ määritellään seuraavien kaavojen avulla. Jos hoikkuusluku on pienempi kuin 70, lasketaan kaavan 35 mukaan, jos suurempi, käytetään kaavaa 36. Maksimaaliset hoikkuusluvut rakenteille on esitetty SNiP 2-25-80 taulukossa 14. Ristikoiden puristetuille sauvoille ja pilareille hoikkuusluku on maksimissaan 120, liitosten puristetuille osille se on 200. Rakenteissa, joissa hoikkuusluku on pienempi kuin 30, tarkistetaan ainoastaan puristuskestävyys, jos luku on suurempi kuin 75, tarkistetaan taivutuskestävyys.

$\lambda \leq 70$

$$\varphi = 1 - a \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 \quad (35)$$

$\lambda \geq 70$

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2} \quad (36)$$

Jossa:

A 3000 sahatavaralle ja 2800 vanerille.
 a 0,8 sahatavaralle ja 1 vanerille

Hoikkuusluku puristetuille sauvoille lasketaan kaavan 37 mukaan, samalla tavalla kuin eurokoodissa.

$$\lambda = \frac{l_0}{r} \quad (37)$$

Jossa:

l_0 Sauvan teoreettinen pituus

r Jäyhyyssäde

5.3 Vertailulaskenta

Vertailulaskun esimerkissä tarkistetaan väliseinän pylvästä, jossa sauvan nurjahdus on estetty pienemmän sivun suunnassa. Laskuissa käytetään kappaleessa 6 mainittuja kaavoja.

Taulukko 17: Pilarin yleistiedot

Pilari	
Kiinnitystapa	nivelisesti molemmista päistä
Korkeus	3,2m
Normaalivoima	15 kN
Puutavara	C24
Aikaluokka	Keskipitkä
Käyttöluokka	1
Taivutuslujuus	$\frac{0,80 \cdot 24}{1,4} = 13,71 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus	$\frac{0,80 \cdot 21}{1,4} = 12,00 \text{ N/mm}^2$
koko	100x50

5.3.1 Esimerkki Eurokoodi 5:n mukaan

Taulukossa 18 on esitetty pilarin kestävyuden tarkastelu ja laskentatapa eurokoodin mukaan.

Taulukko 18: Laskentaesimerkki Eurokoodi 5:n mukaan

Laskentakorkeus L_c	$3,2m \cdot 1 = 3,2m$
Puristusjännitys	$\frac{15000N}{100mm \cdot 50mm} = 3 N/mm^2$
Hoikkuus λ	$\frac{3200mm}{0,289 \cdot 100mm} = 110,7$
Kriittinen jännitys $\sigma_{c,crit}$	$\pi^2 \cdot \frac{7400}{110,7^2} = 5,96$
Suhteellinen hoikkuus λ_{rel}	$\sqrt{\frac{21}{5,96}} = 1,9$
k kerroin	$0,5(1 + 0,2 \cdot (1,9 - 0,3) + 1,9^2) = 2,4$
Nurjahduskerroin k_c	$\frac{1}{2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1,9^2}} = 0,25$
Taivutuksen ja puristusrasituksen yhteisvaikutus	$\frac{3}{0,25 \cdot 12} + \frac{0}{13,71} = 0,99 < 1$
	Kestää. Käyttöaste 99 %

5.3.2 Esimerkki venäläisen standardin mukaan

Taulukossa 18 on esitetty pilarin kestävyys tarkastelu ja laskentatapa venäläisen standardin mukaan.

Taulukko 19: Pilarin laskentaesimerkki venäläisen standardin mukaan

Pilarin hoikkuus l_0	$3,2m \cdot 1 = 3,2m$
Jäyhyys säde r	$0,289 \cdot 100mm = 28,9$
Hoikkuusluku λ	$\frac{3200mm}{28,9mm} = 110,8$
Taivutuskerroin φ	$\frac{3000}{110,8^2} = 0,25$
Puristuskestävyys	$\frac{15000N}{100mm \cdot 50mm} = 3MPa < 12MPa$
Kestävyys	$\frac{15000N}{0,25 \cdot 100mm \cdot 50mm} = 12,3MPa < 13,71MPa$
Käyttöaste	90 %

Yllä olevassa esimerkissä hoikkuusluku on suurempi kuin 75, mutta harjoituksen vuoksi se tarkistettiin myös puristuskestävyydeltään.

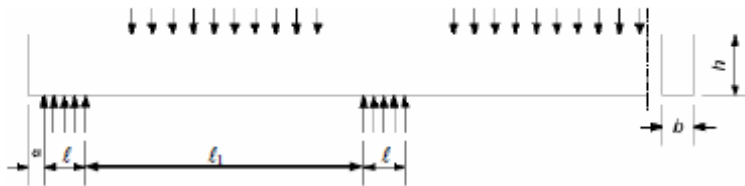
5.3.3 Kommentti

Rakenne saatiin kestävämmän molemmilla laskumenetelmillä. Käyttöasteeksi Eurokoodi 5:n mukaan saatiin 99 % ja venäläisen standardin mukaan 90 %. Rakennesuunnittelussa on kuitenkin muistettava, että rakenteisiin vaikuttavat erilaiset puristusvoimat, jotka johtuvat varmuuskertoimien erotuksesta. Esimerkki osoittaa, että eurokoodin mukainen suunnittelu tuottaa varmemman vaihtoehdon kestävyydelle.

6 Leimapaineet

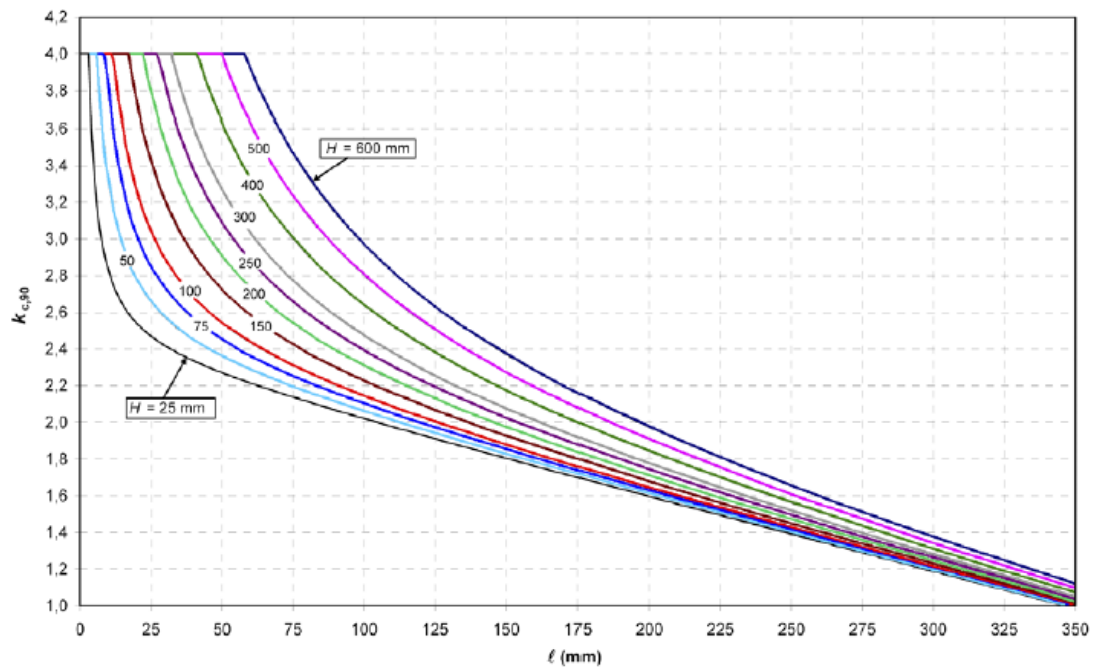
Rakenteen kestävyys lisäksi on tarkistettava pilarin ja palkin leimapaine. Vaikka pilari kestäisi palkilta tulevan kuormituksen, joskus pilarin kokoa on suurennettava, ettei palkki sorru. Toisinaan on järkevämpää laittaa tukipainerautalevy tuen ja palkin väliin, jotta se ottaisi puoleensa rasitukset isommasta palkin alueesta ja välittäisi ne pilarille.

6.1 Tukipinnan pinta-ala Eurokoodi 5:n mukaan



Kuvio 4: Tukipaine (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL 205-1-2007 liite B. 2008)

Korotuskerroin määritellään kuvion 5 mukaan, jossa korotuskertoimen $k_{c,90}$ riippuvuus tukipituudesta l , kun vierekkäisten puristuspintojen välinen etäisyys $l_1 \geq 2h$. Palkin päätytuella $k_{c,90}$ määritetään käyrältä $H = \min(2h; 2,5b)$. Jos puristuspinnan etäisyys palkin päästä $a \geq h$, korotuskerroin saadaan käyrältä $H = \min(2h; 5b)$, kun h on palkin korkeus ja b on palkin leveys. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL 205-1-2007, Hansaprint Oy, 2008)



Kuvio 5: Korotuskerroin $k_{c,90}$

Mitoitusehto tukipaineen määrittämiseen on esitetty kaavassa 39. Vaikuttavan puristusjännityksen $\sigma_{c,90,d}$ on oltava pienempi kuin tukipituudesta riippuva korotuskerroin ja puunmateriaalin poikittaisen puristuslujuuden kertalasku.

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (39)$$

Jossa:

$k_{c,90}$ korotuskerroin määritellään kuvion 5 mukaan

$f_{c,90,d}$ poikittainen puristuslujuus

Poikittainen puristuslujuus määritellään kaavan 40 mukaan. Materiaalin ominaispuristuskestävyys määritellään taulukon 11 mukaan.

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} \quad (40)$$

Jossa:

$f_{c,90,k}$ Materiaalin ominaispuristuskestävyys

Tarvittava tukipinta pilarille saadaan kaavasta 41. Tukipinnan on oltava suurempi kuin tukivoiman ja puristuslujuuden suhde.

$$A_{tp} \geq \frac{R_d}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \quad (41)$$

Jossa:

A_{tp} Tarvittavan tukipinnan pinta-ala

R_d Tukivoima

$k_{c,90}$ Korotuskerroin määritellään kuvion 5 mukaan

6.2 Tukipinnan pinta-ala Venäläisen standardin mukaan

Tukipinnan laskennassa on toteuttava ehto, joka on esitetty kaavassa 42.

$$\frac{N}{F_{cm}} \leq R_{cm90} \quad (42)$$

Jossa:

N Tukivoima

F_{cm} Puristetun pinnan pinta-ala

R_{cm90} Laskennallinen puristuskestävyys kaavan 43 mukaan

Venäläisissä normeissa puristusjännitykselle on annettu oheisarvot materiaalilujuustaulukossa, mutta tarkempi arvo saadaan kaavan 43 mukaan

$$R_{cm90} = R_{c90} \cdot \left(1 + \frac{8}{l_{cm} + 1,2}\right) \quad (43)$$

Jossa:

l_{cm} Tuen leveys senttimetreinä

R_{c90} Puumateriaalin puristuskestävyys murtorajatilassa

6.3 Vertailulaskenta

6.3.1 Esimerkki Eurokoodi 5:n mukaan

Taulukossa 20 on esitetty leimapaineen laskuesimerkki Eurokoodi 5:n mukaan.

Taulukko 20: leimapaineen lasku

Leimapaineen laskuesimerkki	
Eurokoodi 5 kaavat	Laskenta
Mitoitusehdon tarkistaminen	$2,3 \cdot 1,43 \text{ N/mm}^2 = 3,3 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{c,90,d}$
Puristuslujuus $f_{c,90,d}$	$\frac{0,8 \cdot 2,5}{1,4} = 1,43 \text{ N/mm}^2$
Minimi tukipinnan pinta-ala A_{tp}	$\frac{15000 \text{ N}}{2,3 \cdot 1,43 \text{ N/mm}^2} = 4560 \text{ mm}^2$
Tukipinnan pituus l	$\frac{4560 \text{ mm}^2}{50 \text{ mm}} = 91,2 \text{ mm}$
Käyttöaste	91 %

6.3.2 Esimerkki Venäläisen standardin mukaan

Taulukossa 21 on esitetty leimapaineen laskuesimerkki venäläisten standardien mukaan.

Taulukko 21: Vertailulaskenta

Leimapaineen laskuesimerkki	
SNiP II-25-80	Laskenta
Materiaalin puristuslujuus R_{cm90}	$1,43 N/mm^2 \cdot (1 + \frac{8}{5 + 1,2}) = 3,27 N/mm^2$
Toteutusehto	$\frac{15000N}{100mm \cdot 50mm} = 3 N/mm^2 < R_{cm90}$
Käyttöaste	92 %

6.3.3 Kommentti

Vertailussa Eurokoodi 5:n ja SNiP:n välillä on suuria eroja laskumenetelmissä.

Lopputuloksessa päästiin melkein samoihin tuloksiin 1 %:n erolla. Todettiin, että vaikka laskentatuloksen erot ovat pieniä, venäläisten ohjeiden mukaan rakenne vaatii hieman suuremman tukipinnan palkille.

7 Liitokset

Tässä luvussa käsitellään yksileikkisiä pulttiliitoksia.

7.1 Liitokset Eurokoodi 5:n mukaan

Yleisemmin pulttiliitoksia lähdetään tutkimaan siitä oletuksesta, että reunaliitososan paksuus on suurempi kuin neljäkertainen pulttihalkaisija.

Tutkitaan puuosien välisen pultin yksileikkeistä liitosta. Alussa selvitetään pulttileikkauksen kestävyys yhtä leikettä kohden.

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot f_h \cdot t_u \cdot d \cdot \sqrt{1 + \frac{3 \cdot M_y}{f_h \cdot d \cdot t_u^2}} \\ 2 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} \end{array} \right. \quad (44)$$

Jossa:

$$t_u = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{t_1 \cdot f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 \cdot f_{h,2,k}}{f_h} \end{array} \right.$$

Yksileikkisissä liitoksissa t_1 on kooltaan pienempi ja t_2 suurempi.

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad (45)$$

Jossa:

ρ_k puumateriaalin tiheys, kuusen tiheys on 440 kg/m^3

Reunapuristuslujuus lasketaan kaavan 46 mukaan.

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (46)$$

Jossa:

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015d - \text{havupuulle} \\ 1,3 + 0,015d - \text{LVL} \end{cases} \quad \text{Liitospuun aikavaikutuskerroin}$$

Pultin myötömomentti saadaan kaavasta 47.

$$M_y = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (47)$$

Jossa:

$$f_{u,k} \quad \text{Pultin ominaiskestävyys } 800 \text{ N/mm}^2$$

$$d \quad \text{Pultin halkaisija}$$

Yhden pultin ominaisleikkauskestävyys saadaan kaavasta 48.

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot f_h \cdot t_u \cdot d \cdot \sqrt{1 + \frac{3 \cdot M_y}{f_h \cdot d \cdot t_u^2}} \\ 2 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} \end{array} \right. \quad (48)$$

Jossa:

$$M_y \quad \text{Pultin myötömomentti}$$

$$d \quad \text{Pultin halkaisija}$$

$$f_h \quad \text{Reunapuristuslujuus}$$

Yhden pultin laskennallinen leikkauskestävyys määritellään kaavan 49 mukaan.

Varmuuskertoimet ovat taulukoiden 9 ja 10 mukaan.

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot R_k \quad (49)$$

Jossa:

k_{mod} Muunnoskerroin taulukon 9 mukaan.

7.2 Liitokset venäläisen standardin mukaan

Venäläisessä standardissa terästappien ja pulttien kestävyys määritellään tappi- ja pulttitaivutuksesta.

Taulukko 22: Minimi reunaetäisyydet

Etäisyys	tappiliitokset, pulttiliitokset	
	$b > 10d$	$b < 10d$
S1	7d	6d
S2	3,5d	3d
S3	3d	2,5d

Liitoksen pulttimäärä saadaan kaavasta 50. Pultin leikkauskestävyys lasketaan yhtälön 51 mukaan, laskenta-arvoista valitaan pienin, niin saavutetaan varmuutta kestävyden suhteen.

$$n_u = N/T_{\min} \cdot n_u \quad (50)$$

$$T_{\min} = \begin{cases} (180 \cdot d^2 + 2 \cdot a^2) \cdot k_a \leq 250d^2 \\ 250 \cdot d^2 \\ 50 \cdot h \cdot d \\ 80 \cdot a \cdot d \end{cases} \quad (51)$$

Jossa:

n_n	teräspulttien lukumäärä
N	liitokseen kohdistuva voima
T_{min}	Yhden tapin kestävyys (SNiP 2-25-80 Taulukko 17)
n_u	leikkeisyysliitosten määrä (yksileikkeinen)
d	pultin halkaisija senttimetreinä
a	liitoksen puuosan pienempi leveys

7.3 Vertailulaskenta

Taulukossa 23 on esitetty laskentatiedot, joita käytetään laskentaesimerkeissä.

Taulukko 23: Yleistiedot

Leikkaustyyppi	Yksileikkeinen
Puukoot	90mm × 180mm
Voima	$\frac{15000N}{2,3 \cdot 1,43 N/mm^2} = 4560mm^2$
Tukipituus	$\frac{4560mm^2}{50mm} = 91,2mm$

7.3.1 Esimerkki Eurokoodi 5:n mukaan

Taulukossa 24 on esitetty yksilekkeisen pulttiliitoksen laskuesimerkki Eurokoodi 5:n mukaan. Liitokseen vaikuttavat normaalivoimat puun syynsuuntaisesti.

Taulukko 24: Pulttiliitoksen laskentaesimerkki

Pulttiliitoksen laskuesimerkki	
Eurokoodi 5 kaavat	Laskenta
Mitoitusehdon tarkistaminen	$2,3 \cdot 1,43 \text{ N/mm}^2 = 3,3 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{c,90,d}$
Reunapuristuslujuus $f_{h,0,k}$	$0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 440 = 30,3$
Liitospuun aikavaikutuskerroin k_{90}	$1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$
Reunapuristuslujuus kulmassa 90°	$\frac{30,3}{1,59 \cdot 1 + 0} = 19,1$
Pultin myötömomentti M_y	$0,3 \cdot 800 \cdot 16^{2,6} = 324282 \text{ Nmm}$
Muunnettu puunpaksuus t_u	$\frac{90 \text{ mm} \cdot 19,1}{19,1} = 90$
Liittimen kestävyys ominaisarvo R_k	$\begin{cases} 0,4 \cdot 19,1 \cdot 90 \cdot 16 \cdot \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 324282}{19,1 \cdot 16 \cdot 90^2}} = 12984,7 \\ 2 \cdot \sqrt{324282 \cdot 19,1 \cdot 16} = 19909,9 \end{cases}$
Liitoksen mittauskestävyys R_d	$\frac{0,8 \cdot 12984,7}{1,4} = 7419,9 \text{ N}$
Kappalemäärä n	$\frac{10000 \text{ N}}{7419,9 \text{ N}} = 1,3 \Rightarrow 2 \text{ kpl}$
Pulttien käyttöaste	65 %

7.3.2 Esimerkki venäläisen standardin mukaan

Taulukossa 24 on esitetty yksilekkeisen pulttiliitoksen laskuesimerkki SNiP 2-25-80:n mukaan. Liitokseen vaikuttavat normaalivoimat puun syynsuuntaisesti.

Taulukko 25: Pulttiliitoksen laskentaesimerkki

Pulttiliitoksen laskuesimerkki	
Eurokoodi 5 kaavat	Laskenta
1 pultin kestävyys kapasiteetti	$T_{\min} = \begin{cases} 180 \cdot 1,6^2 + 2 \cdot 9^2 = 622,8 \\ 250 \cdot 1,6^2 = 640 \\ 50 \cdot 18 \cdot 1,6 = 1440 \\ 80 \cdot 9 \cdot 1,6 = 1152 \end{cases}$
Kappalemäärä n	$\frac{10000N}{6228N} = 1,6 \Rightarrow 2kpl$
Osien nettopinta-ala F_{hemmo}	$90mm(180mm - 16mm) = 14760mm^2$
Vetokestävyys	$\frac{10000N}{14760mm^2} = 0,68 N/mm^2 < R_{ck}$
Pulttien käyttöaste	80 %

7.3.3 Kommentti

Tulosten vertailussa saatiin selkeä kuva pulttien määrän määritelmästä. Venäläisen normiston mukaiset laskut ovat tuloksissa osoittaneet, että tarvitaan 15 % suurempi pulttimäärä verrattuna Eurokoodi 5:een.

Laskuesimerkissä SNiP:n mukaan lopussa tarkistettiin puuosien poikkileikkauksen vetokestävyys, kun vedetty pinta-ala pienenee pulttien reikien takia.

8 Yhteenveto

Työn tarkoitus oli luoda mahdollisimman selkeät ja yksinkertaiset ohjeet esimerkkien avulla. Suunnittelijoiden on pystyttävä osoittamaan menetelmien tehokkuus ja toimivuus viranomaisille sekä eurooppalaisten että venäläisten ohjeiden mukaan. Alkuperäisissä ohjeissa on helpotuksia ja lisäyksiä, jotka vaikuttavat lopullisiin tuloksiin, ja varmin ratkaisu olisi tutkittava monipuolisesti.

Vertailulaskennassa venäläisten standardien ja Eurokoodi 5:n välillä todettiin, että suurin osa mitoituksesta tarkistetaan samalla tavalla kestävyys suhteen, mutta eri laskentamenetelmillä.

Mitoituksessa käytetään samoja mekaniikan ja statiikan sääntöjä, jotka eivät muutu miksiäkään maasta ja normeista riippumatta. Laskentakuormien määritelmässä on löydetty huomattavia eroja, koska venäläisten normien varmuuskertoimet ovat riippuvaisia materiaalin ominaisuudesta. Yllättävin osa tuli lumikuorman varmuuskertoimen määrittelyssä, jossa kertoimeen vaikuttaa myös rakenteiden omapaino.

Puupalkin tarkastelussa päästiin samoihin arvoihin molemmilla laskentamenetelmillä. Kaikki esimerkit ovat yksilöllisiä, ja se on tärkeää pitää mielessä, vaikka tämän työn esimerkeissä tulokset osoittivatkin menetelmien yhteensopivuuden.

Pilarin laskuesimerkki oli ainoa, jossa rakenteen käyttöaste oli suurempi Eurokoodi 5:n mukaisissa laskuissa. Sen perusteella voidaan arvioida, että Eurokoodi 5:n ohjeet olivat siinä tapauksessa varmempi vaihtoehto.

Yksi suunnitteluperiaatteista on, että rakennuksen ja rakenteiden on oltava sekä kestäviä että taloudellisia, ja juuri tämä kultainen keskitie on onnistuneen suunnitteluprojektin tavoite.

9 Lähteet

RIL 205-1-2007 liite B. Puuinfo Oy. PEFC 2008.

RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohje. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Hansaprint Oy 2008.

SNiP II-25-80 (СНиП II-25-80 Деревянные конструкции. Госстрой СССР 1980).

SNiP 2.01.07-85* (СНиП 2.01.07-85 Строительные нормы и правила СнИП 2.01.07-85* "Нагрузки и воздействия". Госстрой РФ 2003).

STO 36554501-002-2006 Wooden laminated and solid timber structures. Methods of design and calculation. (СТО 365545-002-2006 ДЕРЕВЯННЫЕ КЛЕЕННЫЕ И ЦЕЛЬНОДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ. Методы проектирования и расчета. НИЦ "Строительство" 2006).