

Jani Toivoniemi

Teräsrakenteiden käyttö pientalossa

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Jani Toivoniemi

Työn nimi: Teräsrakenteiden käyttö pientalossa

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 92

Liitteiden lukumäärä:6

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää pientalon teräsrakenteiden mitoittamiseen tarvittava teoria ja laskentasäännöt sekä mitoittaa työhön valitut teräsrakenteet eurokoodien mukaisesti. Työn sisältö on jaettu kahteen osaan eli teoria- ja laskentaosuuteen.

Teoriaosuuden alussa on käsitelty teräspalkkien mitoittamista ja siihen liittyviä laskentasääntöjä aloittaen poikkileikkausluokan määrittämisestä ja sen vaikutuksesta laskentaan. Laskentasäännöissä on esitetty kestävyys sekä yksittäisessä että yhteisvaikutustapauksissa. Lisäksi on käyty läpi, kuinka reikien vaikutus tulisi huomioida mitoituksessa. Teoriaosan lopussa on käsitelty liitosten mitoittamista, joissa on huomioitu sekä teräksen että puun kestävyys.

Laskentaosuudessa on mitoitettu välipohjan ja autokatoksen kantavia teräspalkkeja sekä niiden liitoksia. Palkkien mitoituksista on esitetty esimerkkilaskelmia ja taulukoituja laskentatuloksia sekä käyty läpi laskennan kulku ja kuormien määrittäminen palkeille. Liitosten mitoituksista on käsitelty autokatoksen pilarijalan sekä välipohjan teräspalkin liitokset ulkoseinään ja liimapuupalkkiin. Lisäksi asioiden havainnollistamiseksi tarpeellisista kohdista on piirretty liitteeksi detaljikuvia.

Avainsanat: teräs, mitoitus, kestävyys, palkit, liitokset

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Jani Toivoniemi

Title of thesis: Use of steel constructions in the one-family house

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2013

Number of pages: 92

Number of appendices: 6

The purpose of the thesis was to clarify the theory and rules of calculation which are needed to design steel constructions for a one-family house and to design the chosen steel constructions according to the Eurocodes. The content of the thesis is divided into two parts, the theory and the calculations.

The beginning of the theory part deals with the design of steel beams and rules of calculation linked to them. The theory part begins with the definition of the cross section class and its effect on the calculation. In the rules of calculation, strength both in particular and combined effect cases is presented. In addition, the effects of holes on dimensioning are studied. The end of the theory part deals with the dimensioning of joints, taking into account the strength of both steel and wood.

In the calculation part, load-bearing steel beams and their joints in the intermediate floor and in the car shelter were dimensioned. Dimensioning of beams is presented with example calculations and with tables of the calculation results, as well as calculations performance and loads definition to beams. Dimensioning of joints deals with the car shelter's pillar stand and the intermediate floor's steel beam joints to the exterior wall and to the glued laminated beam. In addition, detailed pictures were drawn from useful points as an appendix to illustrate the matters.

Keywords: steel, design, strength, beams, joints

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	7
Käytetyt termit ja lyhenteet	9
1 JOHDANTO	15
2 TERÄSPALKKIEN MITOITUS.....	16
2.1 Poikkileikkausmerkinnät ja sauvojen akselisto.....	16
2.2 Poikkileikkausluokitus	16
2.3 Leikkauskestävyys	18
2.3.1 Leikkauspinta-alan määrittäminen.....	19
2.3.2 Reikien vaikutus leikkauskestävyyteen	20
2.3.3 Leikkauslommahduksen vaikutus leikkauskestävyyteen.....	20
2.4 Taivutuskestävyys.....	21
2.4.1 Plastinen taivutusvastus.....	22
2.4.2 Leikkausvoiman vaikutus taivutuskestävyyteen	23
2.4.3 Reikien vaikutus taivutuskestävyyteen.....	24
2.5 Kiepahduskestävyys	25
2.6 Pistekuormakestävyys	30
2.6.1 Leikkausvoiman ja pistekuorman yhteisvaikutus.....	35
2.6.2 Taivutusmomentin ja pistekuorman yhteisvaikutus	35
2.6.3 Taivutusmomentin, pistekuorman ja leikkausvoiman yhteisvaikutus	36
3 LIITOSTEN MITOITUS	39
3.1 Teräksen puristuskestävyys	39
3.2 Teräksen vetokestävyys.....	40
3.3 Reunapuristuslujuus teräkselle	40
3.4 Palamurtuminen teräkselle.....	43
3.5 Teräksen ja puun välinen pulttiliitos	44
3.6 Puun halkeamiskestävyys.....	46

3.7	Teräslevyn hitsauksen mitoitus	47
3.8	Sytä vastaan kohtisuora puristuslujuus	48
4	VÄLIPOHJAN TERÄSPALKKIEN MITOITUS.....	49
4.1	Lähtökohta mitoitukseen	49
4.2	Mitoituksen kulku.....	49
4.2.1	Teräspalkille tulevat kuormitukset	50
4.2.2	1-aukkoisen palkin laskentaesimerkki, sisämitta 90M, kipsilevylattia	51
4.2.3	1-aukkoisen palkin laskentatulokset, kipsilevylattia.....	56
4.2.4	1-aukkoisen palkin laskentatulokset, kipsivalulattia	57
4.2.5	2-aukkoisen palkin laskentaesimerkki, sisämitta 90M, kipsivalulattia	57
4.2.6	2-aukkoisen palkin laskentatulokset, kipsilevylattia.....	65
4.2.7	2-aukkoisen palkin laskentatulokset, kipsivalulattia	66
4.2.8	Loppuyhteenveto mitoituksesta.....	66
5	VÄLIPOHJAN TERÄSPALKIN LIITOKSIEN MITOITUS.....	68
5.1	Lähtökohta mitoitukseen	68
5.2	Teräspalkin liitos liimapuupalkin kylkeen.....	68
5.2.1	Ruuviliitoksen leikkauskestävyys ja reunaetäisyydet	68
5.2.2	Puun halkeamiskestävyys	70
5.2.3	Teräslevyn kestävyys.....	71
5.2.4	Teräslevyn hitsauksen mitoitus	73
5.2.5	Loppuyhteenveto liitoksen mitoituksesta.....	73
5.3	Teräspalkin liitos ulkoseinään	74
5.3.1	Ruuviliitoksen leikkauskestävyys ja reunaetäisyydet	74
5.3.2	Leikkauskestävyyden lisäys	76
5.3.3	Sytä vastaan kohtisuora puristus elementin alareunassa	77
5.3.4	Loppuyhteenveto liitoksen mitoituksesta.....	78
6	AUTOKATOKSEN TERÄSPALKKIEN MITOITUS.....	79
6.1	Lähtökohta mitoitukseen	79
6.2	Mitoituksen kulku.....	79
6.2.1	Teräspalkille tulevat kuormitukset	79

6.2.2 1-aukkoisen palkin laskentaesimerkki, katoksen syvyys 5000 mm, lumikuorma EC maassa 2,0 kN/m ² , peltikate	81
6.2.3 Autokatoksen palkin laskentatulokset	85
6.2.4 Loppuyhteenveto palkin mitoituksesta	89
6.3 Autokatoksen pilarijalan mitoitus	89
LÄHTEET	91
LIITTEET	92

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. I-profiilin merkinnät ja akselisto (SFS-1993-1-1 2006,21)	16
Kuvio 2. I-Profiilin kiepahdus. (Lepistö ym. 2010, 140).	26
Kuvio 3. Pistekuorman murtotavat. (Eriksson ”Ei päiväystä”, 25).....	30
Kuvio 4. Pistekuorman vaikutus tyyppi a (SFS-1993-1-5 2007,28).....	31
Kuvio 5. Pistekuorman vaikutus tyyppi b (SFS-1993-1-5 2007,28).....	31
Kuvio 6. Pistekuorman vaikutus tyyppi c (SFS-1993-1-5 2007,28).	32
Kuvio 7. Kiinnittimien etäisyyksien merkinnät. (SFS-1993-1-8 2006,25).....	42
Kuvio 8. Palamurtuminen. (SFS-1993-1-8 2006,35).	43
Kuvio 9. Palkin staattinen malli	51
Kuvio 10. Leikkausvoimakuvio	51
Kuvio 11. Taivutusmomenttikuvio	52
Kuvio 12. Palkin taipuma	52
Kuvio 13. Palkin staattinen malli suurimman taipuman kannalta.....	57
Kuvio 14. Palkin taipuma, aukkomitta 5600 mm.	58
Kuvio 15. Palkin staattinen malli suurimpien voimasuureiden kannalta.	58
Kuvio 16. Leikkausvoimakuvio. Sauva 1.	58
Kuvio 17. Leikkausvoimakuvio. Sauva 2.	59
Kuvio 18. Taivutusmomenttikuvio. Sauva 1.	59
Kuvio 19. Taivutusmomenttikuvio. Sauva 2.	59
Kuvio 20. Teräslevy palkin päässä liimapuuhun liitettäessä	70
Kuvio 21. Palamurtumistapaukset.....	72
Kuvio 22. Hitsisaumat	73
Kuvio 23. Teräslevy palkin päässä ulkoseinään liitettäessä.....	76
Kuvio 24. Lankku teräspalkin alla ulkoseinään liitettäessä.....	77
Kuvio 25. Puristuskestävyys alajuoksussa.....	77
Kuvio 26. Palkin staattinen malli	81
Kuvio 27. Leikkausvoimakuvio	81
Kuvio 28. Taivutusmomenttikuvio	81
Kuvio 29. Palkin taipuma	82
Kuvio 30. Autokatoksen pilarijalka	89

Taulukko 1. Ulokkeellisten laippojen puristettujen taso-osien suurimmat leveys- paksuussuhteet. (SFS-1993-1-1 2006,46)	17
Taulukko 2. Kahdelta reunalta tuettujen puristettujen taso-osien suurimmat leveys- paksuussuhteet. (SFS-1993-1-1 2006,45)	18
Taulukko 3. Nimellisvälykset ruuveille ja niveltapeille mm:nä (SFS-EN 1090-2 2009,36).....	25
Taulukko 4. Tekijöiden C1 ja C2 arvot. (Lepistö ym. 2010, 154).....	27
Taulukko 5. Kiepahduskäyrien epätarkkuustekijät. (SFS-1993-1-1 2006,66)	29
Taulukko 6. Kiepahduskäyrä.(SFS-1993-1-1 2006,67).	30
Taulukko 7.Kiinnittimien keskiövälit, pääty- ja reunaetäisyydet.(SFS-1993-1- 8,2006,24).....	42
Taulukko 8. Pulttien keskiövälit, pääty- ja reunaetäisyydet. (Puuinfo 2011, 38)....	46
Taulukko 9. Välipohjapalkkien tukireaktiot kipsivalulattialla	51
Taulukko 10. Välipohjapalkkien tukireaktiot kipsilevylattialla.....	51
Taulukko 11. Palkin taipuma, voimasuureet.1-aukkoinen palkki, kipsilevylattia	56
Taulukko 12. Palkin kestävyystulokset. 1-aukkoinen palkki, kipsilevylattia	56
Taulukko 13. Palkin taipuma, voimasuureet, 1-aukkoinen palkki, kipsivalulattia...	57
Taulukko 14. Palkin kestävyystulokset, 1-aukkoinen palkki, kipsivalulattia	57
Taulukko 15. Palkin taipuma, voimasuureet.2-aukkoinen palkki, kipsilevylattia	65
Taulukko 16. Palkin kestävyystulokset, 2-aukkoinen palkki, kipsilevylattia	65
Taulukko 17. Palkin taipuma, voimasuureet.2-aukkoinen palkki, kipsivalulattia....	66
Taulukko 18. Palkin kestävyystulokset, 2-aukkoinen palkki, kipsivalulattia.....	66
Taulukko 19. Lumikuormien tukireaktiot autokatoksen palkille	80
Taulukko 20. Omapainojen tukireaktiot autokatoksen palkille.....	80
Taulukko 21. Palkin taipuma, voimasuureet, katoksen syvyys 5000 mm.....	85
Taulukko 22. Palkin kestävyystulokset, katoksen syvyys 5000 mm.....	85
Taulukko 23. Palkin taipuma, voimasuureet, katoksen syvyys 6000 mm.....	86
Taulukko 24. Palkin kestävyystulokset, katoksen syvyys 6000 mm.....	86
Taulukko 25. Palkin taipuma, voimasuureet, katoksen syvyys 7000 mm.....	87
Taulukko 26. Palkin kestävyystulokset, katoksen syvyys 7000 mm.....	87
Taulukko 27. Palkin taipuma, voimasuureet, katoksen syvyys 8000 mm.....	88
Taulukko 28. Palkin kestävyystulokset, katoksen syvyys 8000 mm.....	88

Käytetyt termit ja lyhenteet

V_{Ed}	Leikkausvoiman mitoitusarvo
$V_{c,Rd}$	Leikkauskestävyyden mitoitusarvo
A_v	Leikkauspinta-ala
f_y	Teräksen nimellinen myötöraja
γ_{M_0}	Materiaalin kestävyysosavarmuusluku. Arvo 1,0
A	Poikkileikkauksen pinta-ala
b_f	Laipan leveys
t_f	Laipan paksuus
t_w	Uuman paksuus
r	Uuman/laipan liitoskohdan pyöristyssäde
h_w	Uuman korkeus
η	Muokkauslujittumisen huomioiva tekijä. Varmalla puolella oleva arvo 1,0. Suositusarvo 1,2, kun teräslaji enintään S460
d_o	Reiän halkaisija leikkauspinta-alassa
M_{Ed}	Taivutusmomentin mitoitusarvo
$M_{c,Rd}$	Taivutuskestävyyden mitoitusarvo
W_{pl}	Poikkileikkauksen plastinen taivutusvastus
$M_{y,V,Rd}$	Pienennetty taivutuskestävyyden mitoitusarvo
A_w	Uuman pinta-ala

$V_{b,Rd}$	Leikkauslommahduskestävyyden mitoitusarvo
$A_{f,net}$	Laipan nettopinta-ala
f_u	Teräksen nimellinen murtolujuus
γ_{M_2}	Kestävyyden osavarmuusluku murtumisen suhteen. Arvo 1,25
A_f	Laipan bruttopinta-ala
k_{net}	Taivutuskestävyyden pienennyskerroin
$M_{net,c,Rd}$	Taivutuskestävyyden mitoitusarvo nettopoikkileikkaukselle
C_1	Taivutusmomenttikuvion muodon huomioiva kerroin, johon vaikuttaa myös tarkasteluvälin päiden tuenta.
C_2	Kerroin, jolla huomioidaan kuorman vaikutuspisteen sijainti
E	Kimmomoduuli
G	Liukumoduuli
k_z	Poikkileikkauksen taivutustasossa tapahtuvan nurjahduksen kriittisen pituuden kerroin, varmalla puolella olevana arvona voidaan käyttää 1,0
k_w	Vääntöön liittyvä kriittisen pituuden kerroin, varmalla puolella olevana arvona voidaan käyttää 1,0
I_w	Estetyn väännön vakio
I_z	Poikittainen jäyhyysmomentti
I_t	Vapaan väännön vakio
z_g	Kuorman vaikutuspisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä

M_{cr}	Kriittinen kiepahdusmomentti
W_y	Poikkileikkausluokan mukainen taivutusvastus
$M_{b,Rd}$	Kiepahduskestävyyden mitoitusarvo
χ_{LT}	Kiepahduksen pienennystekijä
γ_{M_1}	Kestävyyden osavarmuusluku stabiiliuden suhteen. Arvo 1,0
Φ_{LT}	Apusuure
$\bar{\lambda}_{LT}$	Muunnettu hoikkuus
α_{LT}	Epätarkkuus tekijä
β	0,75
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	0,4
F_{Ed}	Pistekuorman mitoitusarvo
F_{Rd}	Pistekuormakestävyyden mitoitusarvo
f_{yw}	Uuman teräksen nimellinen myötöraja
L_{eff}	Tehollinen pituus kuorman suhteen
χ_F	Paikallisen lommahduksen huomioiva pienennystekijä
l_y	Jäykän tukipinnan pituuteen s_s liittyvä tehollinen kuormituspituus
s_s	Jäykän tukipinnan pituus
m_1	Apusuure
m_2	Apusuure
a	Viereisten pystyjäykisteiden välinen etäisyys

k_F	Lommahduskerroin
c	Etäisyys palkin päästä tuen reunaan
$\bar{\lambda}_F$	Hoikkuus
F_{cr}	Kriittinen kuorma
f_{yf}	Laipan teräksen nimellinen myötöraja
$\sigma_{x,Ed}$	Pituussuuntaisen jännityksen mitoitusarvo
$\sigma_{z,Ed}$	Poikittaisen jännityksen mitoitusarvo
$\tau_{,Ed}$	Leikkausjännityksen mitoitusarvo
I_y	Jäyhyysmomentti y-akselin suhteen
b_{eff}	Jännityksen jakaumaleveys
$a_{st,1}$	pistekuorman kohdalla sijaisevien mahdollisten poikittaisjäykisteiden pinta-ala, joka levitetään matkalle s_e
s_e	Poikittaisen jännityksen vaakasuuntainen leveys uuman ja laipan yhtymäkohdassa
n	Apusuure
S_y	Tarkastelukohdan staattinen momentti neutraaliakselin suhteen
N_{Ed}	Puristusvoiman mitoitusarvo
$N_{c,Rd}$	Poikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusarvo
$N_{t,Rd}$	Poikkileikkauksen vetokestävyyden mitoitusarvo
A_{net}	Poikkileikkauksen nettopinta-ala
$F_{v,Ed}$	Leikkausvoiman mitoitusarvo

$F_{b,Rd}$	Reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo
d	Ruuvien halkaisija
t	Tarkasteltavan levyosan paksuus
k_1	Kerroin voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa
α_b	Kerroin voiman suunnassa
e_1	Ruuvien päätyetäisyys
e_2	Ruuvien reunaetäisyys
p_1	Ruuvien keskiöväli voiman suunnassa
p_2	Ruuvien keskiöväli voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa
$V_{eff,1,Rd}$	Palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo
A_{nt}	Vedon rasittama nettopinta-ala
A_{nv}	Leikkauksen rasittama nettopinta-ala
k_{mod}	Puun aikavaikutuskerroin
R_k	Leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettä kohden
γ_M	Puun materiaaliosavarmuusluku
f_h	Puun reunapuristuslujuuden ominaisarvo
M_y	Pultin myötömomentti
ρ_k	Puun ominaistiheys
$f_{u,k}$	Pultin vetomurtolujuuden ominaisarvo
$F_{90,d}$	Halkeamiskestävyyden mitoitusarvo
$F_{90,k}$	Halkeamiskestävyyden ominaisarvo

a	Hitsin a-mitta
β_M	Hitsin korrelaatiokerroin
L_w	Hitsisauman pituus
$f_{c,90,k}$	Puristuslujuuden ominaisarvo syitä vastaan kohtisuorassa puristuksessa
$f_{c,90,d}$	Puristuslujuuden mitoitusarvo syitä vastaan kohtisuorassa puristuksessa
$k_{c,t}$	Puun tukipainekerroin
$l_{c,90,ef}$	Tehollinen kosketuspinnan pituus
l	Kosketuspinnan pituus puun syiden suunnassa
$k_{c,90}$	1,25 havupuisella sahatavaralla

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaaja on talopaketteja valmistava Kannustalo Oy, jonka tehtaat sijaitsevat Kannuksessa ja Oravaisissa. Yrityksen perinteiseen toimintaan ovat kuuluneet suurelementtirakenteiset talopaketit, jonka lisäksi toimitetaan muuttovalmistaloja tilaelementtitoimituksena sekä kivitalopaketteja elementteinä. Yrityksen hyvästä menestyksestä ovat osoituksena asuntomessuvoitot sekä Suomen Asiakastieto Oy:n valinta Keski-Pohjanmaan vahvimaksi yritykseksi 2011.

Työn idea lähti liikkeelle edustajaverkoston palautteesta, jonka mukaan talon kantaviin rakenteisiin tulisi olla mahdollista käyttää teräsrakenteita, jos puurakenteilla ei olisi mahdollista saavuttaa haluttua ratkaisua. Teräsrakenteiden käytöllä halutaan saavuttaa pidempiä jännevälejä sekä vähentää pilareiden tarvetta, jotka ovat usein asiakkaan mielestä tilojen käyttöä rajoittavia tekijöitä.

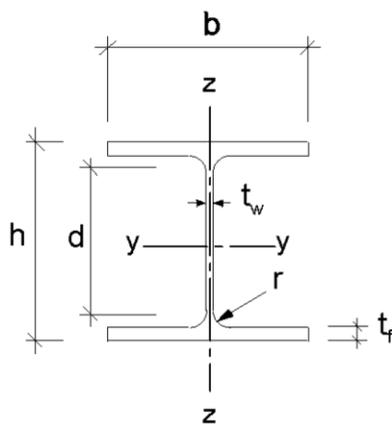
Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää käytettävien rakenteiden mitoitukseen tarvittava teoria ja laskentasäännöt sekä huomioida mitoitukseen vaikuttavat asiat, koska yrityksen sisällä kokemukset teräsrakenteiden käytöstä ovat todella vähäiset. Lisäksi mitoituksessa on siirrytty eurokoodien käyttöön, johon henkilökunnalla ei ole koulutusta, joten työn kautta saataisiin valmius mitoitukseen jatkoa ajatellen. Toisena tavoitteena oli mitoittaa välipohjan ja autokatoksen teräspalkkeja sekä niihin liittyviä liitoksia, jotta saataisiin selville maksimi jännevälejä, joiden mukaan voidaan toimia. Lisäksi mitoituksella saataisiin käsitystä teräksen kestävyydestä.

Koska teräsrakenteet ovat tilaajalle uusi osa-alue, teräsrakenteita tullaan aluksi ottamaan käyttöön vain autokatoksen ja välipohjan kannatukseen, jonka vuoksi työssä on mitoitettu niihin liittyen perustapauksia. Saatujen käyttökokemusten pohjalta teräsrakenteita tullaan mahdollisesti ottamaan käyttöön myös muissa käyttökohteissa.

2 TERÄSPALKKIEN MITOITUS

2.1 Poikkileikkausmerkinnät ja sauvojen akselisto

Eurokoodissa on sovittu laippojen suuntaisen akselin merkinnäksi y-y ja laippojen suhteen kohtisuoran akselin merkinnäksi z-z kuvion 1 mukaisesti, joten akselisto on päinvastoin kuin perinteisesti lujuusopin kirjallisuudessa on esitetty.



Kuvio 1. I-profiilin merkinnät ja akselisto (SFS-1993-1-1 2006, 21).

2.2 Poikkileikkausluokitus

Profiilille määritetään poikkileikkausluokka, jonka tarkoituksena on tunnistaa, missä laajuudessa poikkileikkauksen paikallinen lommahdus rajoittaa poikkileikkauksen kestävyyttä ja kiertymiskykyä (SFS-1993-1-1 2006, 42). Poikkileikkausluokka vaikuttaa taivutuskestävyydessä käytettävään taivutusvastukseen ja puristuskestävyydessä käytettävään poikkileikkauksen pinta-alaan.

Poikkileikkaukset jaetaan neljään poikkileikkausluokkaan 1, 2, 3 ja 4 (SFS-1993-1-1 2006, 42). Luokissa 1–3 koko poikkileikkaus toimii tehollisena, mutta luokassa 4 poikkileikkauksessa on tehoton alue, joten poikkileikkaukselle on laskettava tehollinen poikkileikkaus kestävyksiä laskettaessa.

Luokituksessa poikkileikkauksen eri osille määritetään kullekin oma poikkileikkausluokka, joten samassa poikkileikkauksessa eri osat (uuma ja laippa) voivat kuulua eri luokkiin. Poikkileikkausluokka määräytyy vähiten suotuisimman eli suurimman poikkileikkausluokkanumeron saavan osan mukaisesti. Lisäksi on huomioitava, että saman profiilin poikkileikkausluokka voi olla erilainen taivutuksessa ja puristuksessa. Luokitus riippuu puristettujen osien leveys-paksuussuhteista (taulukko 1, 2), koska vain puristettu poikkileikkauksen osa voi lommahtaa. Lisäksi määrittämiseen vaikuttaa käytettävä teräslaji, jonka perusteella määräytyy poikkileikkausluokan raja-arvo, johon laskettua leveys-paksuussuhdetta verrataan. (SFS-1993-1-1 2006, 43).

Käytettäessä vakiorakenneterästuotteita valmistajien tuoteluetteloissa on usein profiilille määritetty poikkileikkausluokka sekä taivutuksessa että puristuksessa (LIITE1). Puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutustapauksessa poikkileikkausluokka on määritettävä tapauskohtaisesti.

Taulukko 1. Ulokkeellisten laippojen puristettujen taso-osien suurimmat leveys-paksuussuhteet (SFS-1993-1-1 2006, 46).

Ulokkeelliset laipat						
		Valssatut profiilit		Hitsatut profiilit		
Poikkileikkausluokka	Puristetut taso-osat	Puristetut ja taivutetut taso-osat				
		Vapaa reuna on puristettu		Vapaa reuna on vedetty		
Taso-osan jännitysjakautuma (puristus positiivinen)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Taso-osan jännitysjakautuma (puristus positiivinen)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$ ⁴⁾	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_{\sigma}}$ ⁵⁾ k _σ ks. EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f _y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Taulukko 2. Kahdelta reunalta tuettujen puristettujen taso-osien suurimmat leveys-paksuussuhteet (SFS-1993-1-1 2006, 45).

Kahdelta reunalta tuetut puristetut taso-osat						
			Taivutus ko. akselin suhteen			
			Taivutus ko. akselin suhteen			
Poikkileikkausluokka	Taivutetut taso-osat	Puristetut taso-osat	Taivutetut ja puristetut taso-osat			
Taso-osan jännitys-jakautuma (puristus positiivinen)						
1	$c/t \leq 72e$	$c/t \leq 33e$	$kun \alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396e}{13\alpha - 1}$ $kun \alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36e}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83e$	$c/t \leq 38e$	$kun \alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456e}{13\alpha - 1}$ $kun \alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5e}{\alpha}$			
Taso-osan jännitys-jakautuma (puristus positiivinen)						
3	$c/t \leq 124e$ ¹⁾	$c/t \leq 42e$ ²⁾	$kun \psi > -1: c/t \leq \frac{42e}{0,67 + 0,33\psi}$ ³⁾ $kun \psi \leq -1^*): c/t \leq 62e(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$e = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	e	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

2.3 Leikkauskestävyys

Periaatteena leikkauskestävyyden mitoituksessa on, että kuormituksen suuntaiselle profiiliin osalle lasketaan leikkauspinta-ala, joka ottaa vastaan koko leikkausvoiman. Kaikissa poikkileikkausluokissa leikkauskestävyys voidaan määrittää plastisuusteorian mukaisesti eli kimmoteorian mukainen leikkausjännityksen paikallinen maksimi ei rajoita kestävyyttä, vaan poikkileikkaus voi ottaa kuormaa vastaan kunnes leikkauspinta-alan keskimääräinen leikkausjännitys saavuttaa leikkauslujuuden mitoitusarvon. (Lepistö, Ongelin & Valkonen 2010, 152.)

Leikkauskestävyyden mitoitusehto:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (1)$$

missä

V_{Ed} on leikkausvoiman mitoitusarvo

$V_{c,Rd}$ on leikkauskestävyyden mitoitusarvo

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M_0}} \quad (2)$$

missä

A_v on leikkauspinta-ala

f_y on teräksen nimellinen myötöraja

γ_{M_0} on kestävyden osavarmuusluku

Edellä esitetty kestävyden mitoitusarvo on voimassa, kun vääntöä ei ole ja leikkauslommahdus ei rajoita kestävyyttä.

(SFS-1993-1-1 2006, 54.)

2.3.1 Leikkauspinta-alan määrittäminen

Valssatuille I-profiileille leikkauspinta-ala määritetään seuraavan kaavan mukaisesti, kun kuormitus on uuman suuntainen:

$$A_v = A - 2b_f t_f + (t_w + 2r) t_f \geq \eta h_w t_w \quad (3)$$

missä

A on poikkileikkauksen pinta-ala

b on laipan leveys

t_f on laipan paksuus

t_w on uuman paksuus

r on uuman/laipan liitoskohdan pyöristyssäde

h_w on uuman korkeus

η on muokkauslujittumisen huomioiva tekijä. Varmalla puolella oleva arvo 1,0. Suositusarvo 1,2, kun teräslaji enintään S460

Käytettäessä vakiorakenneterästuotteita valmistajien tuoteluetteloissa on usein profiilille määritetty leikkauspinta-ala (LIITE 1).

(SFS-1993-1-1 2006, 54).

2.3.2 Reikien vaikutus leikkauskestävyyteen

Kiinnittimien reikiä ei tarvitse ottaa huomioon leikkauskestävyyden laskemisessa lukuun ottamatta leikkauskestävyyden laskemista liitosalueilla. Eurokoodissa ei ole kuitenkaan esitetty yleisiä ohjeita reikävähennyksen huomioimiseksi, joten I-profiilille on suositeltavaa käyttää seuraavaa menettelyä (Lepistö ym. 2010, 153-154):

$$A_v = \eta[\Sigma(h_w t_w) - \Sigma(d_o t_w)] , \text{ kuormitus on uuman suuntainen} \quad (4)$$

missä

d_o on reiän halkaisija leikkauspinta-alassa

η on muokkauslujittumisen huomioiva tekijä. Varmalla puolella oleva arvo 1,0. Suositusarvo 1,2, kun teräslaji enintään S460

Edellä esitetystä voidaan todeta, että mikäli leikkauspinta-alassa ei ole reikiä, niillä ei ole vaikutusta leikkauskestävyyteen. Näin ollen pilarien kiinnitystä varten laip-poihin tehtävät reiät eivät vaikuta leikkauskestävyyteen.

2.3.3 Leikkauslommahduksen vaikutus leikkauskestävyyteen

Profiilin uuma voi leikkausvoiman vaikutuksesta lommahtaa ennen kuin plastinen leikkauskestävyys saavutetaan, mikäli uuma on riittävän hoikka (Lepistö ym. 2010, 154). Tällainen ilmiö tulee kyseeseen etenkin korkeilla ohutumapalkeilla. Mikäli leikkausvoima aiheuttaa uuman lommahtamisen, leikkauslommahduskestävyyttä

voidaan parantaa uumaan hitsattavilla pystyjäykisteillä tai tarvittaessa myös pituussuuntaisilla jäykisteillä. Lisäksi niillä vahvistetaan uumaa tarvittaessa piste-kuormien ja tukien kohdalta.

Mikäli seuraava ehto toteutuu väljäykisteettömälle uumalle, uuman leikkauslommahduskestävyys on tarkistettava ja tukien kohdalla uumaa on vahvistettava pystyjäykisteillä:

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (5)$$

missä

$$\varepsilon \text{ on } \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

η on muokkauslujittumisen huomioiva tekijä. Varmalla puolelle oleva arvo 1,0. Suositusarvo 1,2, kun teräslaji enintään S460

(SFS-1993-1-5 2007, 23).

Leikkauslommahduskestävyydessä lasketaan erikseen laippojen ja uuman osuus kestävydestä. Laippojen osuus kestävyteen voidaan huomioida, jos taivutusmomentti M_{ed} on pienempi kuin pelkästään laipoista koostuvan poikkileikkauksen plastinen taivutuskestävyys $M_{f,Rd}$ (SFS-1993-1-5 2007, 27). Uuman osuudessa uumalle lasketaan pienennystekijä, jolla pienennetään uuman leikkauskestävyyttä.

Tässä työssä ei käsitellä leikkauslommahduskestävyyden mitoitusta tarkemmin, koska mitoitettavat teräspalkit ovat vakioterästuotteita, IPE-profiileja. Vakio I-profiileissa uuman leikkauslommahduskestävyys on huomioitu uuman mittasuhteissa siten, että lommahdusta ei tapahdu.

2.4 Taivutuskestävyys

Taivutuskestävyys riippuu käytettävästä teräslajista ja poikkileikkausluokasta. Kuitenkin aikaisemmin poikkileikkausluokan määrittämisen yhteydessä todettiin poikkileikkausluokka määrittää käytettävän taivutusvastuksen.

Taivutuskestävyyden mitoitusehto yksiakselisessa taivutuksessa:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} \quad (6)$$

missä

M_{Ed} on taivutusmomentin mitoitusarvo

$M_{c,Rd}$ on taivutuskestävyyden mitoitusarvo

Taivutuskestävyyden mitoitusarvo, kun poikkileikkausluokka on 1 tai 2:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (7)$$

missä

W_{pl} on poikkileikkauksen plastinen taivutusvastus

(SFS-1993-1-1 2006, 53).

2.4.1 Plastinen taivutusvastus

Plastinen taivutusvastus W_{pl} määritetään poikkileikkauksen plastisen neutraaliakselin suhteen määritettyjen staattisten momenttien avulla. Plastinen neutraaliakseli jakaa poikkileikkauksen puristettuun ja vedettyyn osaan, jotka ovat yhtä suuria.

Plastinen taivutusvastus määritetään kaavasta:

$$W_{pl} = S_1 + S_2 = A_1 e_1 + A_2 e_2 \quad (8)$$

missä

S_1/S_2 ovat vedetyn ja puristetun poikkileikkauksen staattiset momentit plastisen neutraaliakselin suhteen

A_1/A_2 osien pinta-alat

e_1/e_2 osien pintakeskiöiden etäisyys plastisesta neutraaliakselista

Käytettäessä vakiorakenneterästuotteita valmistajien tuoteluetteloissa on usein profiilille määritetty plastinen taivutusvastus W_{pl} sekä y- että z-akselin suhteen (LIITE 1).

2.4.2 Leikkausvoiman vaikutus taivutuskestävyyteen

Leikkausvoiman vaikutus taivutuskestävyyteen tulee huomioida, jos leikkausvoima on yli puolet plastisuusteorian mukaisesta leikkauskestävyydestä eli

$$V_{Ed} > 0,5V_{pl,Rd} \quad (9)$$

missä

V_{Ed} on leikkausvoiman mitoitusarvo

$V_{pl,Rd}$ on leikkauskestävyyden mitoitusarvo

Taivutuskestävyyttä $M_{c,Rd}$ pienennetään käyttämällä leikkauspinta-alalle A_v pienennettyä myötörajaa

$$(1 - \rho)f_y \quad (10)$$

taivutuskestävyyttä laskettaessa, missä pienennyskerroin ρ lasketaan kaavasta:

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (11)$$

Poikkileikkausluokissa 1 ja 2 voidaan I-profiilin tapauksessa, jossa laipat ovat yhtä suuret ja taivutus vaikuttaa vahvemman akselin suhteen, laskea pienennetty taivutuskestävyys kaavasta

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left(W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4t_w} \right) f_y}{\gamma M_0} \quad (12)$$

missä

$W_{pl,y}$ on poikkileikkauksen plastinen taivutusvastus

A_w on uuman pinta-ala

Lisäksi on huomioitava, että leikkauslommahduksen ollessa mitoittava, käytetään kaavassa (9) leikkauslommahduskestävyyttä $V_{b,Rd}$ leikkauskestävyyden $V_{pl,Rd}$ paikalla.

2.4.3 Reikien vaikutus taivutuskestävyyteen

Vedetyssä laipassa olevia kiinnittimien reikiä ei tarvitse huomioida, jos laipan nettopoikkileikkauksen murtumiskestävyyden mitoitusarvo on vähintään yhtä suuri kuin laipan bruttopoikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen kestävyyden mitoitusarvo eli seuraava ehto on voimassa:

$$\frac{0,9A_{f,net}f_u}{\gamma_{M_2}} \geq \frac{A_f f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (13)$$

missä

$A_{f,net}$ on vedetyn laipan nettopinta-ala

f_u on teräksen nimellinen murtolujuus

γ_{M_2} on kestävyyden osavarmuusluku murtumisen suhteen

A_f on vedetyn laipan bruttopinta-ala

(SFS-1993-1-1 2006, 54).

Jos edellä esitetty ehto ei täyty voidaan varmalla puolella olevana yksinkertaistuksena käyttää laskelmissa nettopoikkileikkaukselle pienennettyä taivutuskestävyyttä seuraavasti:

$$k_{net} = 0,9 \frac{\gamma_{M_0}}{\gamma_{M_2}} * \frac{f_u}{f_y} * \frac{A_{f,net}}{A_f} \leq 1,0 \quad (14)$$

$$M_{net,c,Rd} = k_{net} M_{c,Rd} \quad (15)$$

missä

k_{net} on taivutuskestävyyden pienennyskerroin

$M_{net,c,Rd}$ on poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo nettopoikkileikkaukselle

$M_{c,Rd}$ on poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo bruttopoikkileikkaukselle

(Lepistö ym. 2010, 153-154).

Uuman vedetyllä alueella olevia kiinnittimien reikiä ei tarvitse huomioida, jos vedetyn alueen nettopoikkileikkauksen murtumiskestävyyden mitoitusarvo on vähintään

yhtä suuri kuin vedetyn alueen bruttopoikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen kestävyuden mitoitusarvo eli vastaava vedettyä aluetta koskeva ehto (13) on voimassa koko vedetyllä alueella. Vedetty alue koostuu vedetystä laipasta ja uuman vedetystä osasta (SFS-1993-1-1 2006, 54).

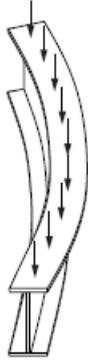
Kiinnittimien reikiä, mikäli kiinnitin on reiässä, ei tarvitse huomioida poikkileikkauksen puristetulla alueella. Ylisuuret ja pidennetyt reiät (taulukko 3) puristetulla alueella on kuitenkin huomioitava, vaikka kiinnitin on reiässä (SFS-1993-1-1 2006, 54).

Taulukko 3. Nimellisivälykset ruuveille ja niveltapeille mm:nä (SFS-EN 1090-2 2009, 36).

Ruuvien tai niveltapin nimellishalkaisija (mm)	12	14	16	18	20	22	24	27 ja yli
Normaalit pyöreät reiät ^a	1 ^{b, c}		2				3	
Ylisuuret pyöreät reiät	3		4				6	8
Lyhyet pidennetyt reiät (pituudelle) ^d	4		6				8	10
Pitkät pidennetyt reiät (pituudelle) ^d	1,5 <i>d</i>							
^a Torneille, mastoille ja vastaaville sovellutuksille normaalien pyöreiden reikien nimellisivälystä pienennetään 0,5 mm, ellei erikseen toisin esitetä. ^b Pinnoitetuille kiinnittimille 1 mm:n nimellisivälystä voidaan suurentaa kiinnittimen pinnoitteen paksuuden verran. ^c Ruuveille, joiden nimellishalkaisija on 12 tai 14 mm ja oppokantaruuveille voidaan käyttää myös 2 mm:n välystä standardissa EN 1993-1-8 esitettyjä ehtoja noudattaen. ^d Pidennetyissä reiässä ruuvien nimellisivälyksen tulee leveys suunnassa olla sama kuin normaaleilla pyöreillä reiillä.								

2.5 Kiepahduskestävyys

Kiepahduksessa taivutetun I-palkin poikkileikkaus kiertyy vääntökeskiönsä ympäri samalla siirtyen sekä y- että z-akseleitten suunnissa. Voidaan ajatella, että palkin kiepahduksessa sen puristettu laippa nurjahtaa. Taivutusmomenttijakauman kannalta kriittisin kiepahdusväli on se, missä taivutusmomentin jakauma on vakio.



Kuvio 2. I-Profiilin kiepahdus (Lepistö ym. 2010, 140).

Kiepahduskestävyys riippuu palkin jännevälstä, poikkileikkausmitoista, neliömomentista, vääntöjäykkyydestä, poikkileikkauksen käristymisjäykkyydestä, palkin tuennasta, kuormituksen aiheuttamasta momenttipinnan muodosta sekä kuormituksen vaikutuksen sijainnista profiilin korkeussuunnassa. Profiilin kiepahduskestävyyttä määrittäessä lasketaan kimmoteorian mukainen kriittinen kiepahdusmomentti M_{cr} , jossa otetaan huomioon edellä mainitut tekijät. Kaksoissymmetriselle poikkileikkaukselle kriittinen kiepahdusmomentti määritetään seuraavasta kaavasta:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k_z L)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2}{\pi^2} \frac{G I_t}{E I_z} + (C_2 Z_g)^2} - C_2 Z_g \right) \quad (16)$$

missä

C_1 on taivutusmomenttikuvion muodon huomioiva kerroin, johon vaikuttaa myös tarkasteluvälin päiden tuenta.

C_2 on kerroin, jolla huomioidaan kuorman vaikutuspisteen sijainti. Myös päiden tuenta vaikuttaa C_2 :n arvoon

L on sivuttaistukien välinen etäisyys

E on kimmomoduuli

G on liukumoduuli

k_z on poikkileikkauksen taivutustasossa tapahtuvan nurjahduksen kriittisen pituuden kerroin, varmalla puolella olevana arvona voidaan käyttää 1,0

k_w on vääntöön liittyvä kriittisen pituuden kerroin, varmalla puolella olevana arvona voidaan käyttää 1,0

I_w on estetyn väännön vakio

I_z on jäyhyysmomentti heikomman akselin (z) suhteen.

I_t on vapaan väännön vakio

z_g on kuorman vaikutuspisteen etäisyys poikkileikkauksen vääntökeskiöstä.

$z_g > 0$, kuormitus profiilin yläpinnassa

$z_g = 0$, kuormitus profiilin painopisteessä

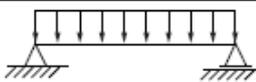
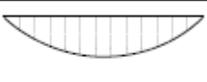
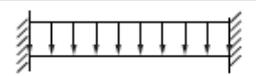
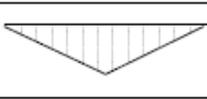
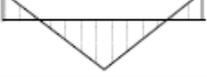
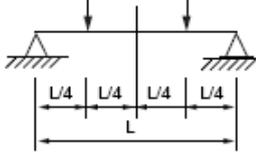
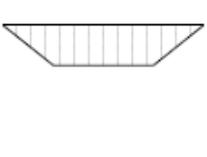
$z_g < 0$, kuormitus profiilin alapinnassa

(Lepistö ym. 2010, 154).

Kiepahdusmomentin määrittäminen etenkin useampiaukkoiselle palkille on vaikea ongelma kiepahdukseen vaikuttavien eri tekijöiden johdosta. Lisäksi viereisen aukon tarjoama jäykkyyttä tarkasteltavalle aukolle ei ole mitenkään helppo määrittää. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota jatkuvan palkin välituen lähellä puristetun alalaipan kiepahduskestävyyteen.

Edellä esitettyssä kaavassa kertoimille C_1 ja C_2 (taulukko 4) on olemassa arvoja muutamille yksiaukkoisille perustapauksille (taulukko 4), mutta yleensä nämä kertoimet on määritettävä tapauskohtaisesti, koska mitään yksiselitteistä kaavaa näiden määrittämiselle ei ole.

Taulukko 4. Tekijöiden C_1 ja C_2 arvot (Lepistö ym. 2010, 154).

Kuormitus ja tukiehdot	Taivutusmomenttipinnan muoto	k	Tekijöiden arvot		
			C_1	C_2	C_3
		1,0 0,5	1,132 0,972	0,459 0,304	0,525 0,980
		1,0 0,5	1,285 0,712	1,562 0,652	0,753 1,070
		1,0 0,5	1,365 1,070	0,553 0,432	1,730 3,050
		1,0 0,5	1,565 0,938	1,267 0,715	2,640 4,800
		1,0 0,5	1,046 1,010	0,430 0,410	1,120 1,890

Tapauksessa, jossa palkin sivuttaistukien välillä on lineaarisesti muuttuva taivutusmomentti ja palkin kiepahdus on estetty sivuttaistukien kohdalla, kerrointa C_2 ei tarvita ja kerroin C_1 voidaan määrittää kaavasta:

$$C_1 = 1,88 - 1,40\Psi + 0,52\Psi^2 \leq 2,70 \quad (17)$$

missä

Ψ on taivutusmomenttien suhde tarkasteluvälin päätepisteissä $-1 \leq \Psi \leq 1$

(Kaitila 2010,65)

Tätä voidaan soveltaa myös pääkannattajana toimivan jatkuvan I-palkin tapaukseen, jossa ylälaipan päälle on kiinnitetty poikittaispalkit, jolloin ylälaippa on tuettu sivusuunnassa kiepahdusta vastaan. Tällöin kriittinen kiepahdusmomentti on tutkittava sekä kenttä- että tukimomentin kohdalla välittämättä palkin jatkuvuudesta. Välituen lähellä oleva puristettu alalaippa ei voi kiepahtaa, vaikka sitä ei ole tuettu sivusuunnassa kiepahdusta vastaan. Selitys tähän löytyy kiepahdusilmiöstä eli alalaipan kiepahtaessa myös ylälaipan tulisi kiepahtaa, koska kiepahdusilmiössä ei esiinny profiilin muodon vääristymistä vaan koko profiili pyörähtää pituussuuntaisen akselin ympäri muotonsa säilyttäen.

Kiepahduskestävyydestä tarkastelun tarpeellisuuden määrittää muunnettu hoikkuus, joka lasketaan kaavasta:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \quad (18)$$

missä

M_{cr} on kriittinen kiepahdusmomentti

W_y on poikkileikkausluokan mukainen taivutusvastus

valssatulle profiilille ei tarvitse tehdä kiepahdustarkastelua, mikäli $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$

Kiepahduskestävyyden mitoitusehto:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (19)$$

missä

M_{Ed} on taivutusmomentin mitoitusarvo

$M_{b,Rd}$ on kiepahduskestävyyden mitoitusarvo

Kiepahduskestävyyden mitoitusarvo, kun poikkileikkausluokka on 1 tai 2:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M_1}} \quad (20)$$

missä

χ_{LT} on kiepahduksen pienennystekijä

γ_{M_1} on kestävyysosavarmuusluku stabiiliuden suhteen.

Kiepahduksen pienennystekijä valssatuille profiileille:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq \begin{cases} 1,0 \\ \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \quad (21)$$

$$\Phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0})] + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2$$

missä

Φ_{LT} on apusuure

$\bar{\lambda}_{LT}$ on muunnettu hoikkuus

α_{LT} on epätarkkuus tekijä (taulukko 5)

β on 0,75

$\bar{\lambda}_{LT,0}$ on 0,4

(SFS-1993-1-1 2006, 66)

Taulukko 5. Kiepahduskäyrien epätarkkuustekijät (SFS-1993-1-1 2006,66).

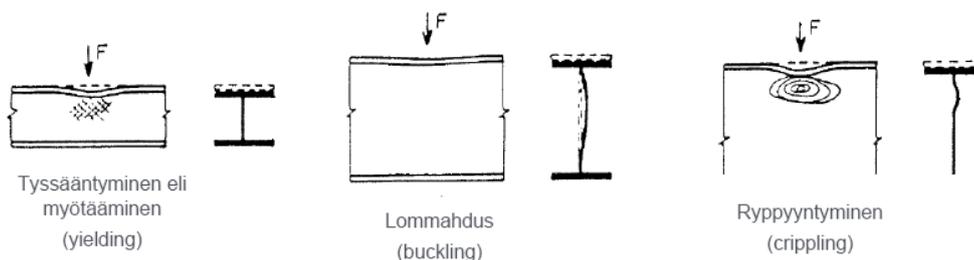
Kiepahduskäyrä	a	b	c	d
Epätarkkuustekijä α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Taulukko 6. Kiepahduskäyrä (SFS-1993-1-1 2006,67).

Poikkileikkaus	Rajat	Kiepahduskäyrä
Valssatut I-profiilit	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
Hitsatut I-profiilit	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

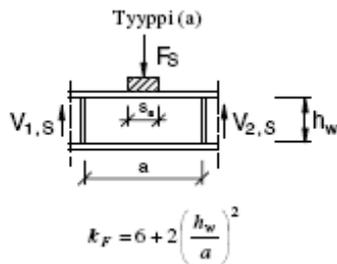
2.6 Pistekuormakestävyys

Pistekuormakestävydessä tarkistetaan uuman kestävyys paikallisten pistekuormien aiheuttamille puristusjännityksille. Mikäli pystysuora puristusjännitys kasvaa riittävän suureksi ja kuorman jakautumisleveys on pieni, uumassa voi tapahtua myötääminen, lommahdus tai ryppyntyminen (kuvio 3). Tällöin uumaa on vahvistettava pistekuorman kohdalta pystyjäkisteellä. Pistekuormakestävyys voidaan määrittää kolmen perustapauksen a,b,c mukaan, joissa otetaan huomioon kuorman vaikutustapa.



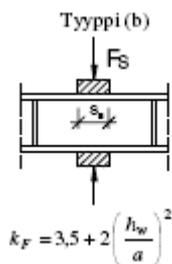
Kuvio 3. Pistekuorman murtotavat. (Eriksson "Ei päiväystä", 25)

Tapauksessa a (kuvio 4) kuorma vaikuttaa yhden laipan kautta ja siirtyy uumaan leikkausvoimien välityksellä eli kuorma vaikuttaa joko ylä- tai alalaipan kautta. Tämä tapaus soveltuu esimerkiksi jatkuvan palkin tapaukseen, jossa palkin välituen tukireaktio vaikuttaa puristettuun alalaippaan tai välipohjapalkilta tuleva pistekuorma vaikuttaa ylälaippaan tukien välissä. Lisäksi on huomioitava leikkausvoiman ja pistekuorman yhteisvaikutus sekä tarvittaessa myös pistekuorman ja taivutusmomentin yhteisvaikutus.



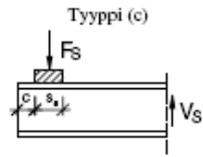
Kuvio 4. Pistekuorman vaikutus, tyyppi a (SFS-1993-1-5 2007,28).

Tapauksessa b (kuvio 5) kuorma vaikuttaa yhden laipan kautta ja siirtyy uuman kautta suoraan toiselle laipalle. Tällöin uumaa rasittaa pistekuorma sekä ylä- että alapuolella ja pistekuormakestävyyskapasiteetti on määritettävä suuremman pistekuorman mukaan. Jatkuvan palkin tapauksessa alapuolen pilarin tukireaktio vaikuttaa puristetun alalaipan kautta, jolloin tarvittaessa myös tukireaktion ja taivutusmomentin yhteisvaikutus on tarkistettava. Yläpuolen pilari puolestaan vaikuttaa vedetyn laipan kautta, jolloin tämän pistekuorman yhteisvaikutus muiden voimasuureiden kanssa tarkistetaan Von Misesin myötöehtokaavan mukaisesti. Edellä mainittujen lisäksi on tarkistettava suuremman pistekuorman ja leikkausvoiman yhteisvaikutus. Tämä tapaus soveltuu kurkihirsitaloihin.



Kuvio 5. Pistekuorman vaikutus, tyyppi b (SFS-1993-1-5 2007,28).

Tapauksessa c (kuvio 6) kuorma vaikuttaa yhden laipan kautta jäykistämättömän sauvan pään lähellä eli kuorma vaikuttaa ulokepalkin ylälaippaan tai palkin alalaippaan vaikuttaa pilarin tukireaktio.



$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) \leq 6$$

Kuvio 6. Pistekuorman vaikutus, tyyppi c (SFS-1993-1-5 2007,28).

Useiden pistekuormien vaikuttaessa lähellä toisiaan, kestävyys tarkistetaan jokaiselle yksittäiselle kuormalle erikseen sekä näiden yhteiskuormalle. Yhteiskuormalle jäykän tukipinnan pituudeksi valitaan äärimmäisten pistekuormien keskipisteiden välinen etäisyys.

Pistekuorman mitoitusehto:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0 \quad (22)$$

missä

F_{Ed} on pistekuorman mitoitusarvo

F_{Rd} on pistekuormakestävyyden mitoitusarvo

Pistekuormakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M_1}} \quad (23)$$

missä

f_{yw} on teräksen nimellinen myötöraja

L_{eff} on tehollinen pituus kuorman suhteen

Tehollinen pituus:

$$L_{eff} = \chi_F l_y \quad (24)$$

missä

χ_F on paikallisen lommahduksen huomioiva pienennystekijä

l_y on jäykän tukipinnan pituuteen s_s liittyvä tehollinen kuormituspituus

Tehollinen kuormituspituus:

$$l_y = s_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \leq a \quad \text{tapaus a ja b} \quad (25)$$

$$l_y = \min \begin{cases} l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2} \\ l_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f}\right)^2 + m_2} \end{cases} \quad \text{tapaus c} \quad (26)$$

$$l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c \quad (27)$$

missä

s_s on jäykän tukipinnan pituus

m_1 on apusuure

m_2 on apusuure

a on viereisten pystyjäykisteiden välinen etäisyys

k_F on lommahduskerroin

E on kimmomoduuli

c on etäisyys palkin päästä tuen reunaan

Apusuureet:

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w} \quad (28)$$

$$m_2 = 0 \quad \text{jos } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \quad (29)$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f}\right)^2 \quad \text{jos } \bar{\lambda}_F \geq 0,5 \quad (30)$$

missä

f_{yf} on laipan teräksen nimellinen myötöraja

b_f on laipan leveys

$\bar{\lambda}_F$ on hoikkuus

Lommahduskerroin:

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 \quad \text{tapaus a} \quad (31)$$

$$k_F = 3,5 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \quad \text{tapaus b} \quad (32)$$

$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) \leq 6 \quad \text{tapaus c} \quad (33)$$

missä a on pystyjäykisteiden välinen etäisyys

s_s on jäykän tukipinnan pituus

c on etäisyys palkin päästä tuen reunaan

Paikallisen lommahduksen huomioiva pienennystekijä:

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1,0 \quad (34)$$

missä

$\bar{\lambda}_F$ on hoikkuus

Hoikkuus:

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} \quad (35)$$

missä

l_y on jäykän tukipinnan pituuteen s_s liittyvä tehollinen kuormituspituus

F_{cr} on kriittinen kuorma

Kriittinen kuorma:

$$F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} \quad (36)$$

missä k_F on lommahduskerroin

E on kimmomoduuli

(SFS-1993-1-5 2007,28-31).

2.6.1 Leikkausvoiman ja pistekuorman yhteisvaikutus

Pistekuorman kohdalla vaikuttavan itseisarvoltaan suuremman leikkausvoiman ja pistekuorman yhteisvaikutus tarkistetaan seuraavan kaavan mukaisesti:

$$\left(\frac{V_{Ed}-0,5F_{Ed}}{V_{b,Rd}}\right)^{1,6} + \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0 \quad (37)$$

missä V_{Ed} on leikkausvoiman mitoitusarvo

F_{Ed} on pistekuorman mitoitusarvo

F_{Rd} on pistekuormakestävyyden mitoitusarvo

$V_{b,Rd}$ on uuman leikkauskestävyyden mitoitusarvo

(Teräsrakenneyhdistys 2011, 2).

2.6.2 Taivutusmomentin ja pistekuorman yhteisvaikutus

Pistekuorman vaikuttaessa puristetun laipan kautta taivutusmomentin ja pistekuorman yhteisvaikutus on tarkistettava, mikäli pistekuorma ylittää 60% pistekuormakestävyydestä. Tällainen tilanne voi tulla kyseeseen perustapauksissa a ja b, kun on kyseessä jatkuvan palkin välituki.

Yhteisvaikutuksessa tarkistetaan seuraavat kaikki kolme ehtoa:

$$\eta_2 + 0,8\eta_1 \leq 1,4 \quad (38)$$

$$\eta_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (39)$$

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0 \quad (40)$$

missä F_{Ed} on pistekuorman mitoitusarvo

F_{Rd} on pistekuormakestävyyden mitoitusarvo

M_{Ed} on taivutusmomentin mitoitusarvo

$M_{c,Rd}$ on taivutuskestävyyden mitoitusarvo

(Lepistö ym. 2010, 213).

Jos pistekuorma on enintään 60% pistekuormakestävydestä, ei yhteisvaikutuseh-
toa (38) tarvitse tutkia.

2.6.3 Taivutusmomentin, pistekuorman ja leikkausvoiman yhteisvaikutus

Pistekuorman vaikuttaessa vedetyn laipan kautta pistekuorman, taivutusmomentin ja leikkausvoiman aiheuttamien jännitysten yhteisvaikutus tarkastetaan von Misesin myötöehtoon perustuen, koska etumerkkisäännöistä johtuen nämä kaikki jännitykset voimistavat toisiaan (Lepistö ym. 2010, 213). Tällainen tilanne tulee kyseeseen perustapauksessa b, jossa esimerkiksi jatkuvan palkin välituella yläpuolen pilari vaikuttaa vedetyn laipan kautta.

Pistekuorma aiheuttaa laipan kautta uumaan puristavan poikittaisjännityksen, jonka maksimi arvo vaikuttaa laipan ja uuman yhtymäkohdassa, minkä jälkeen jännitys pienenee nopeasti (Lepistö ym. 2010, 207). Koska kyseessä on puristava jännitys, arvo otetaan positiivisena von Misesin myötöehtoon. Taivutusmomentti puolestaan aiheuttaa palkkiin pituussuuntaisen vetojännityksen, jonka maksimiarvo on palkin reunalla. Koska kyseessä on vetojännitys, arvo otetaan negatiivisena von Misesin myötöehtoon. Lisäksi pistekuorman kohdalla vaikuttava leikkausvoima aiheuttaa palkkiin leikkausjännityksen, jonka maksimiarvo vaikuttaa palkin neutraaliakselin kohdalla. Neutraaliakselin kohdalla pituussuuntainen jännitys on kuitenkin nolla ja poikittaisen jännityksen arvo on oleellisesti pienentynyt, joten kriittiseksi tarkastelukohdaksi muodostuu laipan ja uuman yhtymäkohta. Von Misesin myötöehtoon leikkausjännitys lasketaan itseisarvoltaan suuremman leikkausvoiman mukaan.

Yhteisvaikutus von Misesin myötöehdosta:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M_0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M_0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M_0}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M_0}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M_0}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (41)$$

missä

$\sigma_{x,Ed}$ on pituussuuntaisen jännityksen mitoitusarvo

$\sigma_{z,Ed}$ on poikittaisen jännityksen mitoitusarvo

τ_{Ed} on leikkausjännityksen mitoitusarvo

(SFS-1993-1-1 2006, 48).

Pituussuuntainen jännitys lasketaan kaavasta:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{M_{Ed}}{I_y} z \quad (42)$$

missä M_{Ed} on taivutusmomentin mitoitusarvo
 I_y on jäyhyysmomentti y-akselin suhteen
 z on etäisyys neutraaliakselista

(Karhunen ym. 2006, 93)

Poikittaissuuntainen jännitys lasketaan kaavasta:

$$\sigma_{z,Ed} = \frac{F_{Ed}}{b_{eff}(t_w + a_{st,1})} \quad (43)$$

missä

F_{Ed} on pistekuorman mitoitusarvo
 b_{eff} on jännityksen jakaumaleveys
 $a_{st,1}$ on pistekuorman kohdalla sijaisevien mahdollisten poikittaisjäykisteiden pinta-ala, joka levitetään matkalle s_e

Jännityksen jakaumaleveys:

$$b_{eff} = s_e \sqrt{1 + \left(\frac{z}{s_e n}\right)^2} \quad (44)$$

missä

s_e on poikittaisen jännityksen vaakasuuntainen leveys uuman ja laipan yhtymäkohdassa
 z on etäisyys laipasta
 n on apusuure

Poikittaisen jännityksen vaakasuuntainen leveys uuman ja laipan yhtymäkohdassa:

$$s_e = s_s + 2t_f \quad (45)$$

missä

s_s on jäykän tukipinnan pituus

Apusuure n:

$$n = 0,636 \sqrt{1 + \frac{0,878 a_{st,1}}{t_w}} \quad (46)$$

missä

$a_{st,1}$ on pistekuorman kohdalla sijaisevien mahdollisten poikittaisjäykisteiden pinta-ala, joka levitetään matkalle s_e

(SFS-1993-1-5 2007,12).

Leikkausjännitys lasketaan seuraavasti:

$$\tau = \frac{V_{Ed} S_y}{b I_y} \quad (47)$$

missä

V_{Ed} on leikkausvoiman mitoitusarvo

S_y on tarkastelukohdan staattinen momentti neutraaliakselin suhteen

b on poikki­pinnan leveys tarkastelukohdassa

I_y on jäyhyysmomentti y-akselin suhteen

(Karhunen ym. 2006, 100)

3 LIITOSTEN MITOITUS

Palkin mitoituksen toimiva kokonaisuus muodostuu palkin kestävyiden ja liitosten mitoituksesta. Siksi tärkeä osa palkkien mitoituksen yhteydessä on tarkastella myös liitoksen kestävyys eli kuinka palkki saadaan liitettyä tukirakenteeseen. Palkin kestävyiden kannalta palkin aukkomitta voi olla huomattavan pitkä, jolloin tukireaktiot palkin päässä voi kasvaa suureksi. Tällöin liitoksen kestävyys voi olla rajoittava tekijä ja palkin aukkomittana on käytettävä mitta, jolla palkin päässä oleva tukireaktion arvo rajoitetaan pienemmäksi kuin liitoksen kestävyys. Tässä työssä teräspalkit liitetään puurakenteisiin, joten liitoksissa on tutkittava sekä puu- että teräsosien kestävyys. Liitoksissa puun kestävyttä rajoittavana tekijänä on usein syitä vastaan kohtisuora puristuskestävyys. Seuraavissa kappaleissa on käyty läpi tässä työssä tarvittavia laskentasääntöjä liitosten mitoitukseen.

3.1 Teräksen puristuskestävyys

Puristuskestävyyden mitoitusehto:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad (48)$$

missä

N_{Ed} on puristusvoiman mitoitusarvo

$N_{c,Rd}$ on poikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusarvo

Poikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusarvo keskeiselle tasaiselle puristukselle lasketaan seuraavasti, kun poikkileikkausluokka on 1,2 tai 3:

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma M_0} \quad (49)$$

missä

A on poikkileikkauksen pinta-ala

(SFS-1993-1-1 2006, 53).

3.2 Teräksen vetokestävyys

Liitoksen vetokestävyuden tarkastelu tulee suorittaa sekä brutto- että nettopoikkileikkauksen mukaan ja vetokestävyys määräytyy näistä pienemmän arvon mukaisesti.

Vetokestävyuden mitoitusehto:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad (50)$$

missä N_{Ed} on vetovoiman mitoitusarvo

$N_{t,Rd}$ on poikkileikkauksen vetokestävyuden mitoitusarvo

Bruttopoikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen vetokestävyuden mitoitusarvo:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma M_0} \quad (51)$$

Nettopoikkileikkauksen vetokestävyuden mitoitusarvo kiinnittimien reikien kohdalla:

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma M_2} \quad (52)$$

missä

A_{net} on poikkileikkauksen nettopinta-ala vaarallisimman leikkauksen kohdalla

(SFS-1993-1-1 2006,52).

3.3 Reunapuristuslujuus teräkselle

Reunapuristuslujuus vaikuttaa liitettävän osan ja liittimen välillä, jolloin liitin aiheuttaa liitettävän osan materiaaliin reunapuristuslujuuden suuruisen jännityksen. Mikäli reunapuristuslujuus ei ole riittävä, paine aiheuttaa liittimen murtumisen.

Reunapuristuskestävyyden mitoitusehto:

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd} \quad (53)$$

missä

$F_{v,Ed}$ on leikkausvoiman mitoitusarvo

$F_{b,Rd}$ on reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo

Reunapuristuslujuuden mitoitusarvo ruuvia kohti:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma M_2} \quad (54)$$

missä

f_u on teräksen nimellinen vetomurtolujuus

d on ruuvin halkaisija

t on tarkasteltavan levyosan paksuus

k_1 on kerroin voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa

α_b on kerroin voiman suunnassa

Kerroin k_1 ja α_b , kun tarkasteltavassa levyosassa on veto lasketaan seuraavasti:

$$k_1 = \min \begin{cases} 2,5 \\ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{cases} \quad \text{reunarivin ruuveille} \quad (55)$$

$$k_1 = \min \begin{cases} 2,5 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{cases} \quad \text{muille kuin pään ruuveille} \quad (56)$$

$$\alpha_b = \min \begin{cases} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3d_0} \end{cases} \quad \text{levyn pään ruuvit} \quad (57)$$

$$\alpha_b = \min \begin{cases} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \end{cases} \quad \text{muille kuin pään ruuveille} \quad (58)$$

missä

e_1 on ruuvin päätyetäisyys

e_2 on ruuvin reunaetäisyys

p_1 on ruuvin keskiöväli voiman suunnassa

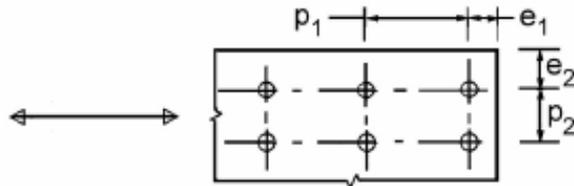
p_2 on ruuvin keskiöväli voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa

d_0 on reiän halkaisija

f_u on teräksen nimellinen vetomurtolujuus

f_{ub} on ruuvin murtolujuus

(SFS-1993-1-8 2006, 28).



Kuvio 7. Kiinnittimien etäisyyksien merkinnät (SFS-1993-1-8 2006,25).

Taulukko 7. Kiinnittimien keskiövälit, pääty- ja reunaetäisyydet (SFS-1993-1-8 2006, 24).

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

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

- puristetussa rakenteosissa paikallisen lommahduksen ja korroosion välttämiseksi korroosiorasituksen alaisena ja;
- korroosiorasitukselle alttiit vedetyt rakenneosat korroosion välttämiseksi.

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

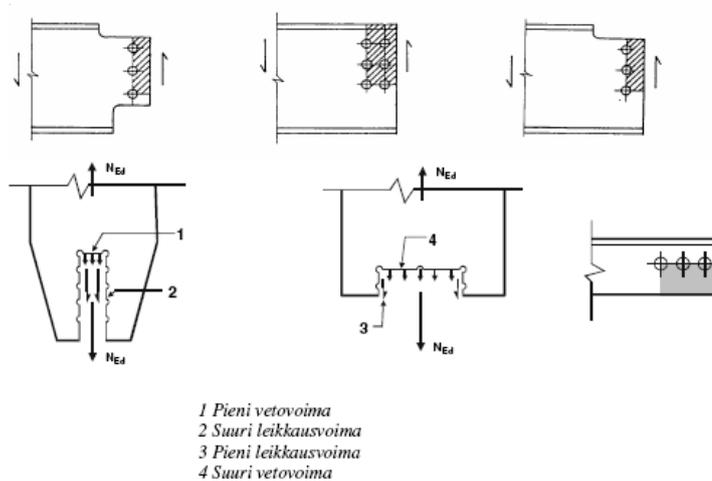
3) t on uloimman liitettävän osan pienempi paksuus.

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

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

3.4 Palamurtuminen teräkselle

Palamurtuminen voi määrätä liitoksen kestävyuden. Palamurtuminen koostuu perusaineen leikkausmurtumisesta leikkauksen rasittamassa leikkauspinnassa, johon liittyy perusaineen vetomurtuminen vedon rasittamassa pinnassa. Murtuminen tapahtuu ruuvien keskilinjoja pitkin, joten ruuvien keskiöväleillä on suora vaikutus palamurtumiskestävyteen. Ruuvien keskiövälejä kasvattamalla vedon ja leikkauksen rasittamat nettopinta-alat suurenevät, jolloin palamurtumiskestävyys suurenee.



Kuvio 8. Palamurtuminen. (SFS-1993-1-8 2006, 35).

Palamurtumiskestävyuden mitoitusehto, kun symmetriseen ruuviryhmään kohdistuu keskeinen kuorma:

$$F_{v,Ed} \leq V_{eff,1,Rd} \quad (59)$$

missä

$F_{v,Ed}$ on leikkausvoiman mitoitusarvo

$V_{eff,1,Rd}$ on palamurtumiskestävyuden mitoitusarvo

Palamurtumiskestävyuden mitoitusarvo, kun symmetriseen ruuviryhmään kohdistuu keskeinen kuorma:

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u A_{nt}}{\gamma M_2} + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{f_y A_{nv}}{\gamma M_0} \quad (60)$$

missä

A_{nt} on vedon rasittama nettopinta-ala

A_{nv} on leikkauksen rasittama nettopinta-ala

(SFS-1993-1-8 2006, 34).

3.5 Teräksen ja puun välinen pulttiliitos

Teräspalkit liitetään liimapuupalkin kylkeen ja seinään kansiruuveilla teräslevystä, joka on hitsattu teräspalkin päähän. Koska liitoksessa on kyseessä teräksen ja puun välinen liitos ja käytetään kansiruuveja joiden halkaisija on suurempi kuin 6 mm, ruuviliitoksen kestävyys mitoitetaan teräksen ja puun välisen pulttiliitoksen sääntöjen mukaan.

Liitoksen mitoituskestävyys:

$$R_d = \frac{k_{mod} R_k}{\gamma_M} \quad (61)$$

missä

k_{mod} on liitospuun aikavaikutuskerroin

R_k on pulttiliitoksen leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettä kohden

γ_M on liitospuun materiaaliosavarmuusluku

(RIL 205-1-2009, 95).

Kun yksileikkeisen liitoksen toinen liitettävä osa on teräslevy, jonka paksuus on $t_t \geq d$, leikkauskestävyyden ominaisarvo leikettä kohti:

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_h t d \\ 1,3 f_h t d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_y}{f_h d t^2}} - 1 \right] \\ 3\sqrt{M_y f_h d} \end{array} \right. \quad (62)$$

missä

f_h on puun reunapuristuslujuuden ominaisarvo

t on ruuvien tunkeuma puuhun

d on pultin paksuus

M_y on pultin myötömomentti

(RIL 205-1-2009, 113).

Puun reunapuristuslujuus kulmassa α syysuuntaan nähden:

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,o,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (63)$$

$$f_{h,o,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k \quad (64)$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d \quad \text{havupuulle} \quad (65)$$

missä

d on pultin paksuus

ρ_k on puun ominaistiheys

Pultin myötömomentti:

$$M_y = 0,3f_{u,k}d^{2,6} \quad (66)$$

missä d on pultin paksuus

$f_{u,k}$ on pultin vetomurtolujuuden ominaisarvo

(RIL 205-1-2009, 114).

Lisäksi liitoksessa on huomioitava myös, että reunaetäisyydet täyttyvät sekä teräslevyn että puun osalta. Teräksen reunaetäisyydet käsiteltiin teräksen reunapuristuslujuuden laskennan yhteydessä ja puun reunaetäisyydet saadaan taulukosta 8.

Taulukko 8. Pulttien keskiövälit, pääty- ja reunaetäisyydet (Puuinfo 2011, 38).

Pulttien liitinvälit sekä reuna- ja päätyetäisyydet (ks. kuvaa 8.7)	Kulma	Pulttien liitinvälien tai reuna- tai päätyetäisyyksien vähimmäisarvot
a_1 (syysuuntaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (syysuuntaa vastaan kohtisuoraan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (kuormitettu pää)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max \{7 d; 80 \text{ mm}\}$
$a_{3,c}$ (kuormittamaton pää)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max \{(1+6 \sin \alpha) d; 4 d\}$ $4 d$ $\max \{(1+6 \sin \alpha) d; 4 d\}$
$a_{4,t}$ (kuormitettu reuna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max \{(2 + 2 \sin \alpha) d; 3 d\}$
$a_{4,c}$ (kuormittamaton reuna)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

3.6 Puun halkeamiskestävyys

Puun vetolujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa on pieni. Tästä johtuen tehtäessä ripustusliitoksia liimapuupalkin kylkeen liitoksen mitoituksen lisäksi tulisi tarkistaa myös liimapuun halkeamiskestävyys. Suunnitteluohjeissa esitetyt liitinten minimivälit ja reunaetäisyysvaatimukset eivät takaa, että puun halkeamiskestävyys on riittävä, kun nämä ehdot täyttyvät. Erityisesti palkin alareunaan vetoalueelle tehtävässä ripustusliitoksessa liitoksen liitosvoimat voivat halkaista puun. Ripustusliitokset tulisi sijoittaa palkin puristusalueelle mahdollisimman lähelle palkin yläreunaa, jolloin liitoksen suhteellinen kapasiteetti halkeilun suhteen kasvaa.

Halkeamiskestävyuden mitoitusehto:

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,d} \quad (67)$$

missä

$F_{v,Ed}$ on puun syitä vastaan kohtisuora leikkausvoima

$F_{90,d}$ on halkeamiskestävyuden mitoitusarvo

Halkeamiskestävyuden mitoitusarvo:

$$F_{90,d} = \frac{k_{mod} F_{90,k}}{\gamma_M} \quad (68)$$

missä

$F_{90,k}$ on halkeamiskestävyuden ominaisarvo

Halkeamiskestävyuden ominaisarvo:

$$F_{90,k} = 14b \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (69)$$

missä

b on puun paksuus

h on puun korkeus

h_e on etäisyys kuormitetusta reunasta kauimmaiseen liitimeen

(RIL 205-1-2009, 96).

3.7 Teräslevyn hitsauksen mitoitus

Hitsisauma mitoitetaan kylkipienahitsin yksinkertaistetun menetelmän mukaan, joka saadaan seuraavasta kaavasta:

$$a \geq \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\beta_M \gamma_{M2}}{f_u L_w} F_{Ed} \quad (70)$$

missä

a on hitsin a -mitta

β_M on hitsin korrelaatiokerroin

f_u on teräksen nimellinen vetomurtolujuus

L_w on hitsisauman pituus

γ_{M2} on kestävyuden osavarmuusluku vetomurtumisen suhteen

F_{Ed} on leikkausvoiman mitoitusarvo

Lisäksi on huomioitava, että $a \geq 3$ mm

(Kaitila 2010, 107).

3.8 Syitä vastaan kohtisuora puristuslujuus

Syitä vastaan kohtisuoran puristuslujuuden mitoitusarvo saadaan kaavasta:

$$k_{c,t} f_{c,90,d} \quad (71)$$

$$\text{missä } f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \quad (72)$$

missä

$f_{c,90,k}$ on puristuslujuuden ominaisarvo syitä vastaan kohtisuorassa puristuksessa

k_{mod} on puun aikavaikutuskerroin

γ_M on puun materiaaliosavarmuusluku

$k_{c,t}$ on tukipainekerroin

Tukipainekerroin lasketaan kaavasta:

$$k_{c,t} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} k_{c,90} \quad (73)$$

missä

$l_{c,90,ef}$ on tehollinen kosketuspinnan pituus

l on kosketuspinnan pituus puun syiden suunnassa

$k_{c,90}$ on 1,25 havupuisella sahatavaralla

(RIL 205-1-2009, 66).

4 VÄLIPOHJAN TERÄSPALKKIEN MITOITUS

4.1 Lähtökohta mitoitukseen

Ensimmäisenä mitoituskohteena oli tutkia välipohjapalkkien välitukena toimivan teräspalkin mitoitusta (LIITE2). Mitoituksella tuli selvittää sekä 1- että 2-aukkoisten palkkien maksimi jännevälit kuudelle talon sisämitalle ja kahdelle välipohjarakenteelle. Tutkittavat talon sisämitat olivat 7500–9000 mm, joita merkittiin laskentatuloissa 75M–90M.

Alustavan tutkinnan jälkeen välipohjan teräspalkiksi valittiin käytettäväksi IPE300-palkki. Valinta tehtiin tutkimalla 1-aukkoisia palkkeja jatkuvalla kuormalla, jolloin saatiin alustavaa tietoa palkkien jännemitoista. Lisäksi valintaan vaikutti se, että palkit pitäisi pystyä liittämään kantavaan väliseinään, jonka leveys on 148 mm eli palkin maksimileveys voisi olla korkeintaan 150 mm.

4.2 Mitoituksen kulku

Mitoituksessa hyödynnettiin ilmaista statiikkaohjelmaa, josta saatiin palkin taivutusmomentti- ja leikkausvoima-arvojen lisäksi myös taipuma. Palkin taipuman arvoksi sallittiin maksimissaan 10 mm, koska tätä suurempi taipuma voisi aiheuttaa ongelmia rakenteissa. Mitoitusohjelma muodosti tarvittavat kuormitusyhdistelmät käyttäjän syöttämien ominaisarvojen mukaisesti.

Pistekuorman ja leikkausvoiman yhteisvaikutus tutkittiin 2-aukkoisella palkilla ainoastaan välituella, koska välipohjapalkeilta tulevat pistekuormat ovat niin pieniä, että näiden yhteisvaikutus ei tule määrääväksi. Kiepahdustarkastelussa kerroin C_1 voitiin määrittää kaavasta $C_1=1,88-1,40\psi+0,52\psi^2$, mutta kiepahdusmomentti laskettiin arvolla $C_1=1$, joka antaa määräävimmän tuloksen eli suurimman hoikkuuden arvon. Näin taivutusmomenttikuviota ei tarvinnut tutkia tarkemmin, koska kiepahdustarkastelua ei tarvinnut tehdä tällä pahimmalla arvollakaan ja voitiin todeta, että kiepahdus ei tullut kestävyyttä rajoittavaksi tekijäksi.

Mitoituksessa tuli huomioida hyötykuorman liikkuvuus 2-aukkoisilla palkeilla eli hyötykuorma vaikutti koko palkin matkalla tai vain toisessa aukossa. Välituen suurin tukimomentti, leikkausvoima ja tukireaktio aiheutuivat, kun hyötykuorma vaikutti koko palkin matkalla. Taipuma, leikkausvoima ja tukireaktio palkin päässä sekä kenttämomentin suurin arvo aiheutui, kun hyötykuorma vaikutti tutkittavassa aukossa. Lisäksi rasituksiin vaikutti tietenkin aukkojen mitat, joten mittoja muutettiin järjestelmällisesti suurimpien arvojen selvittämiseksi, lyhyemmän aukon pienimmäksi mitaksi otettiin 2500 mm. Mitoituksen kannalta suurimmat leikkausvoiman ja taivutusmomentin arvot olivat välituen kohdalla. Taulukon välituen arvot laskettiin taipuman kannalta suurimmilla mahdollisilla aukkomitoilla, jotta nähtiin kasvavatko rasitukset niin suureksi, että palkin pituutta on rajoitettava. Esimerkiksi sisämitalla 75M palkin mitta oli 12000 mm. Taulukon päätytuen tukireaktio laskettiin pahimman aukkoyhdistelmän mukaan.

Laskentatuloksista on esitetty esimerkkilaskelma sekä 1 että 2-aukkoiselle palkille, mutta muuten laskentatulokset on ainoastaan taulukoitu. Laskennan nopeuttamiseksi tehtiin laskentapohjia exceliin, joita voidaan hyödyntää myös jatkossa.

4.2.1 Teräspalkille tulevat kuormitukset.

Teräspalkille tulevat kuormitukset laskettiin Finnwood 2.3 SR1-ohjelmalla. Välipohjapalkit menevät jatkuvina teräspalkin yli 600 mm:n välein ja tällöin teräspalkin sijainnilla suhteessa talon keskilinjaan on vaikutusta teräspalkille tulevaan kuormitukseen. Niinpä kuormien laskenta suoritettiin siten, että teräspalkki voi olla 1000mm sivussa talon keskilinjasta, jolloin palkille tuleva kuormitus on hiukan isompi kuin talon keskilinjalla sijaitsevalla palkilla. Alla on tutkittavien välipohjarakenteiden ominaisarvot sekä niiden perusteella lasketut välipohjapalkkien tukireaktiot.

Kipsivalulattia 50 mm: Omapaino: Lattia $1,40 \text{ kN/m}^2$ + väliseinät: $0,30 \text{ kN/m}^2$
Hyötykuorma: $2,00 \text{ kN/m}^2$

Kipsilevylattia: Omapaino: Lattia $0,80 \text{ kN/m}^2$ + väliseinät: $0,30 \text{ kN/m}^2$
Hyötykuorma: $2,00 \text{ kN/m}^2$

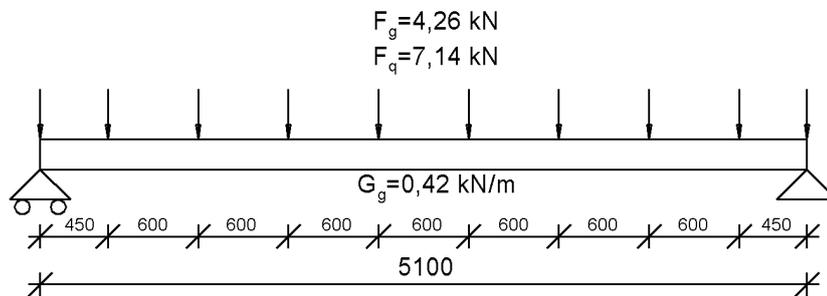
Taulukko 9. Välipohjapalkkien tukireaktiot kipsivalulattialla

Omapaino Hyötykuorma			
75M	5,44	6,07	kN
78M	5,63	6,29	kN
81M	5,82	6,49	kN
84M	6,02	6,71	kN
87M	6,21	6,92	kN
90M	6,40	7,14	kN

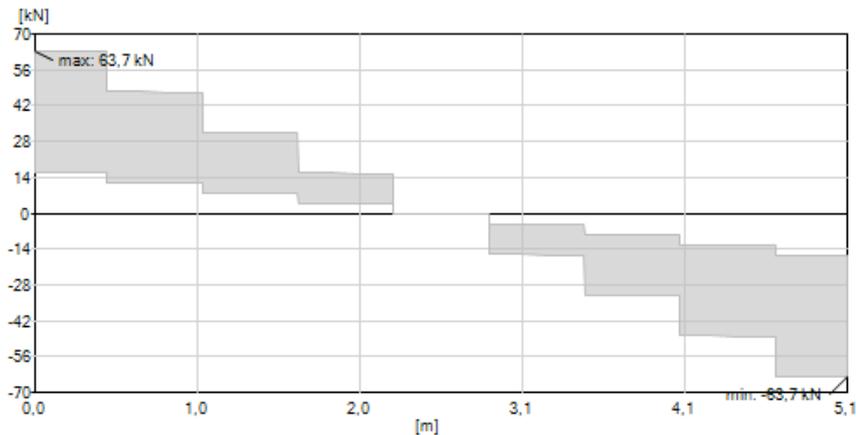
Taulukko 10. Välipohjapalkkien tukireaktiot kipsilevylattialla

Omapaino Hyötykuorma			
75M	3,62	6,07	kN
78M	3,75	6,29	kN
81M	3,87	6,49	kN
84M	4,00	6,71	kN
87M	4,13	6,92	kN
90M	4,26	7,14	kN

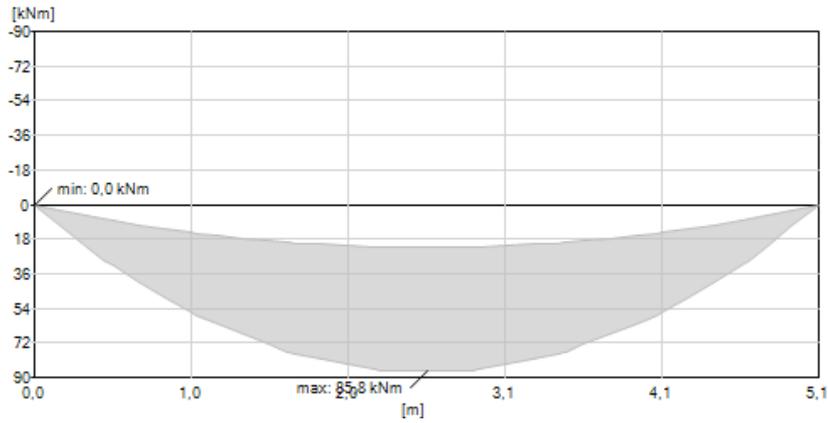
4.2.2 1-aukkoisen palkin laskentaesimerkki, sisämitta 90M, kipsilevylattia



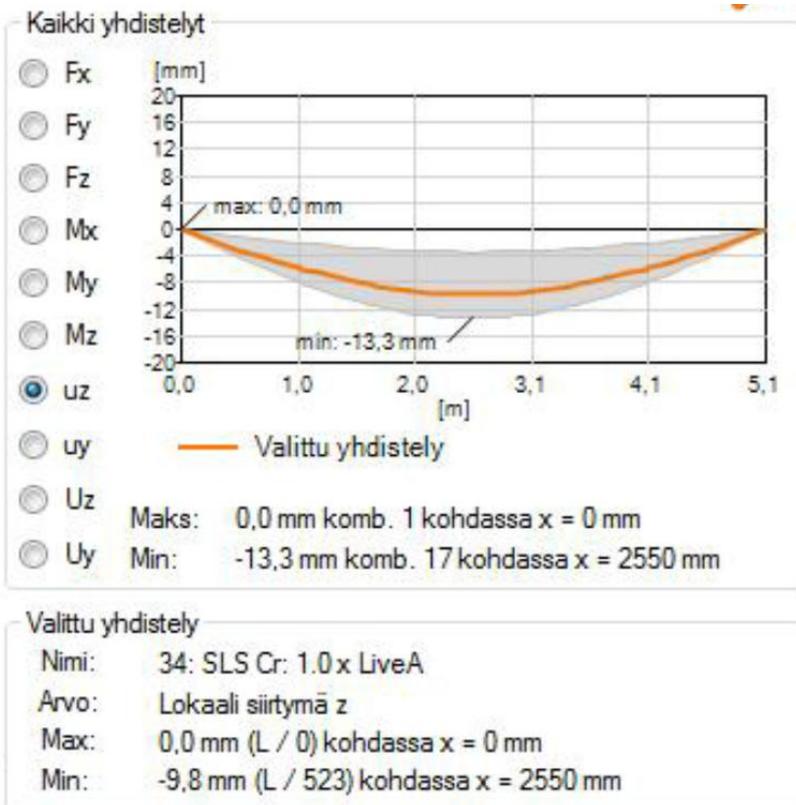
Kuvio 9. Palkin staattinen malli



Kuvio 10. Leikkausvoimakuvio



Kuvio 11. Taivutusmomenttikuvio



Kuvio 12. Palkin taipuma

1. Palkin lähtötiedot:

IPE300, Teräslaji S355, Poikkileikkausluokka 1

2. Taivutuskestävyys

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl}f_y}{\gamma M_0} = \frac{1019000 \text{ mm}^3 * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 361,7 \text{ kNm} \rightarrow \frac{96,3 \text{ kNm}}{361,7 \text{ kNm}} * 100\% = 26,6\% \text{ OK!!!}$$

3. Leikkauskestävyys

$\frac{h_w}{t_w} = \frac{278,6 \text{ mm}}{7,1 \text{ mm}} = 39,24$ ja $72 \frac{\epsilon}{\eta} = 72 * 0,81 = 58,32 \rightarrow 39,24 < 58,32 \rightarrow$ Leikkauslommelomitus ei rajoita leikkauskestävyyttä

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma M_0} = \frac{2570 \text{ mm}^2 * \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3}}}{1,0} = 526,7 \text{ kN} \rightarrow \frac{63,7 \text{ kN}}{526,7 \text{ kN}} * 100\% = 12,1\% \text{ OK!!!}$$

4. Taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutus

Yhteisvaikutus tarkistettava, jos leikkausvoima on suurempi kuin puolet leikkauskestävyydestä.

$$0,5 * 526,7 \text{ kN} = 263,4 \text{ kN} \rightarrow 63,7 \text{ kN} < 263,4 \text{ kN} \rightarrow \text{Ei tarkistusta}$$

5. Kiepahduskestävyys

Kriittinen kiepahdusmomentti:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2}{\pi^2} \frac{GI_t}{EI_z} + (C_2 Z_g)^2} - C_2 Z_g \right)$$

$$M_{cr} = 1,0 * \frac{\pi^2 * 210000 * 6040000}{(600)^2} * \sqrt{\frac{126 * 10^9}{6040000} + \frac{(600)^2}{\pi^2} * \frac{81000 * 201000}{210000 * 6040000}} = 5078552867 \text{ Nmm}$$

Muunnettu hoikkuus:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{628000 \text{ mm}^2 * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{5078552867 \text{ Nmm}}} = 0,210 < 0,4 \rightarrow \text{Ei kiepahdustarkastelua.}$$

6. Pistekuormakestävyys palkin päässä

Kyseessä on tapaus c. Kestävyys tutkittiin pienimmällä pilarikoolla 140x140 mm.

Lommahduskerroin

$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) \leq 6 = 2 + 6 \left(\frac{140 \text{ mm} + 0}{278,6 \text{ mm}} \right) = 5,02 < 6 \text{ OK!!!}$$

Apusuureet

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w} = \frac{150 \text{ mm}}{7,1 \text{ mm}} = 21,13$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 = 0,02 * \left(\frac{278,6 \text{ mm}}{10,7 \text{ mm}} \right)^2 = 13,56 \quad (\lambda_F \geq 0,5)$$

Tehollinen kuormituspituus

$$l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c = \frac{5,02 * 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * (7,1 \text{ mm})^2}{2 * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 278,6 \text{ mm}} = 268,6 > 140 + 0 \rightarrow l_e = 140$$

$$l_y = \min \left\{ \begin{array}{l} l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2} \\ l_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f} \right)^2 + m_2} \end{array} \right.$$

$$l_y = \min \left\{ \begin{array}{l} 140 \text{ mm} + 10,7 \text{ mm} \sqrt{21,13 + 13,56} = 203 \text{ mm} \\ 140 \text{ mm} + 10,7 \text{ mm} \sqrt{\frac{21,13}{2} + \left(\frac{140}{10,7} \right)^2 + 13,56} = 289,5 \text{ mm} \end{array} \right. \rightarrow l_y = 203 \text{ mm}$$

Kriittinen kuorma

$$F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 * 5,02 * 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \frac{(7,1 \text{ mm})^3}{278,6 \text{ mm}} = 1218875,8 \text{ N}$$

Hoikkuus

$$\lambda_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{203 \text{ mm} * 7,1 \text{ mm} * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1218875,8 \text{ N}}} = 0,648 > 0,5 \rightarrow \text{alkuarvaus oikein}$$

Pienennystekijä

$$\chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} \leq 1,0 = \frac{0,5}{0,648} = 0,771 < 1,0 \text{ OK!!!}$$

Tehollinen pituus

$$L_{\text{eff}} = \chi_F l_y = 0,771 * 203\text{mm} = 156,5 \text{ mm}$$

Pistekuormakestävyys

$$F_{\text{Rd}} = \frac{f_{yw} L_{\text{eff}} t_w}{\gamma_{M_1}} = \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 156,5\text{mm} * 7,1\text{mm}}{1,0} = 394,4 \text{ kN} \rightarrow \frac{79,3 \text{ kN}}{394,4 \text{ kN}} * 100\% = 20,2\% \text{ OK!!!}$$

7. Taipuma

$$\frac{L}{300} = \frac{5100\text{mm}}{300\text{mm}} = 17,0 \text{ mm} \rightarrow \frac{9,8\text{mm}}{17,0\text{mm}} * 100\% = 57,7\% \text{ OK!!!}$$

9. Vedetyn laipan reikien vaikutus taivutuskestävyyteen.*Naulan halkaisija 5 mm**Laipan vetojännitys nettopoikkileikkauksessa*

$$\frac{0,9 A_{f,\text{net}} f_u}{\gamma_{M_2}} = \frac{0,9 * (150\text{mm} - 2 * 5\text{mm}) * 10,7 \text{ mm} * 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,25} = 550 \text{ N}$$

Laipan vetojännitys bruttopoikkileikkauksessa

$$\frac{A_f f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{150\text{mm} * 10,7 \text{ mm} * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 569,7 \text{ N}$$

Ehto:

$$\frac{0,9 A_{f,\text{net}} f_u}{\gamma_{M_2}} \geq \frac{A_f f_y}{\gamma_{M_0}} \rightarrow 550 \text{ N} < 569,7 \text{ N} \rightarrow \text{Reiät huomioitava taivutuskestävyydessä}$$

Taivutuskestävyyden pienennyskerroin

$$k_{\text{net}} = 0,9 \frac{\gamma_{M_0}}{\gamma_{M_2}} * \frac{f_u}{f_y} * \frac{A_{f,\text{net}}}{A_f} \leq 1,0 \rightarrow 0,9 * \frac{1,0}{1,25} * \frac{510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} * \frac{1498\text{mm}^2}{1605\text{mm}^2} = 0,965 < 1 \text{ OK!!!}$$

Taivutuskestävyyden mitoitusarvo nettopoikkileikkaukselle

$$M_{\text{net,c,Rd}} = k_{\text{net}} M_{\text{c,Rd}} = 0,965 * 222,9 \text{ kNm} = 215,1 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow \frac{85,8 \text{ kNm}}{215,1 \text{ kNm}} * 100\% = 39,9\%$$

4.2.3 1-aukkoisen palkin laskentatulokset, kipsilevylattia

Taulukko 11. Palkin taipuma, voimasuureet. 1-aukkoinen palkki, kipsilevylattia

	Palkin mitta	Taipuma	V_{ed}	M_{ed}	Tukireaktio
75M	5300 mm	9,6 mm	54,3 kN	78,6 kNm	67,7 kN
78M	5300 mm	10,0 mm	56,3 kN	81,4 kNm	70,0 kN
81M	5200 mm	9,6 mm	58,0 kN	81,1 kNm	72,2 kN
84M	5200 mm	9,9 mm	59,9 kN	83,7 kNm	74,6 kN
87M	5100 mm	9,5 mm	61,7 kN	83,3 kNm	76,9 kN

Taulukko 12. Palkin kestävyystulokset. 1-aukkoinen palkki, kipsilevylattia

	Palkin mitta	Taipuma	V_{Ed}/V_{c,Rd}	M_{Ed}/M_{c,Rd}	Päätytuki F_{Ed}/F_{Rd}
75M	5300 mm	54,3 %	10,3 %	36,5 %	17,2 %
78M	5300 mm	56,6 %	10,7 %	37,9 %	17,7 %
81M	5200 mm	55,4 %	11,0 %	37,7 %	18,3 %
84M	5200 mm	57,1 %	11,4 %	38,9 %	18,9 %
87M	5100 mm	55,9 %	11,7 %	38,7 %	19,5 %

4.2.4 1-aukkoisen palkin laskentatulokset, kipsivalulattia

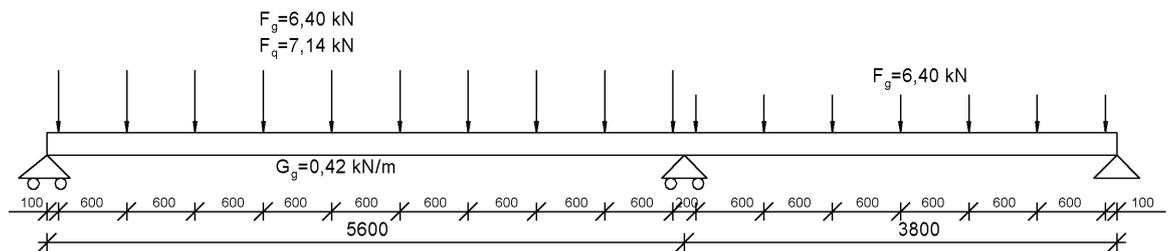
Taulukko 13. Palkin taipuma, voimasuureet, 1-aukkoinen palkki, kipsivalulattia

	Palkin mitta	Taipuma	V_{ed}	M_{ed}	Tukireaktio
75M	5100 mm	9,9 mm	62,7 kN	84,5 kNm	78,1 kN
78M	5100 mm	10,0 mm	64,9 kN	87,5 kNm	80,8 kN
81M	5000 mm	9,7 mm	66,9 kN	86,9 kNm	83,4 kN
84M	4900 mm	9,3 mm	69,1 kN	86,4 kNm	86,2 kN
87M	4900 mm	9,6 mm	71,3 kN	89,0 kNm	88,9 kN
90M	4900 mm	9,9 mm	73,5 kN	91,8 kNm	91,6 kN

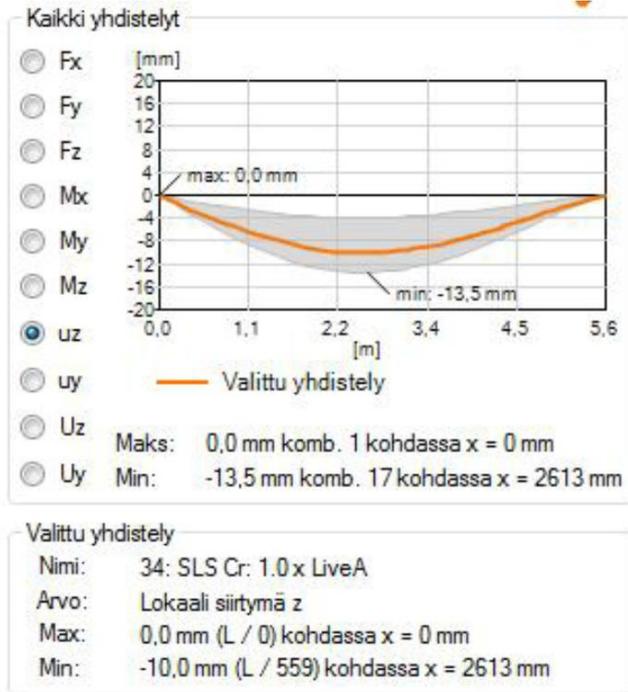
Taulukko 14. Palkin kestävyystulokset, 1-aukkoinen palkki, kipsivalulattia

	Palkin mitta	Taipuma	$V_{Ed}/V_{c,Rd}$	$M_{Ed}/M_{c,Rd}$	Päätytuki F_{Ed}/F_{Rd}
75M	5100 mm	58,2 %	11,9 %	39,3 %	19,8 %
78M	5100 mm	58,8 %	12,3 %	40,7 %	20,5 %
81M	5000 mm	58,2 %	12,7 %	40,4 %	21,1 %
84M	4900 mm	56,9 %	13,1 %	40,2 %	21,8 %
87M	4900 mm	58,8 %	13,5 %	41,4 %	22,5 %
90M	4900 mm	60,6 %	14,0 %	42,7 %	23,2 %

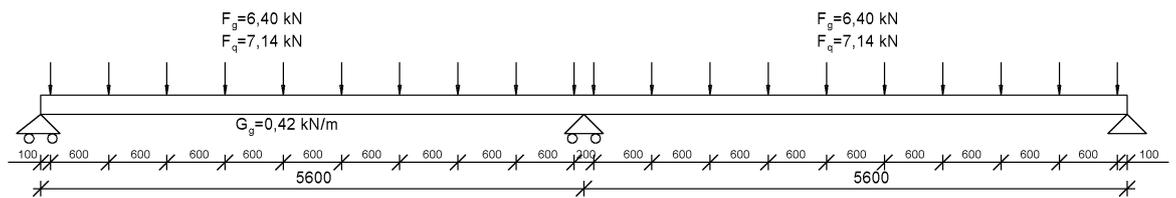
4.2.5 2-aukkoisen palkin laskentaesimerkki, sisämitta 90M, kipsivalulattia



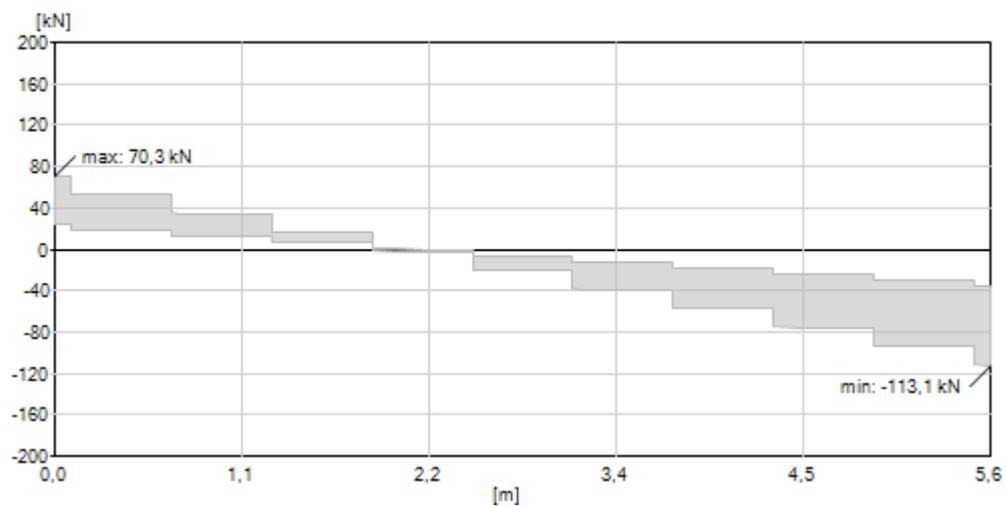
Kuvio 13. Palkin staattinen malli suurimman taipuman kannalta.



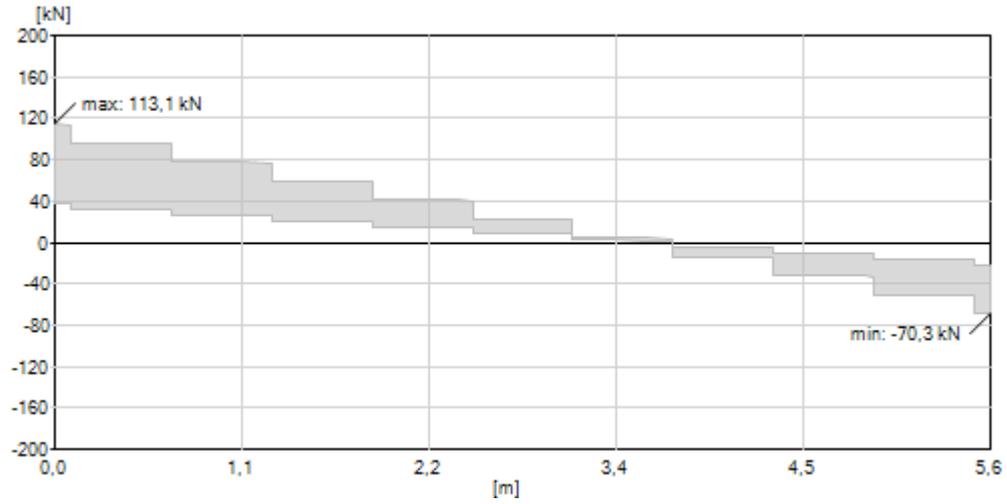
Kuvio 14. Palkin taipuma, aukkomitta 5600 mm.



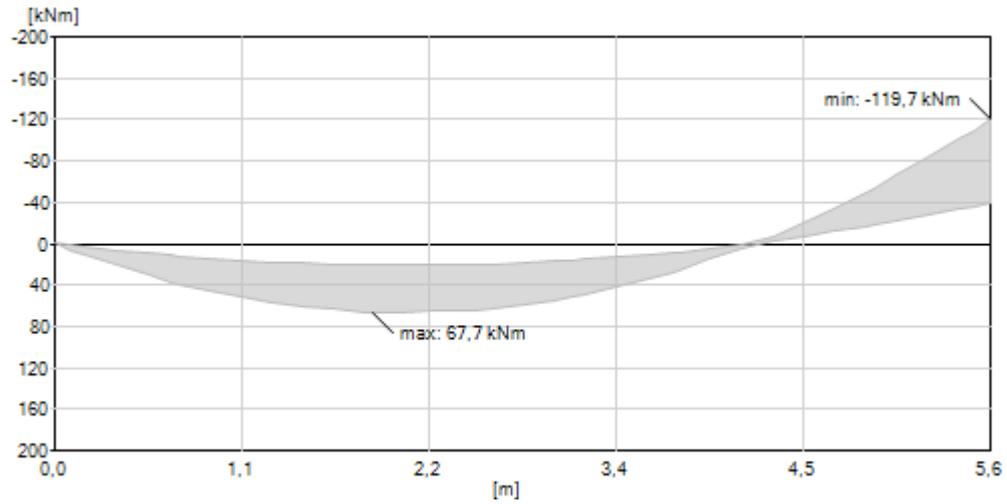
Kuvio 15. Palkin staattinen malli suurimpien voimasuureiden kannalta.



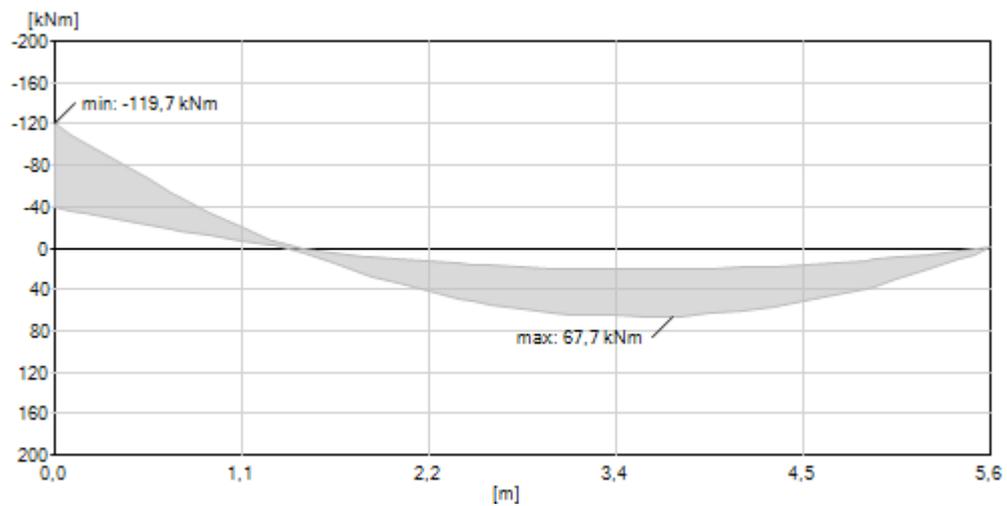
Kuvio 16. Leikkausvoimakuvio. Sauva 1.



Kuvio 17. Leikkausvoimakuvio. Sauva 2.



Kuvio 18. Taivutusmomenttikuvio. Sauva 1.



Kuvio 19. Taivutusmomenttikuvio. Sauva 2.

1. Palkin lähtötiedot:

IPE300, Teräslaji S355, Poikkileikkausluokka 1

2. Taivutuskestävyys

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl}f_y}{\gamma M_0} = \frac{628000 \text{ mm}^3 * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 222,9 \text{ kNm} \rightarrow \frac{119,7 \text{ kNm}}{222,9 \text{ kNm}} * 100\% = 53,7\% \text{ OK!!!}$$

3. Leikkauskestävyys

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{278,6 \text{ mm}}{7,1 \text{ mm}} = 39,24 \text{ ja } 72 \frac{\epsilon}{\eta} = 72 * 0,81 = 58,32 \rightarrow 39,24 < 58,32 \rightarrow \text{Leikkauslom-}$$

mahdus ei rajoita leikkauskestävyyttä

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma M_0} = \frac{2570 \text{ mm}^2 * \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3}}}{1,0} = 526,7 \text{ kN} \rightarrow \frac{113,1 \text{ kN}}{526,7 \text{ kN}} * 100\% = 21,5\% \text{ OK!!!}$$

4. Taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutus

Yhteisvaikutus tarkistettava, jos leikkausvoima on suurempi kuin puolet leikkauskestävyydestä.

$$0,5 * 526,7 \text{ kN} = 263,4 \text{ kN} \rightarrow 113,1 \text{ kN} < 263,4 \text{ kN} \rightarrow \text{Ei tarkistusta}$$

5. Kiepahduskestävyys

Kriittinen kiepahdusmomentti:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k_z L)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2}{\pi^2} \frac{G I_t}{E I_z} + (C_2 Z_g)^2} - C_2 Z_g \right)$$

$$M_{cr} = 1,0 * \frac{\pi^2 * 210000 * 6040000}{(600)^2} * \sqrt{\frac{126 * 10^9}{6040000} + \frac{(600)^2}{\pi^2} * \frac{81000 * 201000}{210000 * 6040000}} = 5078552867 \text{ Nmm}$$

Muunnettu hoikkuus:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{W_y f_y}{M_{cr}} = \sqrt{\frac{628000 \text{ mm}^3 * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{5078552867 \text{ Nmm}}} = 0,210 < 0,4 \rightarrow \text{Ei kiepahdustarkastelua.}$$

6. Pistekuormakestävyys palkin päässä

Kyseessä on tapaus c. Kestävyys tutkittiin pienimmällä pilarikoolla 140x140 mm.

Lommahduskerroin

$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) \leq 6 = 2 + 6 \left(\frac{140 \text{ mm} + 0}{278,6 \text{ mm}} \right) = 5,02 < 6 \text{ OK!!!}$$

Apusuureet

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w} = \frac{150 \text{ mm}}{7,1 \text{ mm}} = 21,13$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 = 0,02 * \left(\frac{278,6 \text{ mm}}{10,7 \text{ mm}} \right)^2 = 13,56 \quad (\lambda_F \geq 0,5)$$

Tehollinen kuormituspituus

$$l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c = \frac{5,02 * 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * (7,1 \text{ mm})^2}{2 * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 278,6 \text{ mm}} = 268,6 > 140 + 0 \rightarrow l_e = 140$$

$$l_y = \min \left\{ \begin{array}{l} l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2} \\ l_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f} \right)^2 + m_2} \end{array} \right.$$

$$l_y = \min \left\{ \begin{array}{l} 140 \text{ mm} + 10,7 \text{ mm} \sqrt{21,13 + 13,56} = 203 \text{ mm} \\ 140 \text{ mm} + 10,7 \text{ mm} \sqrt{\frac{21,13}{2} + \left(\frac{140}{10,7} \right)^2 + 13,56} = 289,5 \text{ mm} \end{array} \right. \rightarrow l_y = 203 \text{ mm}$$

Kriittinen kuorma

$$F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 * 5,02 * 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \frac{(7,1 \text{ mm})^3}{278,6 \text{ mm}} = 1218875,8 \text{ N}$$

Hoikkuus

$$\lambda_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{203 \text{ mm} * 7,1 \text{ mm} * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1218875,8 \text{ N}}} = 0,648 > 0,5 \rightarrow \text{alkuarvaus oikein}$$

Pienennystekijä

$$\chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} \leq 1,0 = \frac{0,5}{0,648} = 0,771 < 1,0 \text{ OK!!!}$$

Tehollinen pituus

$$L_{\text{eff}} = \chi_F l_y = 0,771 * 203 \text{ mm} = 156,5 \text{ mm}$$

Pistekuormakestävyys

$$F_{\text{Rd}} = \frac{f_{yw} L_{\text{eff}} t_w}{\gamma_{M_1}} = \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 156,5 \text{ mm} * 7,1 \text{ mm}}{1,0} = 394,4 \text{ kN} \rightarrow \frac{70,3 \text{ kN}}{394,4 \text{ kN}} * 100\% = 17,9\% \text{ OK!!!}$$

7. Pistekuormakestävyys palkin välituella

Kyseessä on tapaus a. Kestävyys tutkittiin pienimmällä pilarikoolla 140x140 mm

Lomahduskerroin

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6 + 2 \left(\frac{278,6 \text{ mm}}{0} \right) = 6$$

Apusuureet

$$m_1 = 21,13 \text{ ja } m_2 = 13,56$$

Tehollinen kuormituspituus

$$l_y = s_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 140 \text{ mm} + 2 * 10,7 \text{ mm}(1 + \sqrt{21,13 + 13,56}) = 287,4 \text{ mm}$$

Kriittinen kuorma

$$F_{\text{cr}} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 * 6 * 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \frac{(7,1 \text{ mm})^3}{278,6 \text{ mm}} = 1456823,7 \text{ N}$$

Hoikkuus

$$\lambda_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{\text{cr}}}} = \sqrt{\frac{287,4 \text{ mm} * 7,1 \text{ mm} * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1456823,7 \text{ N}}} = 0,705 > 0,5 \rightarrow \text{alkuarvaus oikein}$$

Pienennystekijä

$$\chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} \leq 1,0 \frac{0,5}{0,705} = 0,709 < 1,0 \text{ OK!!!}$$

Tehollinen pituus

$$L_{\text{eff}} = \chi_F l_y = 0,709 * 287,4 \text{ mm} = 203,8 \text{ mm}$$

Pistekuormakestävyys

$$F_{\text{Rd}} = \frac{f_{yw} L_{\text{eff}} t_w}{\gamma_{M_1}} = \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 203,8 \text{ mm} * 7,1 \text{ mm}}{1,0} = 513,7 \text{ kN}$$

$$\frac{226,2 \text{ kN}}{513,7 \text{ kN}} * 100\% = 44,0\% \text{ OK!!!}$$

8. Pistekuorman ja leikkausvoiman yhteisvaikutus, pilari 140x140 mm

$$\left(\frac{V_{\text{Ed}} - 0,5 F_{\text{Ed}}}{V_{\text{b,Rd}}} \right)^{1,6} + \frac{F_{\text{Ed}}}{F_{\text{Rd}}} \leq 1,0 \rightarrow \left(\frac{113,1 \text{ kN} - 0,5 * 226,2 \text{ kN}}{513,7 \text{ kN}} \right)^{1,6} + \frac{226,2 \text{ kN}}{513,7 \text{ kN}} = 0,44 < 1 \text{ OK!!!}$$

9. Pistekuorman ja taivutusmomentin yhteisvaikutus, pilari 140x140 mm

Pilari vaikuttaa puristetun laipan kautta. Yhteisvaikutus tarkistettava, jos pistekuormakestävyuden kapasiteetti yli 60 %.

*Yhteisvaikutusta ei tarvitse tarkastaa, koska $\frac{226,5 \text{ kN}}{513,7 \text{ kN}} * 100\% = 44,0\% < 60\%$*

10. Pistekuorman, taivutusmomentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutus.

Välituen lähellä vedettyyn laippaan vaikuttaa välipohjapalkilta tuleva pistekuorma, joten tämä yhteisvaikutus tarkistettava.

Poikittainen jännitys aiheutuu vedettyyn laippaan vaikuttavasta pistekuormasta

$$s_e = s_s + 2t_f = 42 \text{ mm} + 2 * 10,7 \text{ mm} = 63,4 \text{ mm}$$

$$n = 0,636$$

Jännityksen jakaumaleveys

$$b_{\text{eff}} = s_e \sqrt{1 + \left(\frac{z}{s_{en}}\right)^2} = 63,4 \sqrt{1 + \left(\frac{0 \text{ mm}}{161,4 \text{ mm} * 0,636}\right)^2} = 63,4 \text{ mm}$$

Poikittainen jännitys

$$\sigma_{z,Ed} = \frac{F_{Ed}}{b_{\text{eff}}(t_w + a_{st,1})} = \frac{(1,15 * 6,27 + 1,5 * 7,14) * 10^3 \text{ N}}{63,4 \text{ mm} * 7,1 \text{ mm}} = 39,81 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

pitkittäinen jännitys aiheutuu taivutusmomentista

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{M_{Ed}}{I_y} z = \frac{119,7 * 10^6 \text{ Nmm}}{8356 * 10^4 \text{ mm}^4} * \frac{278,6 \text{ mm}}{2} = 199,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

leikkausvoiman aiheuttama leikkausjännitys

Laipan pinta-ala

$$A = 150 \text{ mm} * 10,7 \text{ mm} = 1605 \text{ mm}^2$$

Laipan painopisteen etäisyys neutraaliakselista

$$z = \frac{h_i}{2} + \frac{t_f}{2} = \frac{278,6 \text{ mm}}{2} + \frac{10,7 \text{ mm}}{2} = 144,65 \text{ mm}$$

Staatinen momentti

$$S = A * z = 1605 \text{ mm}^2 * 144,65 \text{ mm} = 232163,25 \text{ mm}^3$$

Leikkausjännitys

$$\tau = \frac{V_{Ed} * S}{t_w * I_y} = \frac{113,1 * 10^3 \text{ N} * 232163,25 \text{ mm}^3}{7,1 \text{ mm} * 8356 * 10^4 \text{ mm}^4} = 44,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Yhteisvaikutus

$$\left(\frac{-199,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} / 1,0}\right)^2 + \left(\frac{39,81 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} / 1,0}\right)^2 - \left(\frac{-199,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} / 1,0}\right) \left(\frac{39,81 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} / 1,0}\right) + 3 \left(\frac{44,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} / 1,0}\right)^2$$

$$= 0,44 < 1,0 \text{ OK!!!}$$

11. Taipuma

$$\frac{L}{300} = \frac{5600\text{mm}}{300\text{mm}} = 18,67 \text{ mm} \rightarrow \frac{10,0\text{mm}}{18,67\text{mm}} * 100\% = 53,6\% \text{ OK!!!}$$

12. Vedetyn laipan reikien vaikutus taipustuskestävyyteen.

Naulan halkaisija 5 mm

$$\frac{67,7 \text{ kNm}}{215,1 \text{ kNm}} * 100\% = 55,7\%$$

4.2.6 2-aukkoisen palkin laskentatulokset, kipsilevylattia

Taulukko 15. Palkin taipuma, voimasuureet.2-aukkoinen palkki, kipsilevylattia

	Aukko mitat	Taipuma	V _{ed}	M _{ed}	Tukireaktio välituella	Tukireaktio päätytuella
75M	6000 mm	9,6 mm	83,9 kN	100,6 kNm	167,7 kN	56,3 kN
78M	6000 mm	9,9 mm	86,8 kN	104,1 kNm	173,6 kN	58,2 kN
81M	5900 mm	9,6 mm	88,2 kN	104,0 kNm	176,3 kN	59,2 kN
84M	5900 mm	9,9 mm	91,1 kN	107,4 kNm	182,2 kN	61,1 kN
87M	5800 mm	9,5 mm	92,3 kN	107,1 kNm	184,7 kN	62,0 kN
90M	5800 mm	9,8 mm	95,1 kN	110,3 kNm	190,3 kN	63,9 kN

Taulukko 16. Palkin kestävyystulokset, 2-aukkoinen palkki, kipsilevylattia

	Aukko max	Taipuma	M _{Ed} /M _{c,Rd}	V _{Ed} /V _{c,Rd}	Päätytuki F _{Ed} /F _{Rd}	Välituki F _{Ed} /F _{Rd}	Välituki F _{Ed} +V _{ed}	Välituki F _{Ed} +V _{ed} +M _{ed}
75M	6000 mm	48,0 %	45,1 %	15,9 %	14,3 %	32,6 %	32,6 %	26,5 %
78M	6000 mm	49,5 %	46,7 %	16,5 %	14,7 %	33,8 %	33,8 %	28,4 %
81M	5900 mm	48,8 %	46,6 %	16,7 %	15,0 %	34,3 %	34,3 %	28,5 %
84M	5900 mm	50,3 %	48,2 %	17,3 %	15,5 %	35,5 %	35,5 %	30,4 %
87M	5800 mm	49,1 %	48,0 %	17,5 %	15,7 %	36,0 %	36,0 %	30,4 %
90M	5800 mm	50,7 %	49,5 %	18,1 %	16,2 %	37,0 %	37,0 %	32,2 %

4.2.7 2-aukkoisen palkin laskentatulokset, kipsivalulattia

Taulukko 17. Palkin taipuma, voimasuureet.2-aukkoinen palkki, kipsivalulattia

	Aukko mitat	Taipuma	V_{ed}	M_{ed}	Tukireaktio välituella	Tukireaktio päätytuella
75M	5800 mm	9,7 mm	93,7 kN	108,7 kNm	187,5 kN	62,4 kN
78M	5800 mm	10 mm	97,0 kN	112,5 kNm	193,6 kN	64,6 kN
81M	5700 mm	9,6 mm	98,4 kN	112,2 kNm	198,9 kN	65,6 kN
84M	5700 mm	9,9 mm	101,7 kN	116,0 kNm	203,5 kN	67,8 kN
87M	5600 mm	9,6 mm	103,1 kN	115,5 kNm	206,2 kN	68,7 kN

Taulukko 18. Palkin kestävyystulokset, 2-aukkoinen palkki, kipsivalulattia

	Aukko max	Taipuma	$M_{Ed}/M_{c,Rd}$	$V_{Ed}/V_{c,Rd}$	Päätytuki F_{Ed}/F_{Rd}	Välituki F_{Ed}/F_{Rd}	Välituki $F_{Ed}+V_{ed}$	Välituki $F_{Ed}+V_{ed}+M_{ed}$
75M	5800 mm	50,2 %	48,8 %	17,8 %	15,8 %	36,5 %	36,5 %	31,3 %
78M	5800 mm	51,7 %	50,5 %	18,4 %	16,4 %	37,7 %	37,7 %	33,5 %
81M	5700 mm	50,5 %	50,3 %	18,7 %	16,6 %	38,7 %	38,7 %	33,6 %
84M	5700 mm	52,1 %	52,0 %	19,3 %	17,2 %	39,6 %	39,6 %	35,9 %
87M	5600 mm	51,4 %	51,8 %	19,6 %	17,4 %	40,1 %	40,1 %	36,0 %

4.2.8 Loppuyhteenveto mitoituksesta

Saatujen laskentatulosten perusteella voitiin todeta, että palkin mitoittavaksi tekijäksi muodostui taipuma. Muissa kestävyystarkasteluissa palkin kapasiteetti kesti reilusti voimasuureiden rasitukset. Koska välipohjapalkit on kiinnitetty 600 mm:n välein ylälaippaan, kiepahdustarkastelussa voitiin todeta, että kiepahdus ei missään nimessä voinut muodostua mitoittavaksi tekijäksi. Myöskään leikkausvoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutusta ei tarvinnut tarkastella ollenkaan, koska leikkausvoimat muodostuivat lopulta niin pieniksi. Pistekuormakestävyys tutkittiin sekä pääty- että välituella pienimmällä käytettävällä pilarikoolla, jolla kapasiteetti jäi reilusti alle maksimikapasiteetti-arvon. Vedetyn laipan reikien osalta tutkittiin tapausta, jossa alalaippaan kiinnitetään puuta panosnaulaimella. Tällöin alalaipan reikien

vaikutus taivutuskestävyyteen oli pieni, joten tämä ei muodostunut kestävyyttä rajoittavaksi tekijäksi

Nyt tutkittiin pelkästään perustapausta, jossa teräspalkille tulee kuormituksia vain välipohjapalkeilta. Jatkossa tulee kuitenkin tilanteita, jossa teräspalkin ylälaippaan tulee kuormituksia myös vesikattorakenteilta kannattelevilta pilareilta. Tällöin palkin välituelle muodostuu isoja pistekuormia, jolloin joudutaan tutkimaan pistekuormakestävyuden yhteisvaikutustilanteita. Lisäksi on tutkittava yläpuolen pilarin kiinnitysreikien vaikutus vedetyssä laipassa. Nämä tilanteet on tutkittava tapauskohtaisesti, koska kuormituksiin vaikuttavat eri kattorakenteiden omapainot, jiiirilumi paikkakunnan ja kattokaltevuuden mukaan sekä yläkerran pilarivälit.

5 VÄLIPOHJAN TERÄSPALKIN LIITOKSIEN MITOITUS

5.1 Lähtökohta mitoitukseen

Teräspalkin liitosten osalta tuli mitoittaa liitos sekä liimapuupalkkiin (LIITE3,4) että ulkoseinään (LIITE5). Kummankin liitoksen tulisi kestää suuri leikkausrasitus, jotta palkeilla voitaisiin käyttää mahdollisimman suurta jänneväliä. Lähtökohtana oli, että palkin päihin hitsataan teräslevy, jolla palkki liitetään pulttiliitoksella. Liitosta tulisi tutkia eri teräslevyjen paksuudella ja pulttien halkaisijoilla parhaimman ratkaisun löytämiseksi. Lisäksi mitoituksessa tulisi kiinnittää huomiota puuosien kestävyteen, jotta mitään halkeamisia ei tapahtuisi.

5.2 Teräspalkin liitos liimapuupalkin kylkeen

5.2.1 Ruuviliitoksen leikkauskestävyys ja reunaetäisyydet

1. Lähtötiedot

Kansiruuvit DIN 571 4.6 10x130, teräslevy S355 150mmx300mmx10 mm.

2. Kansiruuvin sileän osan tunkeuma puuhun:

$$l = (0,4 * l) - t_t = (0,4 * 130) - 10 \text{ mm} = 42\text{mm}$$

*kansiruuvin sileän osan tunkeuma puuhun 42mm >4d = 4*10mm =40mm → liitoksen leikkauskestävyys määritetään ruuvin sileän varren halkaisijan mukaan eli $d_{ef} = d = 10 \text{ mm}$*

3. Pultin myötömomentti:

$$M_y = 0,3f_{u,k}d^{2,6} = 0,3 * 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 10^{2,6}\text{mm} = 47772 \text{ Nmm}$$

4. Puun reunapuristuslujuus:

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 * 10 \text{ mm} = 1,5$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 10\text{mm}) * 410 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 30,258 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{30,258 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,5 * 1^2 + 0^2} = 20,172 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

5. Yhden ruuvin leikkauskestävyyden ominaisarvo:

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_h t d \\ 1,3 f_h t d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_y}{f_h d t^2}} - 1 \right] \\ 3\sqrt{M_y f_h d} \end{array} \right.$$

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 20,172 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 115\text{mm} * 10\text{mm} \\ 1,3 * 20,172 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 115\text{mm} * 10\text{mm} \left(\sqrt{2 + \frac{4 * 47772 \text{ Nmm}}{20,172 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 10\text{mm} * (115\text{mm})^2}} - 1 \right) \\ 3 * \sqrt{47772 \text{ Nmm} * 20,172 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 10\text{mm}} \end{array} \right.$$

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 23197,8 \text{ N} \\ 13248,4 \text{ N} \rightarrow R_k = 9312,8 \text{ N} \\ 9312,8 \text{ N} \end{array} \right.$$

Yhden ruuvin leikkauskestävyyden mitoitusarvo:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} R_k}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 9312,8 \text{ N}}{1,2} = 6208,5 \text{ N}$$

6. Ruuvien minimietäisyydet puussa:

minimiväli syysuuntaan $a_1 = (4 + (\cos\alpha))d = (4 + \cos 90) * 10\text{mm} = 40\text{mm}$

minimiväli syitä vastaan kohtisuorasti $a_2 = 4d = 4 * 10\text{mm} = 40 \text{ mm}$

reunaetäisyys kuormitetusta reunasta $a_{4t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 3d \\ (2 + 2\sin\alpha)d \end{array} \right. \rightarrow 3 * 10\text{mm} = 30\text{mm}$

reunaetäisyys kuormittamaton reuna $a_{4c} = 3d = 3 * 10\text{mm} = 30\text{mm}$

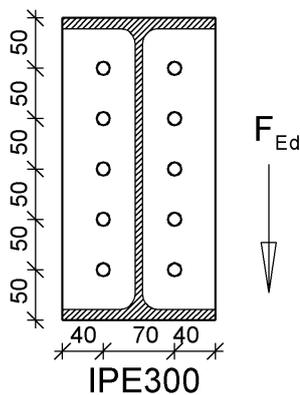
7. Ruuvien minimietäisyydet teräslevyssä:

$$\text{päätyetäisyys } e_1 = 1,2d_0 = 1,2 \cdot 11 \text{ mm} = 13,2 \text{ mm}$$

$$\text{reunaetäisyys } e_2 = 1,2d_0 = 1,2 \cdot 11 \text{ mm} = 13,2 \text{ mm}$$

$$\text{keskiöväli kuormituksen suunnassa } p_1 = 2,2d_0 = 2,2 \cdot 11 \text{ mm} = 24,2 \text{ mm}$$

$$\text{keskiöväli kohtisuoraan kuormitusta vastaan } p_2 = 2,4d_0 = 2,4 \cdot 11 \text{ mm} = 26,4 \text{ mm}$$



Kuvio 20. Teräslevy palkin päässä liimapuuhun liitettäessä

Reunaetäisyydet huomioiden IPE300 palkin liitoksessa 10 kpl kansiruuveja.

Liitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo: $10 \cdot 6208,5 \text{ N} = 62 \text{ kN}$

5.2.2 Puun halkeamiskestävyys

Palkin alareunasta eli kuormitetusta reunasta ylimpään ruuviriviin etäisyys on 400 mm.

1. Halkeamiskestävyyden ominaisarvo:

$$F_{90,k} = 14b \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} = 14 \cdot 115 \text{ mm} \sqrt{\frac{400 \text{ mm}}{\left(1 - \frac{400 \text{ mm}}{450 \text{ mm}}\right)}} = 96600 \text{ N}$$

2. Halkeamiskestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{90,d} = \frac{k_{\text{mod}} F_{90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 96,6 \text{ kN}}{1,2} = 64,4 \text{ kN}$$

5.2.3 Teräslevyn kestävyys

1. Vetokestävyys:

Brutto poikkileikkaus:

$$N_{\text{pl,Rd}} = \frac{A f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{150 \text{ mm} * 10 \text{ mm} * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 532,5 \text{ kN}$$

Nettopoikkileikkaus:

$$N_{\text{u,Rd}} = \frac{0,9 A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M_2}} = \frac{0,9 * (150 - 2 * 11) * 10 \text{ mm} * 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,25} = 470 \text{ kN}$$

Edellä lasketuista tuloksista todettiin, että teräslevyn vetokestävyys on 470 kN.

2. Reunapuristuskestävyys:

Kertoimien k_1 ja α_b arvot määritettiin kaikille ruuveille samaksi eli ei laskettu erikseen sisäalueen ja muiden alueen ruuveille eri arvoja, jolloin saadut arvot ovat varmalla puolella.

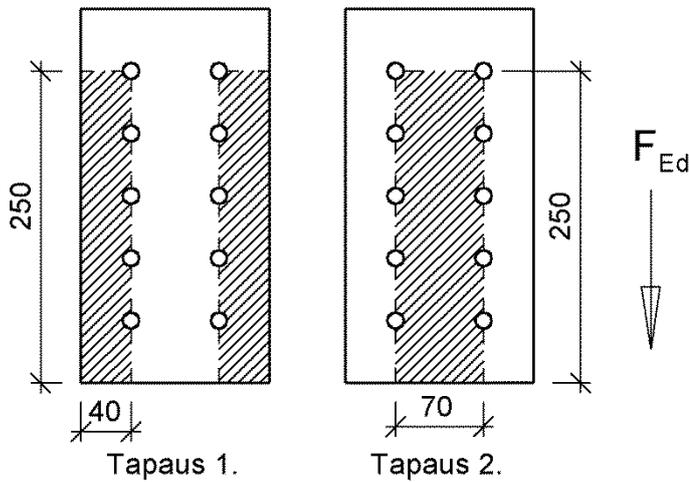
$$k_1 = \min \begin{cases} 2,5 \\ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{cases} = \min \begin{cases} 2,5 \\ 2,8 * \frac{40 \text{ mm}}{11 \text{ mm}} - 1,7 = 8,48 \\ 1,4 * \frac{70 \text{ mm}}{11 \text{ mm}} - 1,7 = 7,21 \end{cases} \rightarrow k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \begin{cases} 1,0 \\ \frac{f_{\text{ub}}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3d_0} \\ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \end{cases} = \min \begin{cases} 1,0 \\ \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,784 \\ \frac{50 \text{ mm}}{3 * 11 \text{ mm}} = 1,515 \\ \frac{50 \text{ mm}}{3 * 11 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 1,265 \end{cases} \rightarrow \alpha_b = 0,784$$

$$F_{\text{b,Rd}} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M_2}} = \frac{2,5 * 0,784 * 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 10 \text{ mm} * 10 \text{ mm}}{1,25} = 79,968 \text{ kN}$$

Liitoksessa 10 kpl ruuveja → Leikkauskestävyys $10 \cdot 79,968 \text{ kN} = 799,6 \text{ kN}$

3. Palamurtumiskestävyys:



Kuvio 21. Palamurtumistapaukset

Tapaus 1:

$$A_{nt} = (2e_2 - d_0)t = (2 \cdot 40 \text{ mm} - 11 \text{ mm}) \cdot 10 \text{ mm} = 690 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 2 \cdot (e_1 + 4p_1 - 4,5d_0)t = 2 \cdot (50 \text{ mm} + 4 \cdot 50 \text{ mm} - 4,5 \cdot 11 \text{ mm}) \cdot 10 \text{ mm} = 4010 \text{ mm}^2$$

Tapaus 2:

$$A_{nt} = (p_2 - d_0)t = (70 \text{ mm} - 11 \text{ mm}) \cdot 10 \text{ mm} = 590 \text{ mm}^2$$

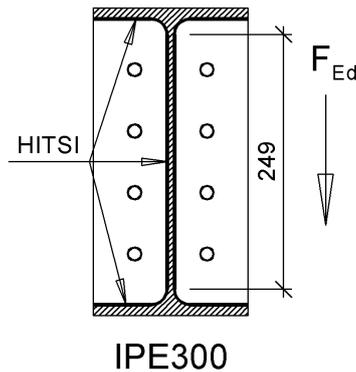
$$A_{nv} = 2 \cdot (e_1 + 4p_1 - 4,5d_0)t = 2 \cdot (50 \text{ mm} + 4 \cdot 50 \text{ mm} - 4,5 \cdot 11 \text{ mm}) \cdot 10 \text{ mm} = 4010 \text{ mm}^2$$

Edellä lasketuista määräävä tapaus 2, koska siinä vedon rasittama pinta-ala A_{nt} on pienempi.

$$V_{\text{eff},1,\text{Rd}} = \frac{f_u A_{nt}}{\gamma_{M_2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{f_y A_{nv}}{\gamma_{M_0}} = \frac{590 \text{ mm}^2 \cdot 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{4010 \text{ mm}^2 \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 1062,6 \text{ kN}$$

5.2.4 Teräslevyn hitsauksen mitoitus

Teräslevy hitsataan palkin päähän uuman molemmin puolin sekä ylä- ja alalaippojen sisäpuolelta. Hitsisauman varmuutta lisätään mitoittamalla hitsisauma ainoastaan uuman pituuden mukaan, vaikka teräslevy hitsataan myös laippoihin. Lisäksi hitsisauma mitoitetetaan ylisuurelle 100 kN:n kuormalle.



Kuvio 22. Hitsisaumat

$$a \geq \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\beta_M \gamma_{M2}}{f_u L_w} F_{Ed} = \frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{0,9 * 1,25}{510 \frac{N}{mm^2} * 249mm} * 100 * 10^3 N = 0,8mm \rightarrow a = 3mm, \text{ minimimit-}$$

ta

5.2.5 Loppuyhteenveto liitoksen mitoituksesta

Liitoksen kestävyden määritti kansiruuvien leikkauskestävyys. Liitosta mitoitettiin myös muulle kansiruuvikoolle, mutta niiden leikkauskestävyyden arvot eivät olleet paremmat kuin $\varnothing 10$ mm:n kansiruuvilla. Suuremmalla kansiruuvikoolle mitoitus jouduttiin tekemään kierreosan sisämitan mukaan, koska varren sileän osan tunkeuma puuhun ei ollut riittävä. Tämä pienensi merkittävästi leikkauskestävyyden arvoa ja lisäksi suuremmasta halkaisijasta johtuen ruuvien minimivälit kasvoivat, mikä vähensi liitokseen mahtuvien ruuvien määrää.

Kuten laskentatuloksista voidaan todeta, teräslevy on reilusti ylimitoitettu. Teräslevyn paksuus vaikutti kuitenkin olennaisesti kansiruuvien leikkauskestävyyden arvoon. Pienemmällä teräslevyn paksuudella liitoksen leikkauskestävyys olisi ollut

merkittävästi pienempi, joka olisi rajoittanut palkin jänneväliä ja vaatinut pilarin lähelle liitosta leikkausvoiman rajoittamiseksi.

Halkeamiskestävyystarkastelussa merkittäväksi tekijäksi muodostui palkin leveys. Halkeamiskestävyys laskettiin myös 75 mm:n kertopuulle, mutta tällöin palkin vaadittava korkeus olisi kasvanut niin suureksi, että sen käyttäminen ei ollut teknisesti mahdollista. Lisäksi halkeamiskestävyys olisi joka tapauksessa ollut merkittävästi pienempi kuin liitoksen leikkauskestävyys.

Liitoksen varmuutta lisättiin naulaamalla teräspalkin alle lankku 42x148 liimapuupalkin kylkeen koko palkin matkalle 3n 90x3.1 nautoilla k200, jotta teräspalkin kantatus ei olisi pelkästään kansiruuviin varassa. Lisäksi tämä helpottaa palkin asentamista, jolloin palkki voidaan nostaa lankun päälle ja porata liimapuupalkkiin reiät kansiruuveille kiinnitystä varten.

5.3 Teräspalkin liitos ulkoseinään

5.3.1 Ruuviliitoksen leikkauskestävyys ja reunaetäisyydet

1. Lähtötiedot:

Kansiruuvi DIN 571 4.6 10x130, teräslevy S355 150mmx300mmx10 mm. Puutavaran lujuusluokka C18

2. Kansiruuvin sileän osan tunkeuma puuhun:

$$l = (0,4 * l) - t_t = (0,4 * 130) - 10 \text{ mm} = 42 \text{ mm}$$

*kansiruuvin sileän osan tunkeuma puuhun 42mm > 4d = 4*10mm = 40mm → liitoksen leikkauskestävyys määritetään ruuvin sileän varren halkaisijan mukaan eli $d_{ef} = d = 10 \text{ mm}$*

3. Pultin myötömomentti:

$$M_y = 0,3f_{u,k}d^{2,6} = 0,3 * 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 10^{2,6} \text{ mm} = 47772 \text{ Nmm}$$

4. Puun reunapuristuslujuus:

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 * 10 \text{ mm} = 1,5$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 10\text{mm}) * 320 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 23,616 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{23,616 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,5*0^2 + 1^2} = 23,616 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

5. Yhden ruuvin leikkauskestävyyden ominaisarvo:

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_h t d \\ 1,3 f_h t d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_y}{f_h d t^2}} - 1 \right] \\ 3\sqrt{M_y f_h d} \end{array} \right.$$

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 23,616 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 120\text{mm} * 10\text{mm} \\ 1,3 * 23,616 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 120\text{mm} * 10\text{mm} \left(\sqrt{2 + \frac{4*47772 \text{ Nmm}}{23,616 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 10\text{mm} * (120\text{mm})^2}} - 1 \right) \\ 3 * \sqrt{47772 \text{ Nmm} * 23,616 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 10\text{mm}} \end{array} \right.$$

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 28339 \text{ N} \\ 15986 \text{ N} \rightarrow R_k = 10076 \text{ N} \\ 10076 \text{ N} \end{array} \right.$$

Yhden ruuvin leikkauskestävyyden mitoitusarvo:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} R_k}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 10076 \text{ N}}{1,4} = 5757 \text{ N}$$

6. Ruuvien minimietäisyydet puussa:

minimiväli syysuuntaan $a_1 = (4 + (\cos\alpha))d = (4 + \cos 0) * 10\text{mm} = 50\text{mm}$

minimiväli syitä vastaan kohtisuorasti $a_2 = 4d = 4 * 10\text{mm} = 40 \text{ mm}$

reunaetäisyys kuormittamaton reuna $a_{4c} = 3d = 3 * 10\text{mm} = 30\text{mm}$

reunaetäisyys kuormittamaton pääty $a_{3c} = 4d = 4 * 10\text{mm} = 40\text{mm}$

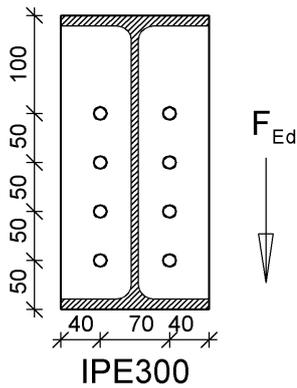
7. Ruuvien minimietäisyydet teräslevyssä:

päätyetäisyys $e_1 = 1,2d_0 = 1,2 \cdot 11 \text{ mm} = 13,2 \text{ mm}$

reunaetäisyys $e_2 = 1,2d_0 = 1,2 \cdot 11 \text{ mm} = 13,2 \text{ mm}$

keskiöväli kuormituksen suunnassa $p_1 = 2,2d_0 = 2,2 \cdot 11 \text{ mm} = 24,2 \text{ mm}$

keskiöväli kohtisuoraan kuormitusta vastaan $p_2 = 2,4d_0 = 2,4 \cdot 11 \text{ mm} = 26,4 \text{ mm}$



Kuvio 23. Teräslevy palkin päässä ulkoseinään liitettäessä

Reunaetäisyydet huomioiden liitoksessa 8 kpl kansiruuveja.

Liitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo: $8 \cdot 5757 \text{ N} = 46 \text{ kN}$

5.3.2 Leikkauskestävyyden lisäys

Leikkauskestävyyttä lisätään naulaamalla teräspalkin alle lankku C24 42x148, joka ulottui elementin alareunaan saakka. Naulaus tehdään 90x3.1 nauloilla

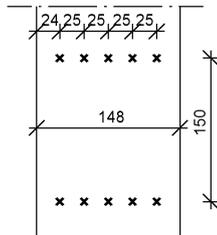
1. Naulojen minimietäisyydet:

minimiväli syysuuntaan $10d = 10 \cdot 3,1 \text{ mm} = 31 \text{ mm}$

minimiväli syitä vastaan kohtisuorasti $5d = 5 \cdot 3,1 \text{ mm} = 15,5 \text{ mm}$

2. Leikkauskestävyyden laskenta:

Yhden naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo keskipitkässä aikaluokassa 520N. Minimivälit huomioiden nauloja naulataan 5 kpl riviin k150, jolloin lankussa on 15 riviä nauloja.



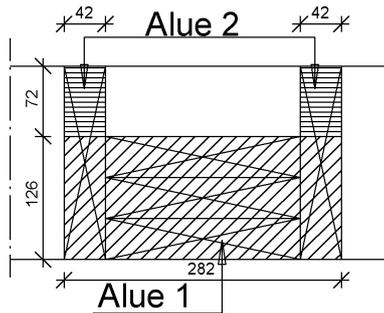
Kuvio 24. Lankku teräspalkin alla ulkoseinään liitettäessä

Naulojen leikkauskestävyys: $15 \cdot 5 \cdot 520 \text{ N} = 39 \text{ kN}$

Lopullinen leikkauskestävyys $46 \text{ kN} + 39 \text{ kN} = 85 \text{ kN}$

5.3.3 Syitä vastaan kohtisuora puristus elementin alareunassa

Elementin alajuoksun puutavaran lujuusluokka C24. Teräspalkilta tuleva kuorman aiheuttama puristus kohdistuu alajuoksuun viiden runkotolpan pinta-alalle.



Kuvio 25. Puristuskestävyys alajuoksussa

Alue1:

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 0,8}{1,4} = 1,43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_{c,t} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} k_{c,90} = \frac{342\text{mm}}{282\text{mm}} * 1,25 = 1,51$$

$$\text{Puristuskestävyys: } 1,51 * 1,43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 282\text{mm} * 126\text{mm} = 76,7 \text{ kN}$$

Alue2:

$$k_{c,t} = \frac{144\text{mm}}{84\text{mm}} * 1,25 = 2,14$$

$$\text{Puristuskestävyys: } 2,14 * 1,43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 2 * 42\text{mm} * 72\text{mm} = 18,5 \text{ kN}$$

$$\text{Lopullinen puristuskestävyys: } 76,7 \text{ kN} + 18,5 \text{ kN} = 95,2 \text{ kN}$$

5.3.4 Loppuyhteenveto liitoksen mitoituksesta

Liitoksessa ongelmaksi muodostui riittävä leikkauskestävyyden saavuttaminen. Liitoksen yläreunaan ei voinut sijoittaa ruuveja, koska tällöin ruuvien päätyetäisyys puussa ei olisi täyttynyt. Teräslevyä olisi ollut mahdollista jatkaa palkin alapuolelle, jolloin kansiruuvien määrää olisi voinut lisätä. Tämä olisi kuitenkin aiheuttanut sen, että elementin kipsilevyä ei olisi voinut asentaa paikalleen liitoksen kohdalla tehtaalla. Mikäli leikkauskestävyyttä ei olisi lisätty palkin alapuolelle naulattavalla lankulla, palkin jänneväli olisi pienentynyt merkittävästi. Nyt saavutetulla leikkauskestävyyden arvolla voidaan kuitenkin käyttää palkin maksimi jännevälejä. Lisäksi lankulla lisättiin liitoksen varmuutta, jotta teräspalkin kannatus ei olisi pelkästään kansiruuvien varassa. Kuten liimapuupalkin tapauksessa myös tässä tapauksessa lankku helpottaa palkin asentamista.

Teräslevyä ei mitoitettu tässä tapauksessa, koska se todettiin reilusti ylimitoitetuksi liimapalkin liitoksen yhteydessä ja käytettävä teräslevyn paksuus on kuitenkin sama. Myöskään hitsausliitosta ei ollut tarpeellista mitoittaa.

Teräspalkkia ei haluttu viedä elementin sisään höyrynsulkumuovin läpi, koska teräs on hyvin kylmää johtava materiaali. Näin haluttiin ehkäistä kosteuden tiivistymistä ja kosteusvaurioiden syntymistä. Nyt tehdyllä ratkaisulla höyrynsulun tiivistäminen ei muodostunut ongelmaksi, koska höyrynsulun läpäisevät ainoastaan kansiruuvit ja liitos voidaan asennuksen jälkeen tiivistää polyuretaanilla.

6 AUTOKATOKSEN TERÄSPALKKIEN MITOITUS

6.1 Lähtökohta mitoitukseen

Toisena mitoituskohteena oli tutkia teräspalkkia autokatoksen kannatukseen (LII-TE6).Nykyisin autokatoksen kantavana palkkina käytetään liimapuuta, jolloin jännevälit eivät voi olla kovin pitkiä ja leveissä katoksissa joudutaan käyttämään välipilaria. Edellä mainituista syistä johtuen autokatoksen kantavana palkkina aletaan käyttämään teräspalkkia, jolloin jännevälit kasvavat ja välipilari voidaan poistaa. Mitoituksella tuli selvittää 1-aukkoisten palkkien maksimijännevälit neljälle katoksen syvyysmitalle ja kahdelle kattorakenteelle, joiden lisäksi lumikuorman arvoina oli viisi vaihtoehtoa. Alustavan tutkinnan jälkeen teräspalkiksi valittiin IPE360.

6.2 Mitoituksen kulku

Mitoituksessa hyödynnettiin samaa statiikkaohjelmaa kuin välipohjan teräspalkin yhteydessä. Palkin taipuman arvoksi sallittiin hiukan isompi kuin välipohjan yhteydessä eli maksimi taipuma saisi olla 15 mm, koska autokatoksessa taipumasta ei aiheudu niin suuria ongelmia rakenteissa. Myös autokatoksessa kiepahdusmomentti laskettiin arvolla $C_1=1$ ja voitiin todeta, että kiepahdus ei tullut kestävyyttä rajoittavaksi tekijäksi. Laskentatuloksista on esitetty esimerkkilaskelma, mutta muuten laskentatulokset on ainoastaan taulukoitu.

6.2.1 Teräspalkille tulevat kuormitukset.

Teräspalkin päälle asennetaan kattoristikot 900 mm:n välein, jonka mukaan seuraavat ristikoiden tukireaktiot laskettiin:

Taulukko 19. Lumikuormien tukireaktiot autokatoksen palkille

LUMIKUORMIEN TUKIREAKTIOT

KATOKSEN SYVYYS 5000 mm		KATOKSEN SYVYYS 6000 mm	
Lumi EC maassa	Tukireaktio	Lumi EC maassa	Tukireaktio
2,00 kN/m ²	4,68 kN	2,00 kN/m ²	5,40 kN
2,50 kN/m ²	5,85 kN	2,50 kN/m ²	6,75 kN
2,75 kN/m ²	6,44 kN	2,75 kN/m ²	7,43 kN
3,00 kN/m ²	7,02 kN	3,00 kN/m ²	8,10 kN
3,50 kN/m ²	8,19 kN	3,50 kN/m ²	9,45 kN

KATOKSEN SYVYYS 7000 mm		KATOKSEN SYVYYS 8000 mm	
Lumi EC maassa	Tukireaktio	EC maassa	Tukireaktio
2,00 kN/m ²	6,12 kN	2,00 kN/m ²	6,84 kN
2,50 kN/m ²	7,65 kN	2,50 kN/m ²	8,55 kN
2,75 kN/m ²	8,42 kN	2,75 kN/m ²	9,41 kN
3,00 kN/m ²	9,18 kN	3,00 kN/m ²	10,26 kN
3,50 kN/m ²	10,71 kN	3,50 kN/m ²	11,97 kN

Taulukko 20. Omapainojen tukireaktiot autokatoksen palkille

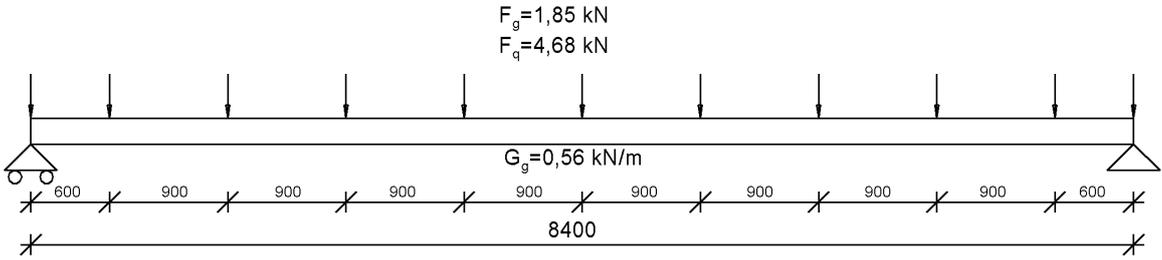
OMAPAINOJEN AIHEUTTAMAT TUKIREAKTIOT

KATOKSEN SYVYYS 5000 mm		KATOKSEN SYVYYS 6000 mm	
Omapaino	Tukireaktio	Omapaino	Tukireaktio
Tiili+osastointi EI30	2,73 kN	Tiili+osastointi EI30	3,18 kN
Pelti+osastointi EI30	1,85 kN	Pelti+osastointi EI30	2,16 kN

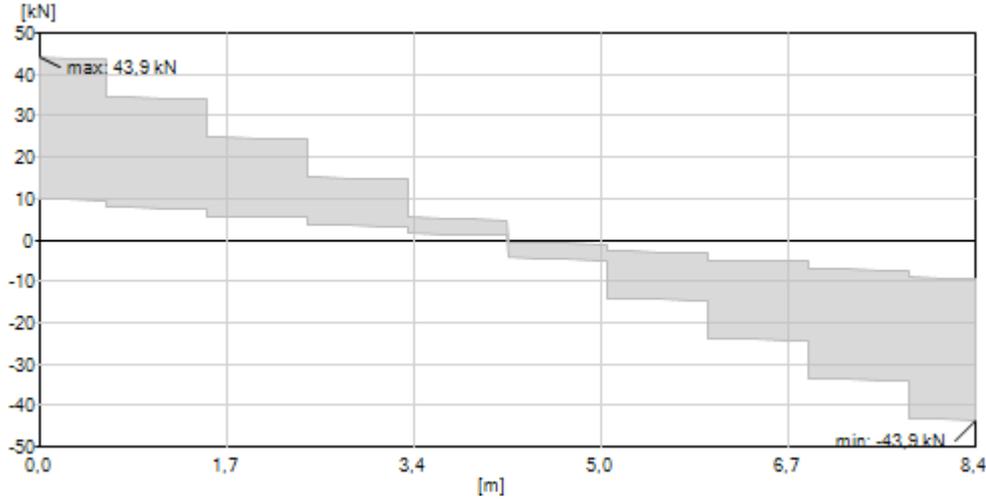
KATOKSEN SYVYYS 7000 mm		KATOKSEN SYVYYS 8000 mm	
Omapaino	Tukireaktio	Omapaino	Tukireaktio
Tiili+osastointi EI30	3,63 kN	Tiili+osastointi EI30	3,63 kN
Pelti+osastointi EI30	2,48 kN	Pelti+osastointi EI30	2,48 kN

Tiilikatto omapaino 0,60 kN/m²
Peltikatto omapaino 0,30 kN/m²
Palo-osastointi EI30 omapaino 0,40 kN/m²

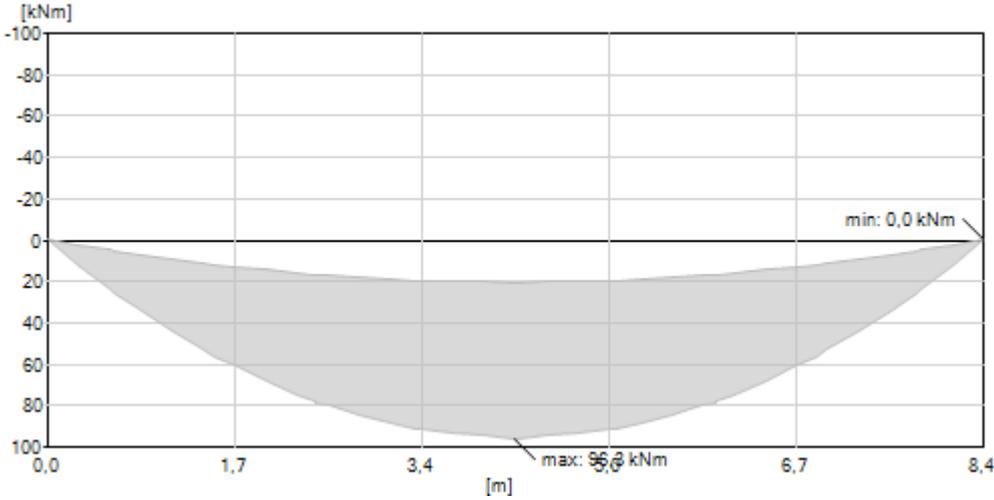
6.2.2 1-aukkoisen palkin laskentaesimerkki, katoksen syvyys 5000 mm, lumikuorma EC maassa 2,0 kN/m², peltikate



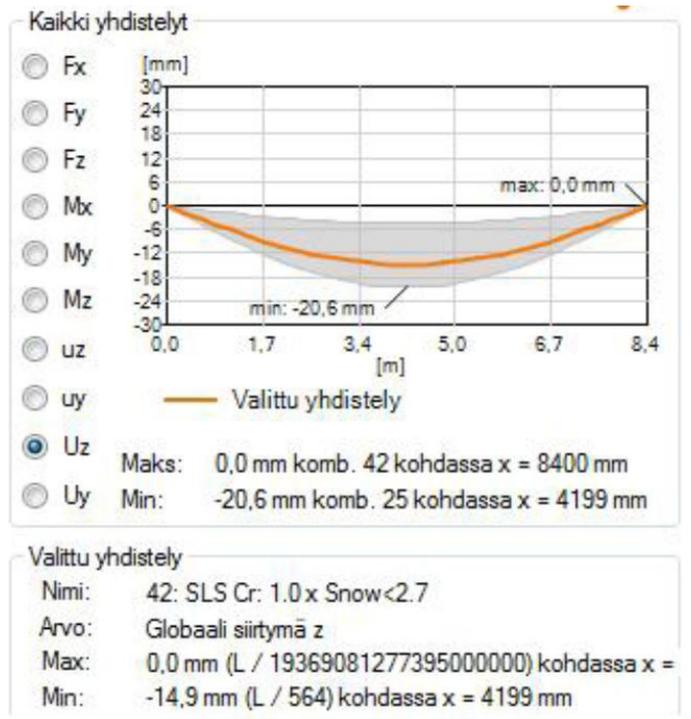
Kuvio 26. Palkin staattinen malli



Kuvio 27. Leikkausvoimakuvio



Kuvio 28. Taivutusmomenttikuvio



Kuvio 29. Palkin taipuma

1. Palkin lähtötiedot:

IPE360, Teräslaji S355, Poikkileikkausluokka 1

2. Taivutuskestävyys

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma M_0} = \frac{1019000 \text{ mm}^3 * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 361,7 \text{ kNm} \rightarrow \frac{96,3 \text{ kNm}}{361,7 \text{ kNm}} * 100\% = 26,6\% \text{ OK!!!}$$

3. Leikkauskestävyys

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{334,6 \text{ mm}}{8,0 \text{ mm}} = 41,825 \text{ ja } 72 \frac{\epsilon}{\eta} = 72 * 0,81 = 58,32 \rightarrow 41,825 < 58,32 \rightarrow \text{Leikkaus-}$$

lommahdus ei rajoita leikkauskestävyyttä

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma M_0} = \frac{3510 \text{ mm}^2 * \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3}}}{1,0} = 719,4 \text{ kN} \rightarrow \frac{43,9 \text{ kN}}{719,4 \text{ kN}} * 100\% = 6,1\% \text{ OK!!!}$$

4. Taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutus

Yhteisvaikutus tarkistettava, jos leikkausvoima on suurempi kuin puolet leikkauskestävyydestä.

$$0,5 * 719,4 \text{ kN} = 359,7 \text{ kN} \rightarrow 43,9 \text{ kN} < 359,7 \text{ kN} \rightarrow \text{Ei tarkistusta}$$

5. Kiepahduskestävyys

Kriittinen kiepahdusmomentti:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k_z L)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2}{\pi^2} \frac{G I_t}{E I_z} + (C_2 Z_g)^2} - C_2 Z_g \right)$$

$$M_{cr} = 1,0 * \frac{\pi^2 * 210000 * 10430000}{(900)^2} * \sqrt{\frac{314 * 10^9}{10430000} + \frac{(900)^2}{\pi^2} * \frac{81000 * 373000}{210000 * 10430000}} =$$

$$4716900858 \text{ Nmm}$$

Muunnettu hoikkuus:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1019000 \text{ mm}^2 * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{4716900858 \text{ Nmm}}} = 0,277 < 0,4 \rightarrow \text{Ei kiepahdustarkastelua.}$$

6. Pistekuormakestävyys palkin päässä

Kyseessä on tapaus c. Kestävyys tutkittiin pienimmällä pilarikoolla 140x140 mm.

Lomahduskerroin

$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) \leq 6 = 2 + 6 \left(\frac{140 \text{ mm} + 0}{334,6 \text{ mm}} \right) = 4,51 < 6 \text{ OK!!!}$$

Apusuureet

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w} = \frac{170 \text{ mm}}{8,0 \text{ mm}} = 21,25$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 = 0,02 * \left(\frac{334,6 \text{ mm}}{12,7 \text{ mm}} \right)^2 = 13,88 \quad (\lambda_F \geq 0,5)$$

Tehollinen kuormituspituus

$$l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c = \frac{4,51 * 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * (8,0\text{mm})^2}{2 * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 334,6 \text{ mm}} = 255,1 > 140 + 0 \rightarrow l_e = 140$$

$$l_y = \min \left\{ \begin{array}{l} l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2} \\ l_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f}\right)^2 + m_2} \end{array} \right.$$

$$l_y = \min \left\{ \begin{array}{l} 140\text{mm} + 12,7\text{mm} \sqrt{21,25 + 13,88} = 215,2 \text{ mm} \\ 140\text{mm} + 12,7\text{mm} \sqrt{\frac{21,25}{2} + \left(\frac{140}{12,7}\right)^2 + 13,88} = 293,5\text{mm} \end{array} \right. \rightarrow l_y = 215,3 \text{ mm}$$

Kriittinen kuorma

$$F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 * 4,51 * 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \frac{(8,0\text{mm})^3}{334,6 \text{ mm}} = 1304314,6 \text{ N}$$

Hoikkuus

$$\lambda_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{215,3 \text{ mm} * 8,0\text{mm} * 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1304314,6 \text{ N}}} = 0,685 > 0,5 \rightarrow \text{alkuarvaus oikein}$$

Pienennystekijä

$$\chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} \leq 1,0 = \frac{0,5}{0,685} = 0,730 < 1,0 \text{ OK!!!}$$

Tehollinen pituus

$$L_{\text{eff}} = \chi_F l_y = 0,730 * 215,3\text{mm} = 157,2 \text{ mm}$$

Pistekuormakestävyys

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{\text{eff}} t_w}{\gamma M_1} = \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 157,2\text{mm} * 8,0\text{mm}}{1,0} = 446,5 \text{ kN} \rightarrow \frac{51,4 \text{ kN}}{446,5 \text{ kN}} * 100\% = 11,5\% \text{ OK!!!}$$

7. Taipuma

$$\frac{L}{300} = \frac{8400\text{mm}}{300\text{mm}} = 28,0 \text{ mm} \rightarrow \frac{14,9\text{mm}}{28,0\text{mm}} * 100\% = 53,2\% \text{ OK!!!}$$

6.2.3 Autokatoksen palkin laskentatulokset

Taulukko 21. Palkin taipuma, voimasuureet, katoksen syvyys 5000 mm.

Peltikatto					Tukireaktio
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}	V_{Ed}	päätytuella
2,00 kN/m ²	8400 mm	14,9 mm	96,3 kNm	43,9 kN	51,4 kN
2,50 kN/m ²	8100 mm	15,0 mm	104,6 kNm	51,7 kN	51,7 kN
2,75 kN/m ²	7900 mm	14,6 mm	107,7 kNm	54,5 kN	54,5 kN
3,00 kN/m ²	7800 mm	14,7 mm	111,8 kNm	57,4 kN	57,4 kN
3,50 kN/m ²	7600 mm	14,9 mm	120,3 kNm	63,3 kN	63,3 kN
Tiilikatto					Tukireaktio
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}	V_{Ed}	päätytuella
2,00 kN/m ²	8200 mm	15,0 mm	100,3 kNm	48,9 kN	48,9 kN
2,50 kN/m ²	7900 mm	15,0 mm	108,3 kNm	54,8 kN	54,8 kN
2,75 kN/m ²	7700 mm	14,5 mm	110,7 kNm	57,5 kN	57,5 kN
3,00 kN/m ²	7600 mm	14,5 mm	114,3 kNm	60,2 kN	60,2 kN
3,50 kN/m ²	7400 mm	14,5 mm	121,7 kNm	65,8 kN	65,8 kN

Taulukko 22. Palkin kestävyystulokset, katoksen syvyys 5000 mm

Peltikatto					Päätytuki
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}/M_{c,Rd}	V_{Ed}/V_{c,Rd}	F_{Ed}/F_{Rd}
2,00 kN/m ²	8400 mm	53,2 %	26,6 %	6,1 %	11,5 %
2,50 kN/m ²	8100 mm	55,6 %	28,9 %	7,2 %	11,6 %
2,75 kN/m ²	7900 mm	55,4 %	29,8 %	7,6 %	12,2 %
3,00 kN/m ²	7800 mm	56,5 %	30,9 %	8,0 %	12,9 %
3,50 kN/m ²	7600 mm	58,8 %	33,3 %	8,8 %	14,2 %
Tiilikatto					Päätytuki
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}/M_{c,Rd}	V_{Ed}/V_{c,Rd}	F_{Ed}/F_{Rd}
2,00 kN/m ²	8200 mm	54,9 %	27,7 %	6,8 %	11,0 %
2,50 kN/m ²	7900 mm	57,0 %	29,9 %	7,6 %	12,3 %
2,75 kN/m ²	7700 mm	56,5 %	30,6 %	8,0 %	12,9 %
3,00 kN/m ²	7600 mm	57,2 %	31,6 %	8,4 %	13,5 %
3,50 kN/m ²	7400 mm	58,8 %	33,6 %	9,1 %	14,7 %

Taulukko 23. Palkin taipuma, voimasuureet, katoksen syvyys 6000 mm.

Peltikatto					Tukireaktio
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}	V_{Ed}	päätytuella
2,00 kN/m ²	8100 mm	14,7 mm	101,8 kNm	50,3 kN	50,3 kN
2,50 kN/m ²	7800 mm	14,8 mm	111,5 kNm	57,2 kN	57,2 kN
2,75 kN/m ²	7700 mm	15,0 mm	117,5 kNm	61,1 kN	61,1 kN
3,00 kN/m ²	7500 mm	14,4 mm	118,9 kNm	63,4 kN	63,4 kN
3,50 kN/m ²	7300 mm	14,6 mm	127,6 kNm	69,9 kN	69,9 kN
Tiilikatto					Tukireaktio
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}	V_{Ed}	päätytuella
2,00 kN/m ²	7900 mm	15,0 mm	106,9 kNm	54,1 kN	54,1 kN
2,50 kN/m ²	7600 mm	14,7 mm	115,2 kNm	60,6 kN	60,6 kN
2,75 kN/m ²	7500 mm	14,9 mm	120,6 kNm	64,3 kN	64,3 kN
3,00 kN/m ²	7400 mm	15,0 mm	124,6 kNm	67,4 kN	67,4 kN
3,50 kN/m ²	7200 mm	15,0 mm	132,6 kNm	73,6 kN	73,6 kN

Taulukko 24. Palkin kestävyystulokset, katoksen syvyys 6000 mm

Peltikatto					Päätytuki
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}/M_{c,Rd}	V_{Ed}/V_{c,Rd}	F_{Ed}/F_{Rd}
2,00 kN/m ²	8100 mm	54,4 %	28,1 %	7,0 %	11,3 %
2,50 kN/m ²	7800 mm	56,9 %	30,8 %	8,0 %	12,8 %
2,75 kN/m ²	7700 mm	58,4 %	32,5 %	8,5 %	13,7 %
3,00 kN/m ²	7500 mm	57,6 %	32,9 %	8,8 %	14,2 %
3,50 kN/m ²	7300 mm	60,0 %	35,3 %	9,7 %	15,7 %
Tiilikatto					Päätytuki
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}/M_{c,Rd}	V_{Ed}/V_{c,Rd}	F_{Ed}/F_{Rd}
2,00 kN/m ²	7900 mm	57,0 %	29,6 %	7,5 %	12,1 %
2,50 kN/m ²	7600 mm	58,0 %	31,8 %	8,4 %	13,6 %
2,75 kN/m ²	7500 mm	59,6 %	33,3 %	8,9 %	14,4 %
3,00 kN/m ²	7400 mm	60,8 %	34,4 %	9,4 %	15,1 %
3,50 kN/m ²	7200 mm	62,5 %	36,7 %	10,2 %	16,5 %

Taulukko 25. Palkin taipuma, voimasuureet, katoksen syvyys 7000 mm.

Peltikatto					Tukireaktio
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{ed}	V_{ed}	päätytuella
2,00 kN/m ²	7900 mm	15,0 mm	109,3 kNm	55,3 kN	55,3 kN
2,50 kN/m ²	7600 mm	15,0 mm	119,6 kNm	62,9 kN	62,9 kN
2,75 kN/m ²	7400 mm	14,5 mm	122,6 kNm	66,3 kN	66,3 kN
3,00 kN/m ²	7300 mm	14,6 mm	127,3 kNm	69,8 kN	69,8 kN
3,50 kN/m ²	7100 mm	14,7 mm	136,5 kNm	76,9 kN	76,9 kN
Tiilikatto					Tukireaktio
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{ed}	V_{ed}	päätytuella
2,00 kN/m ²	7600 mm	14,5 mm	111,8 kNm	58,8 kN	58,8 kN
2,50 kN/m ²	7400 mm	15,0 mm	123,4 kNm	66,7 kN	66,7 kN
2,75 kN/m ²	7300 mm	15,0 mm	129,1 kNm	70,7 kN	70,7 kN
3,00 kN/m ²	7100 mm	14,3 mm	129,7 kNm	73,1 kN	73,1 kN
3,50 kN/m ²	7000 mm	15,0 mm	141,7 kNm	81,0 kN	81,0 kN

Taulukko 26. Palkin kestävyystulokset, katoksen syvyys 7000 mm

Peltikatto					Päätytuki
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}/M_{c,Rd}	V_{Ed}/V_{c,Rd}	F_{Ed}/F_{Rd}
2,00 kN/m ²	7900 mm	57,0 %	30,2 %	7,7 %	12,4 %
2,50 kN/m ²	7600 mm	59,2 %	33,1 %	8,7 %	14,1 %
2,75 kN/m ²	7400 mm	58,8 %	33,9 %	9,2 %	14,8 %
3,00 kN/m ²	7300 mm	60,0 %	35,2 %	9,7 %	15,6 %
3,50 kN/m ²	7100 mm	62,1 %	37,7 %	10,7 %	17,2 %
Tiilikatto					Päätytuki
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}/M_{c,Rd}	V_{Ed}/V_{c,Rd}	F_{Ed}/F_{Rd}
2,00 kN/m ²	7600 mm	57,2 %	30,9 %	8,2 %	13,2 %
2,50 kN/m ²	7400 mm	60,8 %	34,1 %	9,3 %	14,9 %
2,75 kN/m ²	7300 mm	61,6 %	35,7 %	9,8 %	15,8 %
3,00 kN/m ²	7100 mm	60,4 %	35,9 %	10,2 %	16,4 %
3,50 kN/m ²	7000 mm	64,3 %	39,2 %	11,3 %	18,1 %

Taulukko 27. Palkin taipuma, voimasuureet, katoksen syvyys 8000 mm.

Peltikatto					Tukireaktio
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{ed}	V_{ed}	päätytuella
2,00 kN/m ²	7700 mm	15,0 mm	115,7 kNm	60,1 kN	60,1 kN
2,50 kN/m ²	7400 mm	15,0 mm	126,4 kNm	68,3 kN	68,3 kN
2,75 kN/m ²	7200 mm	14,5 mm	129,4 kNm	71,9 kN	71,9 kN
3,00 kN/m ²	7100 mm	14,6 mm	134,3 kNm	75,7 kN	75,7 kN
3,50 kN/m ²	6900 mm	14,7 mm	143,8 kNm	83,4 kN	83,4 kN
Tiilikatto					Tukireaktio
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{ed}	V_{ed}	päätytuella
2,00 kN/m ²	7400 mm	14,5 mm	118,1 kNm	63,9 kN	63,9 kN
2,50 kN/m ²	7200 mm	15,0 mm	130,3 kNm	72,4 kN	72,4 kN
2,75 kN/m ²	7100 mm	15,0 mm	136,2 kNm	76,7 kN	76,7 kN
3,00 kN/m ²	7000 mm	15,0 mm	140,6 kNm	80,4 kN	80,4 kN
3,50 kN/m ²	6800 mm	14,9 mm	149,2 kNm	87,7 kN	87,7 kN

Taulukko 28. Palkin kestävyystulokset, katoksen syvyys 8000 mm

Peltikatto					Päätytuki
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}/M_{c,Rd}	V_{Ed}/V_{c,Rd}	F_{Ed}/F_{Rd}
2,00 kN/m ²	7700 mm	58,4 %	32,0 %	8,4 %	13,5 %
2,50 kN/m ²	7400 mm	60,8 %	34,9 %	9,5 %	15,3 %
2,75 kN/m ²	7200 mm	60,4 %	35,8 %	10,0 %	16,1 %
3,00 kN/m ²	7100 mm	61,7 %	37,1 %	10,5 %	17,0 %
3,50 kN/m ²	6900 mm	63,9 %	39,8 %	11,6 %	18,7 %
Tiilikatto					Päätytuki
Lumi EC maassa	Aukko max	Taipuma	M_{Ed}/M_{c,Rd}	V_{Ed}/V_{c,Rd}	F_{Ed}/F_{Rd}
2,00 kN/m ²	7400 mm	58,8 %	32,6 %	8,9 %	14,3 %
2,50 kN/m ²	7200 mm	62,5 %	36,0 %	10,1 %	16,2 %
2,75 kN/m ²	7100 mm	63,4 %	37,7 %	10,7 %	17,2 %
3,00 kN/m ²	7000 mm	64,3 %	38,9 %	11,2 %	18,0 %
3,50 kN/m ²	6800 mm	65,7 %	41,2 %	12,2 %	19,6 %

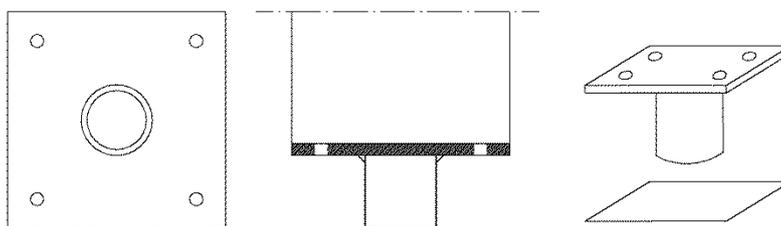
6.2.4 Loppuyhteenveto palkin mitoituksesta

Saatujen laskentatulosten perusteella voitiin todeta, että myös autokatoksen palkin mitoittavaksi tekijäksi muodostui taipuma. Muissa kestävyystarkasteluissa palkin kapasiteetti kesti reilusti voimasuureiden rasitukset. Koska ristikot on kiinnitetty 900 mm:n välein ylälaippaan, kiepahdustarkastelussa voitiin todeta, että kiepahdus ei missään nimessä voinut muodostua mitoittavaksi tekijäksi. Pistekuormakesävyys tutkittiin päätytuella pienimmällä käytettävällä pilarikoolla, jolla kapasiteetti jäi reilusti alle maksimikapasiteettiarvon. Pistekuorman ja leikkausvoiman yhteisvaikutusta ei tutkittu koska, ristikoiden aiheuttamat tukireaktiot ovat niin pieniä, että tämä yhteisvaikutus ei tule mitoittavaksi tekijäksi.

Mitoituksessa tutkittiin pelkästään peruslumikuormatapauksia. Jatkossa tulee kuitenkin tilanteita, jossa talon päädyssä on autokatos, jolloin katolle joudutaan laskemaan kinostunut lumikuorma. Nämä tapaukset joudutaan tutkimaan aina tapauskohtaisesti, koska kinostuvan lumikuorman arvoon vaikuttavat niin monet tekijät. Todennäköisesti tällöinkin mitoittavaksi tekijäksi muodostuu taipuma, koska palkin kestävyys voimasuureiden aiheuttamille rasituksille on suuri.

6.3 Autokatoksen pilarijalan mitoitus

Teräspalkin käyttöönoton myötä palkin päässä oleville pilareille tulevat kuormitukset kasvavat ja nykyisen pilarijalan kestävyys ei ole riittävä. Tämän seurauksena tuli mitoittaa pilarijalka, joka kestäisi kasvavat kuormitukset.



Kuvio 30. Autokatoksen pilarijalka

Pilarijalka putki Ø48,3x4

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma M_0} = \frac{557 \text{ mm}^2 * 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 197,7 \text{ kN}$$

Putki hitsataan 8mm levyyn. Koska kuormittava voima puristusta riittää hitsin a-
mitaksi minimimitta 3mm.

LÄHTEET

- Eriksson, E. Ei päiväystä. Stabiliateetti ja jäykistäminen. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 23.3.2013]. Saatavana: http://alk.tiehallinto.fi/sillat/eurocode/Eriksson_stabiliateetti_ja_jaykistaminen.pdf
- Kaitila, O. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus: Eurocode 3 oppikirja. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys
- Karhunen, J., Lassila, V., Pyy, S., Ranta, A., Räsänen, S., Saikkonen, M. & Suosara, E. 2006. Lujuusoppi. 10 muuttumaton painos. Helsinki. Otatieto.
- Lepistö, M., Ongelin, P. & Valkonen I. 2010. Hitsatut profiilit käsikirja. [Verkkajulkaisu]. Keuruu: Rautaruukki Oyj. [Viitattu 2.4.2013]. Saatavana: <https://software.ruukki.com/PublishedService?file=page&pageID=9&itemcode=1-3-1-2>
- Puuinfo. 2011. Puurakenteiden suunnittelu: Lyhennetty suunnitteluohje. Kolmas painos. [Verkkajulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 25.4.2013] Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/eurokoodit/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu>
- RIL 205-1-2009. 2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry
- SFS-EN 1090-2. Suomenkielinen käännös 17.8.2009. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteuttaminen. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS
- SFS-1993-1-1. Suomenkielinen käännös 16.10.2006. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS
- SFS-1993-1-5. Suomenkielinen käännös 25.6.2007. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-5: Levyrakenteet. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS
- SFS-1993-1-8. Suomenkielinen käännös 16.10.2006. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS
- Teräsrakenneyhdistys. 7.6.2011. Normikortti N:o 20/2008: Leikkausvoiman ja piste-kuorman yhteisvaikutus. [Verkkajulkaisu]. Helsinki. Teräsrakenneyhdistys r.y. [Viitattu 23.3.2013]. Saatavana: http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/ohjeet_ja_patevyydet/normikortit/

LIITTEET

LIITE 1. IPE- Profiilien mitoitusarvoja

LIITE 2. Välipohjan teräspalkki

LIITE 3. Päätykuisti

LIITE 4. Teräspalkin liitos liimapuupalkkiin

LIITE 5. Teräspalkin liitos ulkoseinään

LIITE 6. Autokatoksen teräspalkki

LIITE 1 IPE- Profiilien mitoitusarvoja

Poutrelles I européennes (suite)

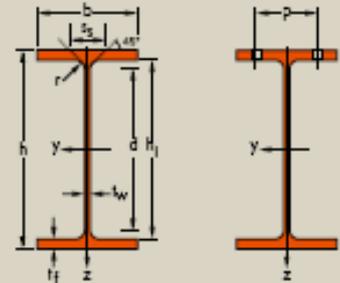
Dimensions: IPE 80 - 600 conformes à la norme américaine EU 10-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 suivant norme AM
 Tolérances: EN 10934:1993
 Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European I beams (continued)

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 10-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 gemäß AM Standard
 Tolerances: EN 10934:1993
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische I-Profile (Fortsetzung)

Abmessungen: IPE 80 - 600 gemäß früherer Norm EU 10-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 gemäß AM Standard
 Toleranzen: EN 10934: 1993
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



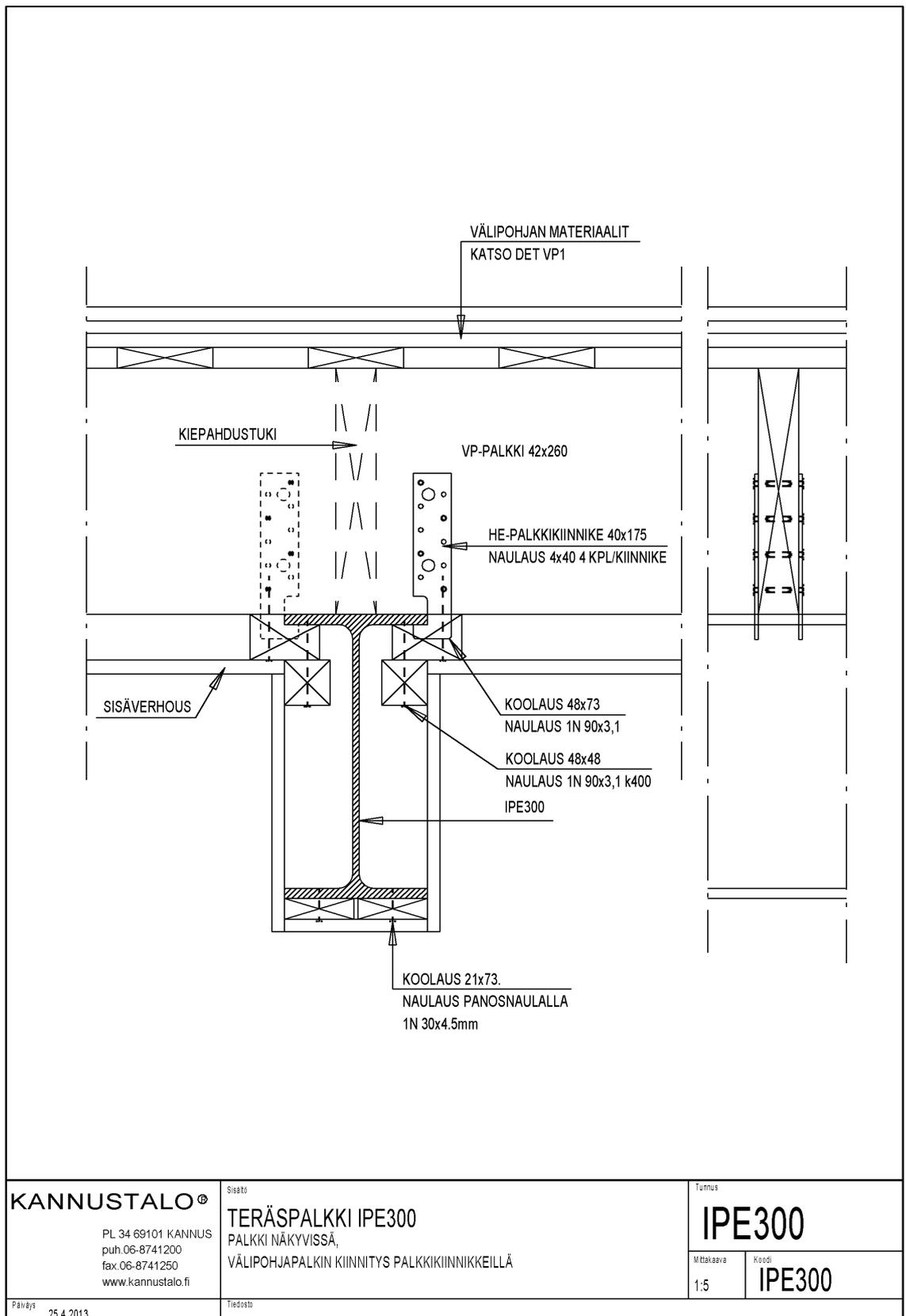
Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ³	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _s mm	t _w mm	r mm		h ₁ mm	d mm	Ø mm	p _{max} mm	p _{min} mm	A _e m ² /m	A _o m ² /t
IPEAA 240*	24,9	236,4	120	4,8	8,0	15,0	31,7	220,4	190,4	M 12	64	68	0,917	36,86
IPEA 240*	26,2	237	120	5,2	8,3	15,0	33,3	220,4	190,4	M 12	64	68	0,918	35,10
IPE 240	30,7	240	120	6,2	9,8	15,0	39,1	220,4	190,4	M 12	66	68	0,922	30,02
IPE O 240+	34,3	242	122	7,0	10,8	15,0	43,7	220,4	190,4	M 12	66	70	0,932	27,17
IPEA 270*	30,7	267	135	5,5	8,7	15,0	39,2	249,6	219,6	M 16	70	72	1,037	33,75
IPE 270	36,1	270	135	6,6	10,2	15,0	45,9	249,6	219,6	M 16	72	72	1,041	28,86
IPE O 270+	42,3	274	136	7,5	12,2	15,0	53,8	249,6	219,6	M 16	72	72	1,051	24,88
IPEA 300*	36,5	297	150	6,1	9,2	15,0	46,5	278,6	248,6	M 16	72	86	1,156	31,65
IPE 300	42,2	300	150	7,1	10,7	15,0	53,8	278,6	248,6	M 16	72	86	1,160	27,46
IPE O 300+	49,3	304	152	8,0	12,7	15,0	62,8	278,6	248,6	M 16	74	88	1,174	23,81
IPEA 330*	43,0	327	160	6,5	10,0	18,0	54,7	307,0	271,0	M 16	78	96	1,250	29,09
IPE 330	49,1	330	160	7,5	11,5	18,0	62,6	307,0	271,0	M 16	78	96	1,254	25,52
IPE O 330+	57,0	334	162	8,5	13,5	18,0	72,6	307,0	271,0	M 16	80	98	1,268	22,24
IPEA 360*	50,2	357,6	170	6,6	11,5	18,0	64,0	334,6	298,6	M 22	86	88	1,351	26,91
IPE 360	57,1	360	170	8,0	12,7	18,0	72,7	334,6	298,6	M 22	88	88	1,353	23,70
IPE O 360+	66,0	364	172	9,2	14,7	18,0	84,1	334,6	298,6	M 22	90	90	1,367	20,69
IPEA 400*	57,4	397	180	7,0	12,0	21,0	73,1	373,0	331,0	M 22	94	98	1,464	25,51
IPE 400	66,3	400	180	8,6	13,5	21,0	84,5	373,0	331,0	M 22	96	98	1,467	22,12
IPE O 400+	75,7	404	182	9,7	15,5	21,0	96,4	373,0	331,0	M 22	96	100	1,481	19,57
IPE A 450*	67,2	447	190	7,6	13,1	21,0	85,6	420,8	378,8	M 24	100	102	1,603	23,87
IPE 450	77,6	450	190	9,4	14,6	21,0	98,8	420,8	378,8	M 24	100	102	1,605	20,69
IPE O 450+	92,4	456	192	11,0	17,6	21,0	118	420,8	378,8	M 24	102	104	1,622	17,96
IPE A 500*	79,4	497	200	8,4	14,5	21,0	101	468,0	426,0	M 24	100	112	1,741	21,94
IPE 500	90,7	500	200	10,2	16,0	21,0	116	468,0	426,0	M 24	102	112	1,744	19,23
IPE O 500+	107	506	202	12,0	19,0	21,0	137	468,0	426,0	M 24	104	114	1,760	16,4

IPE

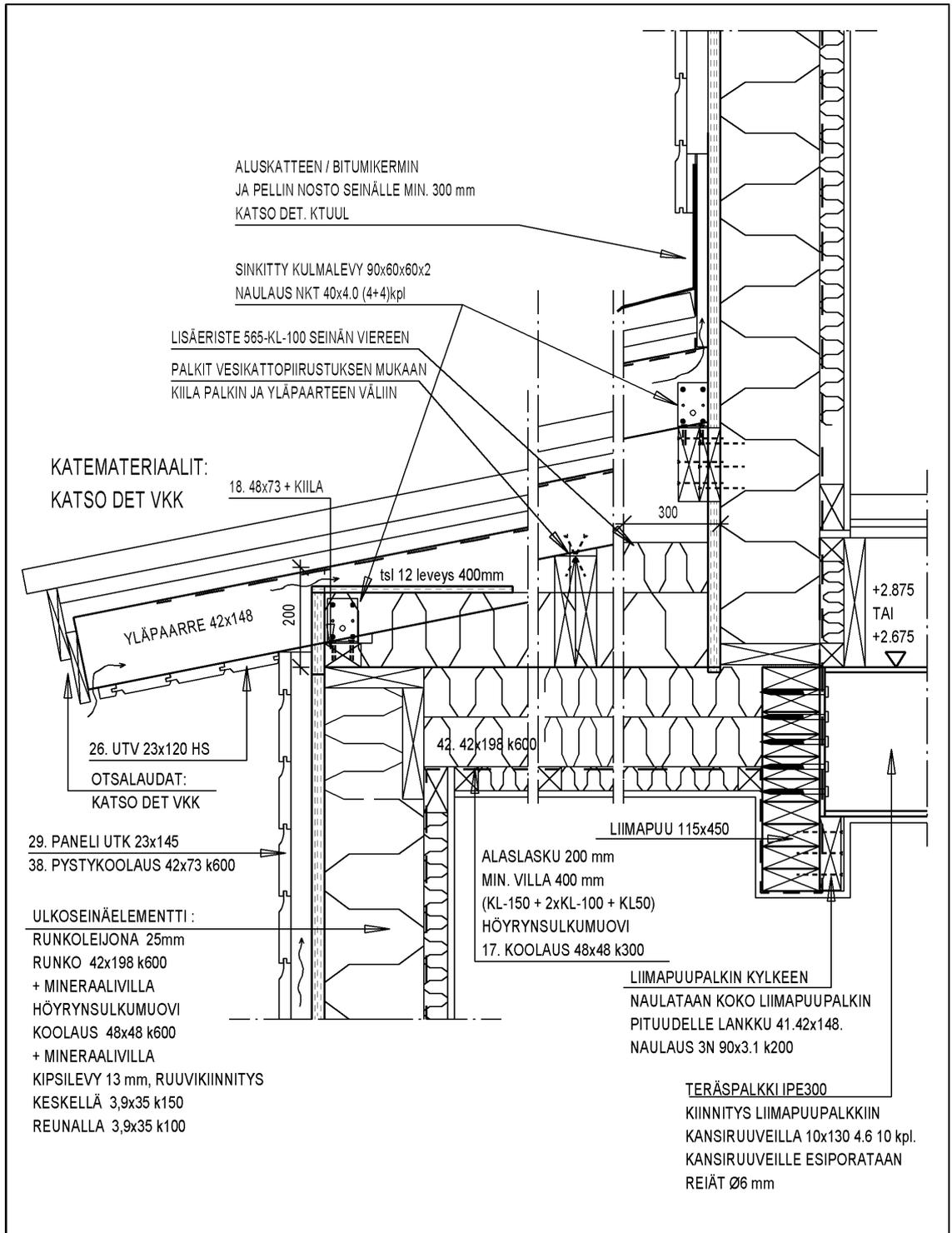
Notations pages 205-209 / Bezeichnungen Seiten 205-209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statistiques / Section properties / Statistische Kennwerte													Classification EN 1993-1-1:2005						EH 10025-2:2004	EH 10025-4:2004	EN 10225:2001
	axe forte y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G	I _y	W _{ey}	W _{ey} *	I _y	A _e	I _z	W _{ez}	W _{ez} *	I _z	i _y	i _z	L _y	L _z	S235	S355	S460	S235	S355			
kg/m	mm ⁴ x10 ⁸	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁸	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm	mm ⁴ x10 ⁸	mm ⁴ x10 ⁸									
PEAA 240	24,0	3154	267	298	0,97	15,3	231	38,6	60,0	2,70	38,4	7,33	30,1	1	1	-	3	4	-	✓	✓	✓
PEA 240	26,2	3290	278	312	0,94	16,3	240	40,0	62,4	2,68	39,4	8,35	31,3	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
PE 240	30,7	3892	324	367	0,97	19,1	284	47,3	73,9	2,69	43,4	12,9	37,4	1	1	1	1	2	4	✓	✓	✓
PE O 240	34,3	4369	361	410	10,0	21,4	329	53,9	84,4	2,74	46,2	17,2	43,7	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
PEA 270	30,7	4917	368	413	11,2	18,8	358	53,0	82,3	3,02	40,5	10,3	59,5	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
PE 270	36,1	5790	429	484	11,2	22,1	420	62,2	97,0	3,02	44,6	15,9	70,6	1	1	1	2	3	4	✓	✓	✓
PE O 270	42,3	6947	507	575	11,4	25,2	514	75,5	118	3,09	49,5	24,9	87,6	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
PEA 300	36,5	7173	483	542	12,4	22,3	519	69,2	107	3,34	42,1	13,4	107	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
PE 300	42,2	8356	557	628	12,5	25,7	604	80,5	125	3,35	46,1	20,1	126	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
PE O 300	49,3	9994	658	744	12,6	29,1	746	98,1	153	3,45	51,0	31,1	158	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
PEA 330	43	10230	626	702	13,7	27,0	685	85,6	133	3,54	47,6	19,6	172	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
PE 330	49,1	11770	713	804	13,7	30,8	788	98,5	154	3,55	51,6	28,2	199	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
PE O 330	57	13910	833	943	13,8	34,9	960	119	185	3,64	56,6	42,2	246	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
PEA 360	50,2	14520	812	907	15,1	29,8	944	111	172	3,84	50,7	26,5	282	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
PE 360	57,1	16270	904	1019	15,0	35,1	1043	123	191	3,79	54,5	37,3	314	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
PE O 360	66	19050	1047	1186	15,1	40,2	1251	146	227	3,86	59,7	55,8	380	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
PEA 400	57,4	20290	1022	1144	16,7	35,8	1171	130	202	4,00	55,6	34,8	432	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
PE 400	66,3	23130	1160	1307	16,6	42,7	1318	146	229	3,95	60,2	51,1	490	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
PE O 400	75,7	26750	1324	1502	16,7	48,0	1564	172	269	4,03	65,3	73,1	588	1	1	1	2	3	4	✓	✓	✓
PEA 450	67,2	29760	1331	1494	18,7	42,3	1502	158	246	4,19	58,4	45,7	705	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
PE 450	77,6	33740	1500	1702	18,5	50,9	1676	176	276	4,12	63,2	66,9	791	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
PE O 450	92,4	40920	1795	2046	18,7	59,4	2085	217	341	4,21	70,8	109	998	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
PEA 500	79,4	42930	1728	1946	20,6	50,4	1939	194	302	4,38	62,0	62,8	1125	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
PE 500	90,7	48200	1930	2194	20,4	59,9	2142	214	336	4,31	66,8	89,3	1249	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
PE O 500	107	57780	2284	2613	20,6	70,2	2622	260	409	4,38	74,6	144	1548	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓

LIITE 2 Välipohjan teräspalkki



LIITE 3 Päättykuisti



KANNUSTALO®

PL 34 69101 KANNUS
puh.06-8741200
fax.06-8741250
www.kannustalo.fi

Sisältö

SIVURÄYSTÄS, KUISTI
LÄMMIN KUISTI, ALASLASKU
TERÄSPALKIN KIINNITYS, PALKKI NÄKYVISSÄ

Tunnus

SR 3.4_TP

Mittakaava

1:10

Koodi

RASR3.4_TP

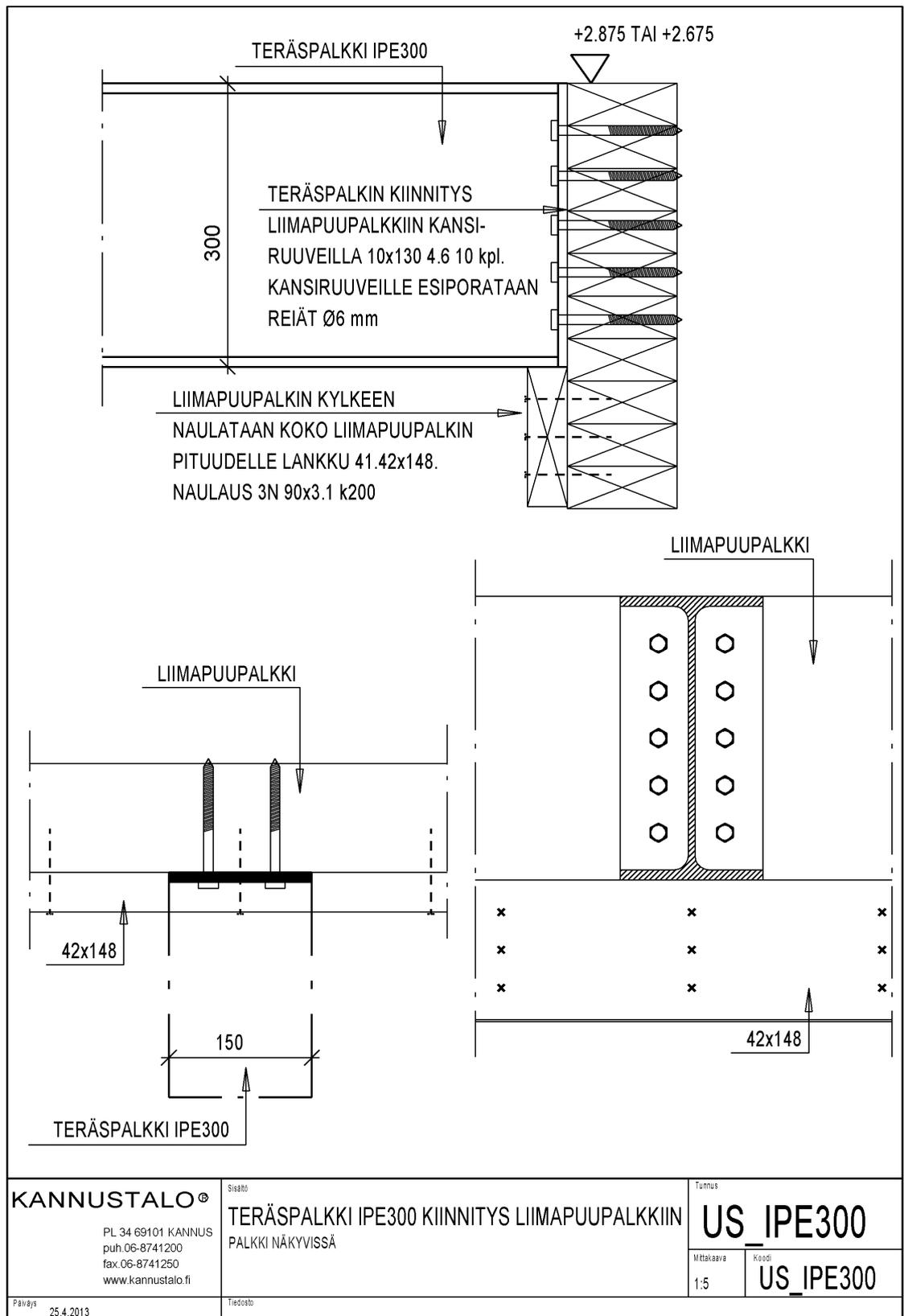
Päiväys

20.2.2013

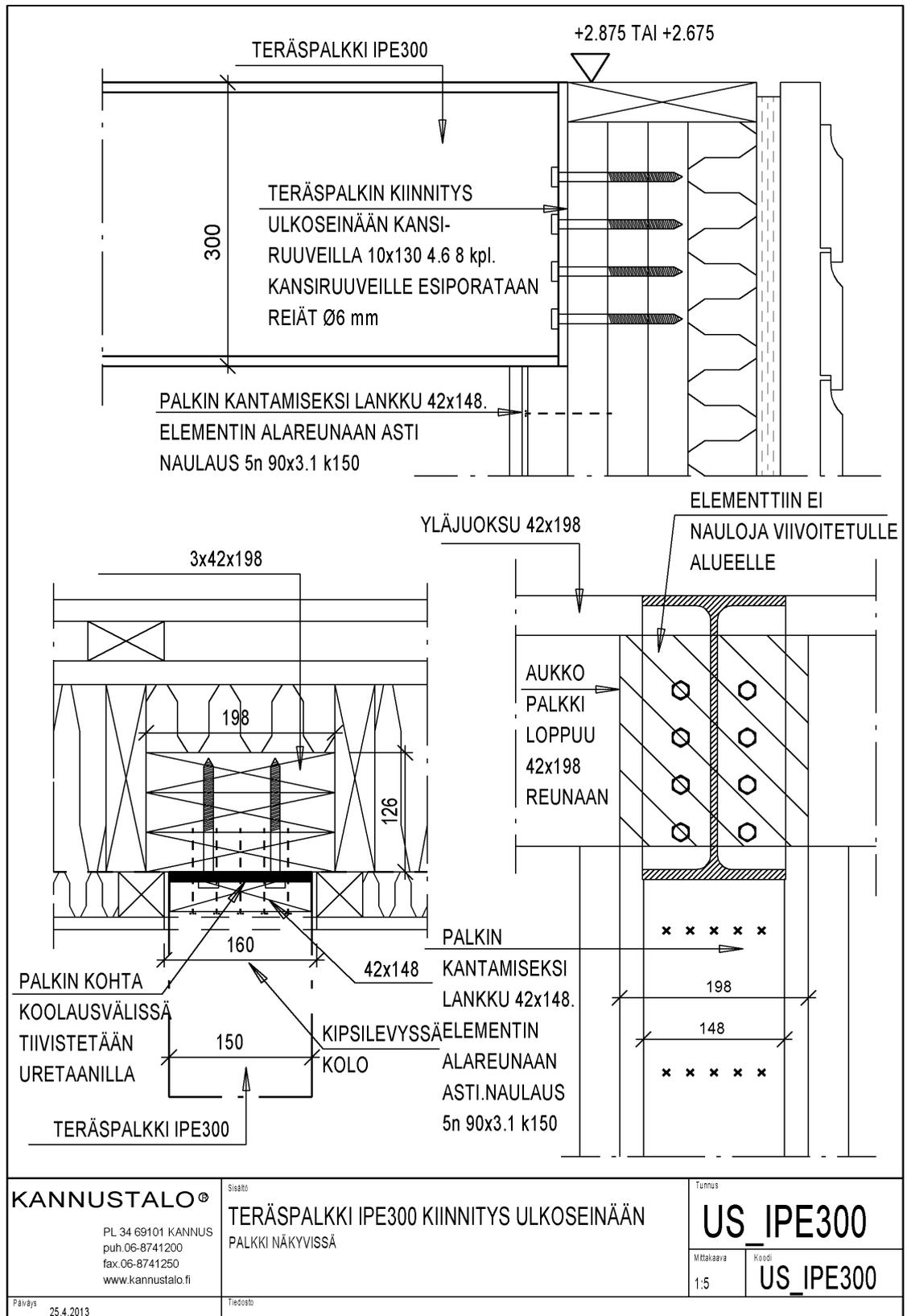
Tiedosto

OJANI/TERÄS/DETALJIT/SR3.4_TP

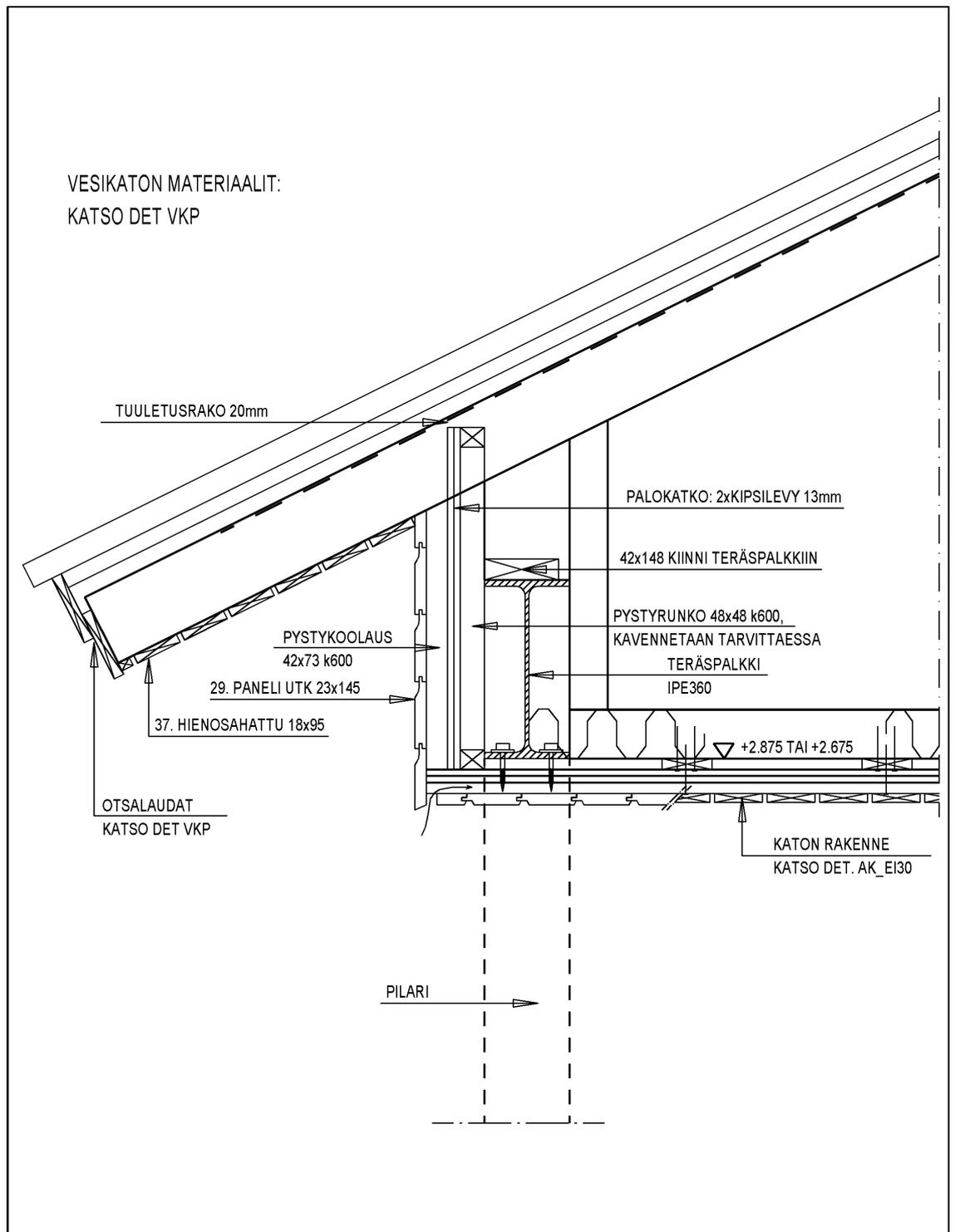
LIITE 4 Teräspalkin liitos liimapuupalkkiin



LIITE 5 Teräspalkin liitos ulkoseinään



LIITE 6 Autokatoksen teräspalkki



KANNUSTALO®

PL 34 69101 KANNUS
puh. 06-8741200
fax. 06-8741250
www.kannustalo.fi

Sisältö

AUTOKATOKSEN SIVURÄYSTÄS
PALOKATKO EI 30
SIVURÄYSTÄS
TERÄSPALKKI UPOTETTU

Tunnus

AKA_TP

Mittakaava

1:10

Koodi

AKA4_TP

Päiväys

Tiedosto