

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Henri Kananen

SHERPA-KIINNIKKEIDEN SOVELLUSLASKELMIA

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2014
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80160 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)
Henri Kananen

Nimeke
Sherpa-kiinnikkeiden sovelluslaskelmia

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia kaksi sovelluslaskelmaa Sherpan kiinnikkeille. Sovelluslaskelmat tehtiin puu-puukiinnikeliitokselle sekä betoni-puukiinnikeliitokselle.

Puu-puukiinnikeliitoksen laskelmat toteutettiin eurokoodi 5:n mukaisesti Suomen kansallinen liite huomioiden. Laskelmia verrattiin Sherpan tuoteluettelossa oleviin arvoihin, Sherpan laskentaohjeisiin ja Sherpan selainpohjaisen laskentatyökalun tuloksiin. Puu-betonikiinnikeliitos toteutettiin standardien CEN/TS 1992-4-1:2009 sekä ETAG 001:n mukaisesti.

Sovelluslaskelmia vertailtaessa suurin ero saatiin puu-puukiinnikkeen asennussuunnan ominaiskestävyyteen, joka jäi eurokoodi 5:n mukaisesti laskettuna puoleen Sherpan tuoteluettelon arvosta. Muut eurokoodi 5:n mukaisesti lasketut arvot olivat lähellä Sherpan tuoteluettelon arvoja.

Laatimiani sovelluslaskelmia voitaisiin hyödyntää esimerkiksi kiinnikkeen kestävyys todistavissa laskelmissa, joita rakennusvalvonta vaatii. Jatkokehitysmahdollisuutena laskelmien pohjalta olisi mahdollista tehdä Sherpan laskentatyökalun kaltainen laskentapohja, joka tuottaa suunnittelijalle selkeät laskelmat kaavoineen.

Kieli
suomi

Sivuja	60
Liitteet	-
Liitesivumäärä	-

Asiasanat
Sherpa, alumiinikiinnike, sovelluslaskelma, puurakentaminen



THESIS
May 2014
Degree Programme in Civil Engineering
Karjalankatu 3
FI 80160 JOENSUU
FINLAND
+358 13 260 600

Author(s)
Henri Kananen

Title
Application Calculations of Sherpa Connectors

Abstract

The purpose of this thesis was to prepare two application calculations of Sherpa connectors. The application calculations were made for timber connectors and concrete connectors.

Timber connectors were calculated according to Eurocode 5. In addition, the Finnish national annex for Eurocode 5 was included to the calculations account. Calculations were compared to values of Sherpa's catalogue, Sherpa's calculation instructions and also the results of Sherpa practical tool. Dimensioning of concrete connector were calculated according to standards CEN/TS 1992-4-1:2009 and ETAG 001.

When the application calculations were compared with each other, the most significant difference between these calculations was characteristic load-carrying capacity for centric loading in installation direction. That value was calculated according to Eurocode 5 and it was a half of the catalogue's value. Other values calculated according to Eurocode 5 were nearly the same as values of Sherpa catalogue.

These application calculations could be used for example in demonstrating calculations which are demanded by supervision of buildings. There is also an opportunity to make a similar calculation programme such as Sherpa but with produced calculations with equations.

Language	Pages	60
Finnish	Appendices	-
	Pages of Appendices	-

Keywords

Sherpa, aluminium connector, application calculation, timber construction

Sisältö

1	Johdanto.....	8
1.1	Tavoitteet.....	8
1.2	Rajaus.....	8
2	Sherpa-kiinnikkeet.....	9
2.1	Sherpa-kiinnikkeiden historia.....	9
2.2	Sherpa-kiinnikkeiden ominaisuudet.....	10
2.3	Liitin- ja ruuvityypit.....	10
2.4	Käyttökohteet.....	12
2.5	Palosuojaus.....	14
3	GL30-lujuusluokan liimapuu.....	16
4	Puu-puukiinnikeliitos eurokoodi 5:n mukaan.....	18
4.1	Poikittain kuormittuvat ruuvit.....	18
4.1.1	Teräksen ja puun väliset liitokset.....	20
4.1.2	Köysivaikutus.....	21
4.2	Pitkittäin kuormittuvat ruuvit.....	21
5	Puu-puukiinnikeliitos Sherpan ohjeiden mukaan.....	23
5.1	Ominaiskestävyys pituusakselin suuntaisesti.....	24
5.2	Ominaiskestävyys kiinnikkeen asennussuunnassa.....	25
5.3	Ominaiskestävyys kiinnikkeen asennussuuntaa vastaan.....	26
5.4	Ominaiskestävyys kohtisuoraan asennussuuntaa vastaan.....	26
6	Betoni-puukiinnikeliitos.....	28
6.1	Vetokestävyys.....	28
6.1.1	Kiinnikkeen teräksen murtuminen sekä ulosvetomurtuminen.....	29
6.1.2	Betonikartion murtuminen.....	29
6.1.3	Halkeamismurtuminen.....	32
6.2	Leikkauskestävyys.....	33
6.2.1	Kiinnikkeen teräksen murtuminen.....	33
6.2.2	Betonin lohkeamismurtuminen.....	34
6.2.3	Betonin reunamurtuminen.....	35
6.3	Veto- ja leikkauskestävyyden yhdistely.....	38
7	Tulokset.....	38
7.1	Laskentaesimerkki 1: Puu-puukiinnikeliitos.....	38
7.1.1	Puu-puukiinnikkeen ominaiskestävyydet EC5:n mukaan.....	41
7.1.2	Puu-puukiinnikkeen ominaiskestävyydet Sherpan ohjeilla.....	44
7.1.3	Käyttöasteet.....	47
7.2	Laskentaesimerkki 2: Betoni-puukiinnikeliitos.....	47
7.3	Johtopäätökset.....	54
8	Pohdinta.....	57
	Lähteet.....	59

Lyhenteet ja termit

a_1	Syysuuntainen liitinväli
$A_{c,N}^0$	Pinta-ala, jonka alalta betonikartion oletetaan murtuvan yksittäisen kiinnikkeen vaikutuksesta
$A_{c,N}$	Todellinen betonikartion pinta-ala, jossa on huomioitu kiinnikevälit ja reunaetäisyydet
A_h	Betoniankkurin pään pinta-ala
A_s	Raudoituksen poikkileikkausala
c	Reunaetäisyyksiä
d	Liittimen kierteen ulkohalkaisija
d_1	Liittimen kierteen sisähalkaisija
$E_{0,5}$	Viiden prosentin fraktaalialla vastaava kimmomoduulin arvo
E_{mean}	Kimmomoduulin keskiarvo
e_N	Kiinnikkeisiin epäkeskeisesti vaikuttavien voimien etäisyyksien resultantti
$f_{ax,k}$	Liittimen ulosvetolujuuden ominaisarvo, kun liitin on kohtisuorassa syysuuntaa vastaan
$F_{ax,Rk}$	Liittimen ulosvetokestävyyden ominaisarvo
$F_{ax,\alpha,Rk}$	Liittimen ulosvetokestävyyden ominaisarvo, kun liitos on kulmassa α syysuuntaan nähden
$f_{c,0,k}$	Puristuslujuuden ominaisarvo syysuuntaisessa puristuksessa
$f_{c,90,k}$	Puristuslujuuden ominaisarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa puristuksessa
$f_{ck,cube}$	Betonin kuutiolujuus
$f_{h,0,k}$	Reunapuristuslujuuden ominaisarvo liitoksen kuormittuessa syysuuntaisesta voimasta
$f_{h,k}$	Reunapuristuslujuuden ominaisarvo
$f_{m,k}$	Taivutuslujuuden ominaisarvo
$f_{r,k}$	Leikkauslujuuden ominaisarvo lappeellaan
$f_{t,0,k}$	Vetolujuuden ominaisarvo syysuuntaisessa vedossa
$f_{t,90,k}$	Vetolujuuden ominaisarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa vedossa

$f_{u,k}$	Teräksen vetomurtolujuuden ominaisarvo
$f_{v,k}$	Leikkauslujuuden ominaisarvo
$F_{v,ef,Rk}$	Liitoksen kestävyden tehollinen ominaisarvo
$F_{v,Rk}$	Liitoksen kestävyden ominaisarvo
f_{yk}	Betoniteräksen myötölujuuden ominaisarvo
h	Betonikappaleen paksuus
h_{ef}	Kiinnikkeen tartuntasyvyys
k	Muuntokertoimia
k_{ρ}	Tiheyden korjauskerroin
l_{ef}	Ruuvien kierreosan tunkeuma
$M_{y,Rk}$	Liittimen myötömomentin ominaisarvo
n	Liittimien määrä
N_{Ed}	Vetokestävyden mitoitusarvo
n_{ef}	Liittimien tehollinen määrä
N_{Rk}	Vetokestävyden ominaisarvo
R_1	Liitoksen ominaiskestävyys sekundaäripalkin pituusakselin suuntaisesti
R_2	Liitoksen ominaiskestävyys kiinnikkeen asennussuunnassa
R_3	Liitoksen ominaiskestävyys kiinnikkeen asennussuuntaa vastaan
R_{45}	Liitoksen ominaiskestävyys kohtisuoraan asennussuuntaa vastaan
$R_{ax,k}$	Täysin vedetyn liittimen ominaiskestävyys
R_{tor}	Liitoksen ominaiskestävyys vääntöä vastaan
s	Kiinnikeväli
t_1	Tunkeutumissyvyys
V_{Ed}	Leikkauskestävyyden mitoitusarvo
V_{Rk}	Leikkauskestävyyden ominaisarvo
VF	Kiinnikkeen koosta riippuva kerroin
t_1	Tunkeutumissyvyys
α	Kuorman suunnan ja syysuunnan välinen kulma; ruuvien akselin ja syysuunnan välinen kulma; kuorman suunnan ja kappaleen reunan välinen kulma
α_M	Kiinnityksen jäykkyys
γ	Osavarmuuslukuja

μ_0	Kitkakerroin
ρ_k	Tiheyden ominaisarvo
ρ_{mean}	Tiheyden keskiarvo
Ψ	Yhdistelykertoimia

1 Johdanto

Kiristyvien rakentamisaikataulujen myötä on alettu suosia pitkälle esivalmisteltuja tuotteita, jotka on helppo ja nopea asentaa työmaalla. Sherpa on tuottanut oman ratkaisunsa suunnittelun ja asennuksen nopeuttamiseksi. Tämä Itävallassa kehitetty tuote on vasta tekemässä tuloaan suomalaisen puurakentamisen markkinoille.

Puu-puukiinnikeliitokselle löytyy valmis selainpohjainen laskentatyökalu Sherpan kotisivuilta, mutta se ei ota huomioon eurokoodin kansallisia liitteitä, eikä siitä saa tulostettua laskelmia rakennusvalvontaa varten. Tästä syystä opinnäytetyössä päätettiin keskittyä kahteen eri tapaukseen, jossa tuotettiin esimerkkilaskelmat puu-puukiinnikeliitokselle sekä betoni-puukiinnikeliitokselle. Tekemiäni esimerkkilaskelmia voitaisiin hyödyntää esimerkiksi rakennusvalvontaa varten.

1.1 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä esimerkkilaskelma Sherpan puu-puukiinnikeseikä betoni-puukiinnikeliitoksesta. Puu-puukiinnikeliitos toteutettiin standardin SFS-EN 1995-1-1 eli eurokoodi 5:n mukaisesti, Suomen kansallinen liite huomioiden. Saatuja tuloksia tullaan vertailemaan Sherpan kotisivuilta löytyvään selainpohjaiseen laskentatyökaluun, Sherpan ilmoittamiin taulukkoarvoihin sekä Sherpan tuoteluettelossa esitettyihin laskentaohjeiden tuloksiin.

Laskelmissa käytettiin suomalaista erikoistuotetta, GL30-lujuusluokan liimapuuta, jota tullaan vertailemaan eurooppalaiseen liimapuun lujuusluokkaan GL32.

1.2 Rajaus

Tässä opinnäytetyössä keskitytään yhteen puu-puukiinnikeliitoksen ja yhteen betoni-puukiinnikeliitoksen perustapaukseen. Sherpan tuoteluettelon mukaisesti

lasketussa puu-puukiinnikeliitoksessa opinnäytetyössä esitetty teoria rajoittuu XS-L-kiinnikkeisiin. Kiinnikkeiden taulukkoarvoja selvittäessä ei ole laskettu kiinnikkeen ominaiskestävyyttä vääntöä vastaan, koska vääntöä syntyy yleensä asennuksen aikaisista epäkeskisyyksistä. Kohtisuoraan asennussuunnan ominaiskestävyyttä määrittäessä mitoitus on rajattu ruuviliitoksen leikkauskestävyyden tarkasteluun. Betoni-puukiinnikeliitoksen mitoituksessa ei ole huomioitu liitoksen lisäraudoitusta.

2 Sherpa-kiinnikkeet

2.1 Sherpa-kiinnikkeiden historia

Itävaltalainen Vinzenz Harrer havaitsi tarpeen standardisoiduille liitoksille puurakentamisessa vuonna 2002 ja alkoi kehittämään ratkaisua tähän. Muutaman vuoden tutkimustyön aikana Harrer sopi yhteistyöstä itävaltalaisen Grazin teknillisen yliopiston kanssa kehittääkseen Sherpan kiinnikejärjestelmän. Sherpa Connection System GmbH on ollut itsenäinen yhtiö vuodesta 2012. Päätoimipiste sijaitsee Itävallan Frohnleitenissä ja yhtiöllä on myös yhteistyöyhtiöitä ympäri maailmaa. [1.]

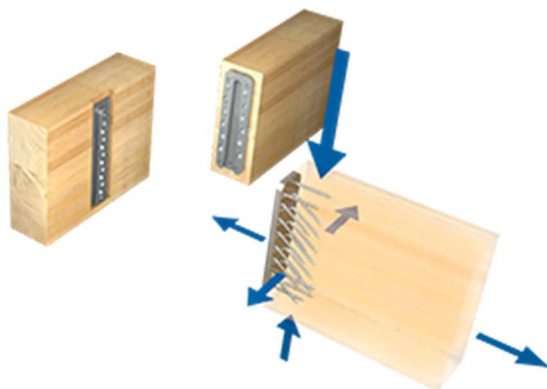
Sherpan kiinnikejärjestelmän kehityksen tuloksena puu-puuliitoksiin sopivien kiinnikkeiden lisäksi on kehitetty puu-betoni- ja puu-teräslitoksiin sopivia kiinnikkeitä. Tuotevalikoimaan kuuluu myös pilarikenkiä, erikoisruuveja ja palosuoja tuotteita. [1.]

Sherpa tekee edelleen jatkuvasti yhteistyötä Grazin teknillisen yliopiston sekä Innsbruckin yliopiston kanssa kehittääkseen tuotteita sekä varmistaakseen tuotteidensa laadun. [1.]

2.2 Sherpa-kiinnikkeiden ominaisuudet

Sherpan kiinnikkeet koostuvat kahdesta, toistensa muotoon sopivista alumiinikappaleista, jotka yhdistetään toisiinsa niin sanotulla lohenpyrstöliitoksella. Liitostekniikan ansiosta kuormat siirtyvät turvallisesti kuvan 1 nuolien osoittamissa suunnissa. Myös vedon, puristuksen ja momentin vaikutukset on huomioitu.

Sherpa tarjoaa omien sanojensa mukaan tehokkaan ratkaisun suunnittelusta työmaatoteutukseen. Pitkälle esivalmistellut liitokset mahdollistavat rakenteiden nopean pystytyksen rakennustyömaalla. Laaja tuotevalikoima mahdollistaa erilaisia ratkaisuja, ja perinteisten rakenneratkaisujen lisäksi kiinnikkeitä voidaan hyödyntää esimerkiksi autokatoksissa ja portaissa. [2.]



Kuva 1. Liitokseen kohdistuvien kuormien suuntia [3].

2.3 Liitin- ja ruuvityypit

Sherpan liittimet on jaoteltu ominaiskestävyytensä ja fyysisen kokonsa mukaan XS–XXL-sarjoihin. Jokaisesta sarjasta löytyy 4–9 liitintä, jotka on nimetty sarjan kirjainyhdistelmän lisäksi ominaiskantavuutensa mukaan numeroarvolla. Betoni- ja teräsliittimet tunnistaa nimen perässä olevasta CS-liitteestä. Sherpa valmistaa myös pienempiä, niin sanottuja asennussarjan liittimiä.

Liittimen tyypistä riippuen käytössä on keltasinkittyjä tai sinkki-nikkelipintaisia Sherpan erikoisruuveja. Keltasinkitty erikoisruuvi (kuva 2) soveltuu EN ISO

12946-2 -standardin mukaisiin korroosiluokkiin C1, C2 ja C3. Sinkki-nikkelipintainen ruuvi soveltuu korroosiluokkiin C1–C5. Sherpan patentoidussa 8 mm:n erikoisruuvissa on halkaistu kärki, joka mahdollistaa halkeamattoman puuhun ruuvaamisen ilman esiporausta. CS-sarjassa on käytössä Multi-Montin betoniruuvit. Taulukossa 1 on esitetty Sherpan erikoisruuvien koot kiinnikkeittäin. [4, s. 216.]

Taulukko 1. Sherpan erikoisruuvien koot [4, s. 216]

Sarja	Keltasinkittyruuvi	Sinkki-nikkelipintainen ruuvi	CS-sarjan ruuvit
XS-S	4,5 x 50 mm	4,5 x 50 mm	
M	6,5 x 65 mm		Multi-Monti MMS-F 7,5 x 60
L	8,0 x 100 mm	8,0 x 100 mm	Multi-Monti MMS-F 10 x 80
XL- XXL	8,0 x 120 mm 8,0 x 140 mm 8,0 x 160 mm 8,0 x 180 mm	8,0 x 160 mm	Multi-Monti MMS-F 10 x 80 tai HL-ankkuri FH II 12/15 SK 12 x 90 mm



Kuva 2. Keltasinkitty SHERPA 8,0 x 100 mm erikoisruuvi [5].



Kuva 3. SHERPA L80-kiinnike [6].

2.4 Käyttökohteet

Sherpan kiinnikkeillä voidaan tehdä liitoksia perinteisistä palkki-palkkiliitoksista viistoihin pylväs- tai palkkiliitoksiin (kuvat 4 ja 5). Rakenteet voivat olla esimerkiksi tähtimäisiä, pyöreitä tai pitkäjänteisiä rakenteita (kuvat 6 ja 7). Kiinnikkeillä voidaan liittää esimerkiksi hallin seinäelementtejä pilareihin, hallin sekundääripalkkeja pääkannattimiin tai kerrostalo- ja toimistorakennuksen seinä- sekä välipohjajaelementtejä rakennuksen runkoon (kuva 8). Liitoksista saadaan viimeistellyn näköisiä, kun kiinnike on upotettuna palkin pätyyn ja näin ollen liitosta ei tarvitse verhoilla erikseen.



Kuva 4. Palkki-palkkiliitos [7, s. 4].



Kuva 5. Viisto pylväsliitos [7, s. 7].



Kuva 6. Tähtimäiset rakenteet [7, s. 9].



Kuva 7. Pyöreät rakenteet [7, s. 9].



Kuva 8. Kerrostalojen ja liikerakennuksien seinä- ja välipohjaelementtien liittämisen runkorakenteeseen [7, s. 11].

Uusimpana innovaationa Sherpa on kehitellyt puu-betoni- ja puu-tiilikiinnikkeet, joilla pystytään liittämään esimerkiksi liimapuupalkki helposti suoraan betonirakenteeseen (kuva 9). Sherpalla on myös puu-teräskiinnikkeitä, joilla voidaan liittää puurakenne teräsrakenteeseen (kuva 9).



Kuva 9. Puu-betoni- ja puu-tiilikiinnikkeliitos sekä puu-teräskiinnikkeliitos [7, s. 12].

2.5 Palosuojaus

Sherpan kiinnikkeille ei ole tällä hetkellä olemassa menetelmää, jonka avulla voitaisiin määritellä kiinnikkeelle paloluokka kuten puurakenteille. Palosuojaus on kuitenkin huomioitu suunniteltaessa Sherpan ruuvien minimireunaetäisyyksiä, jotka löytyvät Sherpan tuoteluettelosta. 30 minuutin palonkesto aika saavutetaan esimerkiksi siten, että kiinnike on suojattu puulla (kuva 10) tai upotettu puun sisään (kuva 11) niin, ettei alumiiniosia jää näkyviin. Toinen vaihtoehto on suojata liitos palosuojamateriaalilla, esimerkiksi Sherpan omalla palosuojanauhalla (kuva 12). [8, s. 136.]



Kuva 10. Kiinnikkeen suojaaminen puulla [7, s. 13].



Kuva 11. Kiinnike upotettuna puun sisään.



Kuva 12. Sherpan palosuojanauha [9].

3 GL30-lujuusluokan liimapuu

Suomessa on ollut käytössä vuoteen 2013 asti kaksi hyväksyttyä menetelmää liimapuurakenteiden mitoittamiseksi: kansallinen rakennusmääräyskokoelman osa B10 ja eurokoodi 5 [10]. Eurokoodi 5:n mukaista rakenteiden mitoitusta on voinut suorittaa vuodesta 2007, jolloin eurokoodit otettiin ensimmäisen kerran käyttöön [11]. Eurokoodin myötä myös lujuusluokat ovat uudistuneet eurooppalaisen standardin mukaiseksi. Aiemmin käytetyt L-lujuusluokat ovat muuttuneet GL-lujuusluokiksi. [10.]

Vuonna 2013 rakennustuotteille on tullut pakolliseksi myös CE-merkintä, mikäli tuotteelle sovelletaan eurooppalaisia harmonisoituja tuotestandardeja. CE-merkintä helpottaa tuotteiden vertailua sekä mahdollistaa vapaamman eurooppalaisen kaupankäynnin. [12.] Liimapuu on oikeutettu CE-merkintään, mikäli sen lujuusominaisuudet määritellään standardin EN 14080 mukaan [10].

Suomessa voidaan valmistaa ja CE-merkitä GL30-lujuusluokan liimapuuta vuoden 2012 lopussa vahvistetun kansallisen soveltamisstandardin SFS 7027 mukaisesti [13]. Kyseinen standardi täydentää standardia EN 14080, ja siinä kerrotaan ominaisuudet, jotka on ilmoitettava CE-merkitylle liimapuulle [14, s. 2].

Liimapuuluokituksen viimeinen kirjain kertoo, onko se yhdistetty (c) liimapuu vai homogeeninen (h) liimapuu. Yhdistetty liimapuu on valmistettu erilujuisista lamelloista. Lujemmat lamellit on sijoitettu poikkileikkauksen uloimmille sivuille, missä jännitykset ovat yleensä suurimmat. Homogeenisessa liimapuussa kaikki lamellit ovat lähes yhtä lujia. 14, s. 11.]

Liimapuun GL30h kaikkien lamellien tulee olla lujuusluokaltaan vähintään T22, kuten myös liimapuun GL30c uloimpien lamellien. Lisäksi liimapuun GL30c sisälamellien lujuusluokan tulee olla vähintään T15. [14, s. 5.]

Taulukossa 2 on esitetty tarkemmin lujuusluokan GL30 liimapuun ominaisuudet ja tiheys.

4 Puu-puukiinnikeliitos eurokoodi 5:n mukaan

Eurokoodi 5:n mukaan usean liittimen avulla muodostetuissa liitoksissa yhden liitinrivin kestävyuden tehollinen ominaisarvo $F_{v,ef,Rk}$ saadaan seuraavasti [16, s. 50]:

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk} \quad (1)$$

missä:

$F_{v,ef,Rk}$ on syysuuntaisen yhden liitinrivin kestävyuden tehollinen ominaisarvo

n_{ef} on syysuuntaisen liitinrivin liittimien tehollinen määrä, katso yhtälö 6

$F_{v,Rk}$ on syysuuntaisesti kuormittuvan yksittäisen liittimen kestävyuden ominaisarvo

4.1 Poikittain kuormittuvat ruuvit

Kun poikittain kuormitetun ruuvin kestävyyttä määritellään, on huomioon otettava ruuvin kierteisen osan vaikutus ja tällöin käytetään ruuvin tehollista halkaisijaa d_{ef} . Halkaisijaltaan yli 6 mm osakierteiset ruuvit mitoitetaan pultteina, kun taas halkaisijaltaan enintään 6 mm olevat osakierteiset ruuvit mitoitetaan nauloina. [16, s. 67.] Tässä opinnäytetyössä on keskitytty halkaisijaltaan yli 6 mm osakierteisiin ruuveihin, jotka kattavat liittimien M-XXL ruuvit (6,5 mm – 8,0 mm).

Yli 6 mm halkaisijaltaan olevan ruuvin myötömomentin ominaisarvo saadaan yhtälöstä 2 [16, s. 64].

$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,k}d^{2,6} \quad (2)$$

missä:

$M_{y,Rk}$ on myötömomentin ominaisarvo [Nmm]
 $f_{u,k}$ on vetolujuuden ominaisarvo [N/mm²]
 d on ruuvin halkaisija [mm].

Sahatavaran reunapuristuslujuuden ominaisarvo saadaan yhtälöstä 3, kun syysuunnan ja liitosta kuormittavan voiman välinen kulma on α [16, s. 64]:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (3)$$

ja

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k \quad (4)$$

missä:

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d \text{ (havupuulle)} \quad (5)$$

ja:

$f_{h,0,k}$ on reunapuristuslujuuden ominaisarvo liitoksen kuormittuessa syysuuntaisesta voimasta [N/mm²]
 ρ_k on puun tiheyden ominaisarvo [kg/m³]
 α on kuorman ja syysuunnan välinen kulma
 d on ruuvin halkaisija [mm].

Syysuuntaisesta voimasta johtuvaa liitoksen kuormitusta laskettaessa, saadaan yhden syysuuntaisen rivin ruuvien tehollinen määrä n_{ef} yhtälöstä 6 [16, s. 65].

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\} \quad (6)$$

missä:

a_1 on syysuuntainen ruuviväli
 d on ruuvin halkaisija
 n on samassa rivissä olevien ruuvien määrä.

4.1.1 Teräksen ja puun väliset liitokset

Sherpan kiinnikkeet on valmistettu alumiinista, mutta tässä opinnäytetyössä tarkastelu on tehty teräksen ja puun välisenä liitoksena.

Liitoksen kestävyys ominaisarvo teräksen ja puun välisessä liitoksessa riippuu teräslevyn paksuudesta. Kun teräslevyn paksuus on vähintään d ja reiän halkaisijan toleranssi on alle $0,1d$, luokitellaan se paksuksi teräslevyksi. Paksuudeltaan alle $0,5d$ olevat teräslevyt luokitellaan ohuiksi. [16, s. 53.] Sherpan kiinnikkeet luokitellaan käytännössä aina paksuksi teräslevyiksi, kuten taulukosta 4 voidaan havaita.

Taulukko 4. Teräslevyn paksuuden vertaileminen ruuvin paksuuteen.

Kiinnike	Teräslevyn paksuus	Ruuvin paksuus d	
XS-S	6 mm	4,5 mm	Paksu
M	7 mm	6,5 mm	Paksu
L	9 mm	8 mm	Paksu
XL-XXL	10 mm	8 mm	Paksu

Sherpan kiinnikkeissä liitos on yksileikkeinen, joten ruuvin kestävyys ominaisarvo saadaan seuraavasta lausekkeesta [16, s. 54]:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} t_1 d^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad (7)$$

missä:

$F_{v,Rk}$ on kestävyys ominaisarvo leikkaustasoa ja liitintä kohti

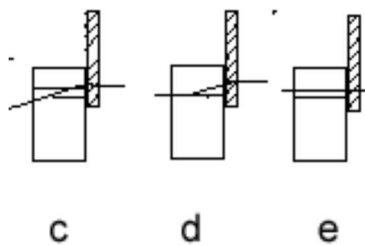
$f_{h,k}$ on puuosan reunapuristuslujuuden ominaisarvo

t_1 on puisen sivukappaleen tunkeuma

d on liittimen paksuus tai halkaisija

$M_{y,Rk}$ on liittimen myötömomentin ominaisarvo
 $F_{ax,Rk}$ on liittimen ulosvetokestävyyden ominaisarvo.

Yksileikkeisessä paksun teräslevyn liitoksessa, ruuvi voi murtua kolmella tavalla. Kyseiset murtumistavat otetaan huomioon yhtälössä 6, jossa kukin rivi vastaa yhtä murtumistapaa. Murtumistavat on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Yksileikkeisen paksun teräslevyn liitoksen murtumistavat [16, s. 53].

4.1.2 Köysivaikutus

Poikittain kuormitetun liittimen kestävyden ominaisarvoa laskettaessa oikeanpuoleinen termi $F_{ax,Rk}/4$ kaavassa 7 on köysivaikutuksesta tuleva osuus. Ruuvi-liitoksessa voidaan käyttää köysivaikutuksen koko osuutta. Köysivaikutus tulee jättää huomioimatta, mikäli ulosvetokestävyyden $F_{ax,Rk}$ arvoa ei tunneta. [16, s. 52-53.]

4.2 Pitkittäin kuormittuvat ruuvit

Seuraavat murtumistavat on huomioitava pitkittäin kuormittuvien ruuvien kestävyttä mitoittaessa:

- ruuvin kierteisen osan ulosvetomurtuminen
- teräslevyjen yhteydessä käytettävien ruuvien kannan irtoaminen; kannan irtoamiskestävyyden edellytetään olevan suurempi kuin ruuvien vetokestävyys
- ruuvin kannan läpivetomurtuminen

- ruuvien vetomurtuminen
- puristetun ruuvien nurjahtaminen
- teräslevyjen yhteydessä käytettävien ruuvien murtuminen pitkin ruuviryhmän piiriä (lohkeamismurtuminen tai palamurtuminen). [16, s. 37.]

Kun kierreosan tunkeuma on kärjenpuoleisessa puussa vähintään $6d$ ja ruuviliitos on standardin EN 14592 mukainen, jossa

- $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$
- $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$

missä:

d on kierteen ulkohalkaisija

d_1 on kierteen sisähalkaisija.

Tällöin ulosvetokestävyyden ominaisarvoksi saadaan kaavan 8 mukainen arvo [16, s. 68–69.]:

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d l_{ef} k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (8)$$

missä:

$$f_{ax,k} = 0,52 d^{-0,5} l_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8} \quad (9)$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8}, 1 \right\} \quad (10)$$

$F_{ax,\alpha,Rk}$ on ulosvetokestävyyden ominaisarvo [N], kun liitos on kulmassa α syysuuntaan nähden

$f_{ax,k}$ on ulosvetolujuuden ominaisarvo [N/mm²], kun ruuvi on kohtisuorassa syysuuntaa vastaan

n_{ef} on ruuvien tehollinen lukumäärä

l_{ef} on kierreosan tunkeuma [mm]

ρ_k on tiheyden ominaisarvo [kg/m³]

α on ruuvien akselin ja syysuunnan välinen kulma, kun $\alpha \geq 30^\circ$.

Ruuvien tehollinen lukumäärä saadaan kaavasta [16, s. 70]:

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad (11)$$

missä:

n_{ef} on ruuvien tehollinen lukumäärä

n on liitoksessa yhdessä toimivien ruuvien lukumäärä.

5 Puu-puukiinnikeliitos Sherpan ohjeiden mukaan

Sherpan kiinnikkeiden lujuus- ja jäykköysarvot perustuvat kiinnikkeille tehtyihin laajoihin testeihin, jotka suoritetaan eurooppalaiseen standardiin EN 26891:1991 mukaan [8, s. 90]. Jotta rakennustuotteelle voidaan myöntää CE-merkintä, täytyy tuotteella olla joko yhdenmukaistettu standardi (hEN) tai rakennustuotteelle myönnetty eurooppalainen tekninen arviointi (ETA) [17]. Sherpan kiinnikkeet saavat CE-merkinnän ETA-12/0067 perusteella.

Sherpa on julkaissut internetsivuillaan digitaalisen tuoteluettelon, jossa on esitetty testeihin perustuvat laskentakaavat. Laskentakaavat ovat luonteeltaan eurokoodi 5:ssä esitettyjen kaavojen kaltaisia, mutta laajoihin testeihin perustuen kaavojen kertoimia on saatettu muuttaa. Tuoteluettelossa on esitetty valmiit ominaiskestävyyksien arvot eri kuormitussuuntiin julkaisuun ETA-12/0067 perustuen. Kuormitussuunnat ovat nähtävillä kuvassa 14, missä:

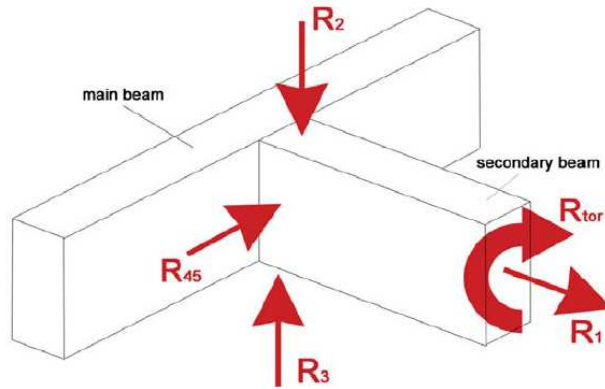
R_1 on ominaiskestävyys sekundääripalkin pituusakselin suuntaisesti

R_2 on ominaiskestävyys kiinnikkeen asennussuunnassa

R_3 on ominaiskestävyys kiinnikkeen asennussuuntaa vastaan

R_{45} on ominaiskestävyys kohtisuoraan asennussuuntaa vastaan

R_{tor} on ominaiskestävyys vääntöä vastaan



Kuva 14. Kuormitus suunnat [18, Liite 4]

5.1 Ominaiskestävyys pituusakselin suuntaisesti

Kun liitosta kuormitetaan sekundääripalkin pituusakselin suuntaisesti, huomioidaan XS–L kiinnikkeiden ruuvien mitoituksessa vain vinot ruuvit. Ominaiskestävyys täysin vedetyille ruuville $R_{ax,k}$ saadaan seuraavasta lausekkeesta: [4, s. 88.]

$$R_{ax,k} = f_{ax,k} \cdot l_{ef} \cdot d \quad (12)$$

missä:

$f_{ax,k}$ on ulosvetolujuuden ominaisarvo, [N/mm²]

l_{ef} on kierreosan tunkeuma [mm]

d on ruuvin halkaisija [mm].

Ulosvetolujuuden ominaisarvo $f_{ax,k}$, kun puun tiheys $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$, saadaan seuraavasti [4, s. 88]:

$$f_{ax,k} = 0,087 \cdot 350 \cdot d^{-0,41} \quad (13)$$

Koko ruuviryhmän ominaiskestävyys $R_{1,k}$ saadaan kaavasta [4, s. 89]:

$$R_{1,k} = n^{0,9} \cdot k_{sys} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,8} \cdot R_{ax,k} \cdot \cos\alpha \quad (14)$$

missä:

n	on liitoksessa yhdessä toimivien ruuvien lukumäärä
k_{sys}	on materiaalikerroin; sahatavaralla 1,00 ja liimapuulla 1,15
ρ_k	on puun tiheys [kg/m ³]
α	on ruuvin akselin ja syysuunnan välinen kulma, XS–L kiinnikkeissä $\alpha = 37,50^\circ$.

Pituusakselin suuntaisesti kuormitetuissa Sherpan XS–L kiinnikkeissä, pääpalkin liitos on mitoittava [4, s. 89].

5.2 Ominaiskestävyys kiinnikkeen asennussuunnassa

Ominaiskestävyys kiinnikkeen asennussuunnassa $R_{2,k}$ saadaan jakamalla täysin vedetyn ruuvin ominaiskestävyys $R_{ax,k}$ komponentteihin. Kuten ruuvin pituusakselin suuntaista kestävyyttä mitoittaessa, otetaan asennussuunnan kestävyyttä laskettaessa kaikille kiinnikkeille (XS–XXL) huomioon vain vinot ruuvit. [4, s. 91–92.]

$$R_{2,k} = VF \cdot n_{pp}^{0,9} \cdot k_{sys} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,80} \cdot R_{ax,k} \cdot (\sin\alpha + \mu_0 \cdot \cos\alpha) \quad (15)$$

missä:

VF	on kiinnikkeen koosta riippuva kerroin; XS–L: 1,40 ja XL–XXL: 1,20
n	on liitoksessa yhdessä toimivien ruuvien lukumäärä
k_{sys}	on materiaalikerroin; sahatavaralla 1,00 ja liimapuulla 1,15
ρ_k	on puun tiheys
μ_0	on kitkakerroin, $\mu_0 = 0,25$
α	on ruuvin akselin ja syysuunnan välinen kulma; XS–L kiinnikkeissä $\alpha = 37,50^\circ$ ja XL–XXL kiinnikkeissä $\alpha = 45,00^\circ$.

5.3 Ominaiskestävyys kiinnikkeen asennussuuntaa vastaan

Ominaiskestävyys kiinnikkeen asennussuuntaa vastaan saavutetaan Sherpan omilla lukitusruuveilla. Lukitusruuvit mahdollistavat rasitusten siirtymisen kiinnikkeen ruuvien kautta, kun ruuvit alkavat toimimaan täysin vedettyinä ruuveina. [4, s. 95.]

5.4 Ominaiskestävyys kohtisuoraan asennussuuntaa vastaan

Täysin vedetyn ruuvin leikkaantumisen ominaiskestävyyden määrittäminen perustuu köysivaikutukseen. Reunapuristuslujuuden ominaisarvo liitoksen kuormittuessa syysuuntaisesta voimasta $f_{h,0,k}$, saadaan Sherpan ohjeiden mukaan yhtälöstä 16. Laskettaessa kyseistä arvoa sekundääripalkin momenttiruuveille, voidaan huomioida vain 40 % reunapuristuslujuuden arvosta $f_{h,0,k}$. [4, s. 97.]

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot 350 \cdot d^{-0,3} \quad (16)$$

missä:

d ruuvin halkaisija [mm].

Myötömomenttien ominaisarvoina $M_{y,Rk}$ voidaan käyttää taulukossa 5 esitettyjä arvoja [4, s. 97].

Taulukko 5. Sherpan erikoisruuvien myötömomentit [4, s. 97].

Sherpan erikoisruuvien halkaisijat	[mm]	4,5	6,5	8,0
Myötömomentin ominaisarvo	[Nmm]	4900	12000	22600

Ruuvien leikkauskestävyyden ominaisarvo $F_{v,Rk}$ saadaan seuraavasta lausekkeesta [4, s. 97]:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{(\sqrt{2} - 1) \cdot f_{h,k} \cdot k_{\rho} \cdot t_1 \cdot d}{\sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot k_{\rho} \cdot d}} + \Delta F_{v,Rk} \right\} \quad (17)$$

missä:

$f_{h,k}$ on reunapuristuslujuuden ominaisarvo

k_ρ on puun tiheyden korjauskerroin, $k_\rho = \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,5}$

d on ruuvien halkaisija [mm]

$M_{y,k}$ on myötömomentin ominaisarvo

$\Delta F_{v,Rk}$ on köysivaikutuksen ominaisarvo

t_1 on puisen sivukappaleen tunkeuma, katso taulukko 6.

Taulukko 6. Sherpan erikoisruuvien tunkeuma puisen sivukappaleeseen [4, s. 98].

	Sherpan erikoisruuvit							
	4,5 x 50		6,5 x 65		8,0 x 100		8,0 x 160	
	vino	mom.	vino	mom.	vino	mom.	vino	mom.
Tunkeuma [mm]	33,32	42,00	44,43	56,00	69,82	88,00	103,94	147,00
t_1								

Köysivaikutuksen ominaisarvo $\Delta F_{v,Rk}$ on lausekkeen 18 arvoista pienin [4, s. 98].

$$\Delta F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{v,Rk} \\ 0,25 \cdot R_{ax,k} \end{array} \right. \quad (18)$$

missä:

$R_{ax,k}$ on täysin vedetyn ruuvien ominaiskestävyys, katso kohta 5.1.

Ominaiskestävyys kohtisuoraan asennussuuntaa vastaan $R_{45,k}$ XS–XXL kiinnikkeille saadaan seuraavasti [4, s. 99]:

$$R_{45,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} R_{45,k,SP} = n_{vino,SP} \cdot F_{v,Rk,vino,SP} + n_{mom,SP} \cdot F_{v,Rk,mom,SP} \\ R_{45,k,PP} = n_{vino,PP} \cdot F_{v,Rk,vino,PP} + n_{mom,PP} \cdot F_{v,Rk,mom,PP} \end{array} \right. \quad (19)$$

missä:

n_{vino} on vinojen ruuvien määrä pää- tai sekundääripalkissa

n_{mom} on momenttiruuvien määrä pää- tai sekundääripalkissa

$F_{v,Rk}$ on joko vinon ruuvin tai momenttiruuvin leikkauskestävyyden ominaisarvo.

6 Betoni-puukiinnikeliitos

Standardin SFS-EN 1992-1-1 kohdassa 2.7 on kerrottu kiinnityksiä koskevat vaatimukset, jonka mukaan betonin asennettavien kiinnitysosien paikalliset vaikutukset ja vaikutukset muuhun rakenteeseen on huomioitava. Itse kiinnityksen suunnittelua koskevat vaatimukset kerrotaan seuraavassa eritelmässä: CEN/TS 1992-4 Betonirakenteissa käytettävien kiinnikkeiden suunnittelu. [19, s 27.] Kiinnikkeellä on oltava eurooppalainen tekninen arviointi (ETA) tai kyseisen maan, jossa kiinnikettä käytetään, virainomaisen myöntävä erillinen hyväksyntä.

6.1 Vetokestävyys

Liitoksen vetokestävyyttä tarkasteltaessa on liitokselle tehtävä taulukossa 7 esitetyt tarkistukset [20, s. 7]. Tässä opinnäytetyössä on keskitytty tarkastelemaan kiinnitystä ilman lisäraudoitusta.

Taulukko 7. Metalliankkuriliitokselle vaaditut tarkistukset vetomitoituksessa [20, s. 7].

		YKSITTÄINEN KIINNIKE	KIINNIKERYHMÄ	
			Eniten kuormit- tuva kiinnike	Kiinnikeryhmä
1	Kiinnikkeen teräksen murtuminen	$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
2	Kiinnikkeen ulosveto murtuminen	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$	
3	Betonikartion murtuminen	$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$
4	Halkeamismurtuminen	$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$

6.1.1 Kiinnikkeen teräksen murtuminen sekä ulosvetomurtuminen

Kiinnikkeen teräksen vetokestävyyden ominaisarvo $N_{Rk,s}$ on ilmoitettu asiaan kuuluvassa ETA-asiakirjassa. Laskentalujuus perustuu teräksen vetomurtolujuuteen f_{uk} . Myös kiinnikkeen ulosvetomurtumisen ominaiskestävyys $N_{Rk,p}$ on ilmoitettu ETA-asiakirjassa. [20, s. 8]

6.1.2 Betonikartion murtuminen

Kiinnikkeen tai kiinnikeryhmän ominaislujuus, kun betonikartio murtuu, saadaan lausekkeesta 21 [20, s. 8]:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \Psi_{s,N} \cdot \Psi_{re,N} \cdot \Psi_{ec,N} \quad (21)$$

Lausekkeen kertoimet on esitelty alla.

Betonissa, jossa ei ole huomioitu vierekkäisen kiinnikkeen vaikutusta tai betonikappaleen reunaetäisyyksiä, yksittäisen kiinnikkeen betonikartion murtuminen saadaan lausekkeesta 22 [20, s. 9]:

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad (22)$$

missä:

k_1 on kerroin joka ottaa huomioon rasiusten siirtymisen haljenneessa betonissa

$f_{ck,cube}$ on betonin kuutiolujuus [N/mm²]

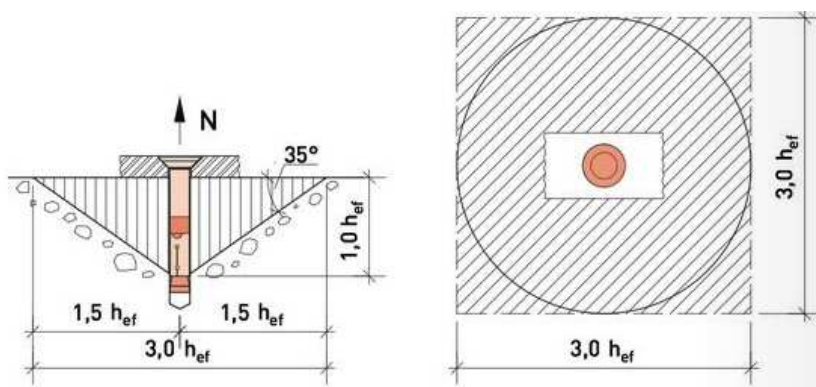
h_{ef} on kiinnikkeen tartuntasyvyys [mm].

k_1 on haljenneelle betonille 7,2 ja halkeilemattomalle betonille 10,1 [21, s. 17].

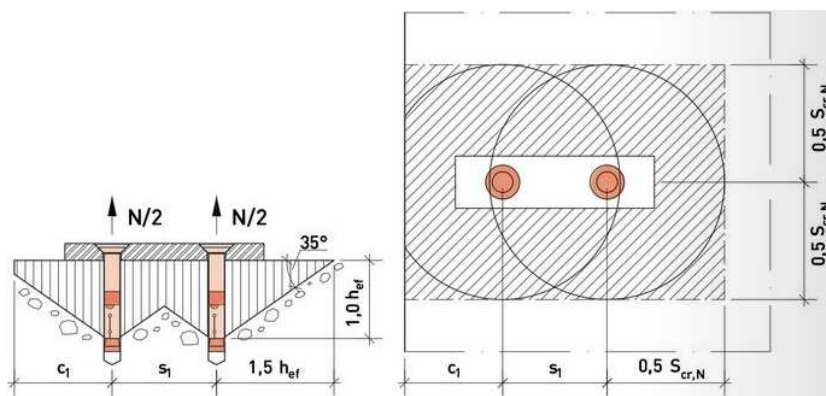
Kiinnikevälin ja reunaetäisyyden vaikutus huomioidaan kaavassa $A_{c,N}/A_{c,N}^0$, missä [20, s. 9]:

$A_{c,N}^0$ on pinta-ala, jonka alalta betonikartion oletetaan murtuvan yksittäisen kiinnikkeen vaikutuksesta (kuva 15).

$A_{c,N}$ on todellinen betonikartion pinta-ala, jossa on huomioitu kiinnikevälit ja reunaetäisyydet (kuva 16).



Kuva 15. Pinta-ala, jonka alalta betonikartion oletetaan murtuvan yksittäisen kiinnikkeen vaikutuksesta [4, s. 113].



Kuva 16. Todellinen betonikartion pinta-ala, jossa on huomioitu kiinnikevälit ja reunaetäisyydet [4, s. 114].

Kerroin $\Psi_{s,N}$ huomioi reunoista johtuvan betonin rasitusten häiriövaikutuksen. Jos kiinnike on lähellä betonikappaleen kulmaa ja reunaetäisyyksiä on useampia, huomioidaan niistä pienin etäisyys c seuraavaan lausekkeeseen [20, s. 11–12]:

$$\Psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1 \quad (23)$$

Pinnan lohkeilemisen kerroin $\Psi_{re,N}$ ottaa huomioon raudoituksen vaikutuksen:

$$\Psi_{re,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1 \quad (24)$$

missä:

h_{ef} on kiinnikkeen tartuntasyvyys [mm].

Riippumatta kiinnikkeen tartuntasyvyydestä, $\Psi_{re,N}$ saa arvon 1,0 seuraavissa tapauksissa:

- a) Raudoituksen jakoväli ≥ 150 mm, tai
- b) Raudoituksen halkaisija on alle 10 mm ja raudoituksen jakoväli ≥ 100 mm. [21, s. 20.]

Kerroin $\Psi_{ec,N}$ ottaa huomioon kiinnikkeeseen kohdistuvan vetorasituksen, joka muodostuu epäkeskeisestä koko kiinnikeryhmään kohdistuvasta vetorasituksesta.

$$\Psi_{ec,N} = \frac{1}{1+2 \cdot e_N/s_{cr,N}} \leq 1 \quad (25)$$

missä:

e_N on kiinnikkeisiin epäkeskeisesti vaikuttavien voimien etäisyyksien resultantti.

Mikäli epäkeskisyys vaikuttaa kahdessa suunnassa, on $\Psi_{ec,N}$ määritettävä molemmista suunnista, ja saadut arvot on sijoitettava lausekkeeseen 25 [20, s. 12].

6.1.3 Halkeamismurtuminen

Asennuksen aikana tapahtuva halkeamismurtuma vältetään noudattamalla standardin CEN/TS 1992-4-1:2009 kuvassa 3 esitettyjä reunaetäisyyksien c_{min} , kiinnikevälien s_{min} ja kappaleen paksuuden h_{min} minimiarvoja. Kyseiset arvot on ilmoitettu asiaankuuluvassa ETA-asiakirjassa. [20, s. 14.]

Rasituksesta johtuvaa halkeamismurtumaa ei tarvitse tarkastella, mikäli seuraavat ehdot täyttyvät:

- Jokaisen suunnan reunaetäisyys $c \geq 1,0c_{cr,sp}$ yhdellä ankkurilla, $\geq 1,2c_{cr,sp}$ useammalla ankkurilla ja $h \geq 2h_{ef}$ [21, s. 21].
- Betoninkartion murtuminen ja ulosvetomurtuminen on laskettu haljenneelle betonille. Lisäksi raudoituksen estäessä halkaisevat voimat, halkeaman rajoituessa $w_k \leq 0,3 \text{ mm}$. [20, s. 14.]

Mikäli edellisen kohdan ehdot (a ja b) eivät täyty, kiinnikkeen tai kiinnikeryhmän kestävyys saadaan seuraavasta lausekkeesta [20, s. 15]:

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \Psi_{s,N} \cdot \Psi_{ec,N} \cdot \Psi_{re,N} \cdot \Psi_{h,sp} \quad (26)$$

missä:

$N_{Rk,c}^0$, $\Psi_{s,N}$, $\Psi_{ec,N}$, $\Psi_{re,N}$, $\Psi_{ucr,N}$ saadaan alaluvusta 6.1.3, mikäli $c_{cr,N}$ ja $s_{cr,N}$ korvataan $c_{cr,sp}$ ja $s_{cr,sp}$.

Kerroin $\Psi_{h,sp}$ huomioi halkaisuvastuksessa kappaleen todellisen paksuuden h , joka saadaan seuraavasti [21, s. 21]:

$$\Psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}} \right)^{2/3} \leq 1,5 \quad (27)$$

missä:

h on betonikappaleen todellinen paksuus.

6.2 Leikkauskestävyys

Kun liitoksessa ei käytetä lisäraudoitusta, betoniankkuriliitoksen leikkauskestävyys määritellään taulukon 8 mukaisten kohtien mukaan. [20, s. 19]

Taulukko 8. Liitokselle vaaditut tarkistukset leikkausmitoituksessa [20 s. 19].

		YKSITTÄINEN KIINNIKE	KIINNIKERYHMÄ	
			Eniten kuormit- tuva kiinnike	Kiinnike- ryhmä
1	Kiinnikkeen teräksen murtuminen ilman vipuvartta	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
2	Kiinnikkeen teräksen murtuminen vipuvarrella	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
3	Betonin reunamurtuminen	$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,c}$ $= \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$
4	Betonin lohkeamismurtuminen	$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,c}$ $= \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$

6.2.1 Kiinnikkeen teräksen murtuminen

Leikkauskestävyys ilman vipuvartta $V_{Rk,s}$ on ilmoitettu ETA:n julkaisemassa teknisessä asiakirjassa. Kun vipuvarsi huomioidaan, leikkauskestävyys saadaan seuraavasta lausekkeesta [20, s. 20–21.]:

$$V_{Rk,s} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l} \quad (28)$$

missä:

α_M on kiinnityksen jäykkyys. Kiinnike pääsee kiertymään: $\alpha_M = 1,0$ ja täysin jäykkä kiinnitys: $\alpha_M = 2,0$

$M_{Rk,s}$ on kiinnikkeen taivutuskestävyys

l on vipuvarsi.

Kiinnityksen taivutuskestävyys saadaan kaavasta:

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot \left(1 - \frac{N_{sd}}{N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}}\right) \quad (29)$$

missä:

$M_{Rk,s}^0$ on yhden kiinnikkeen taivutuskestävyys

$N_{Rk,s}$ on teräksen vetokestävyys

γ_{Ms} on teräksen osavarmuuskerroin.

Edellä mainitut kertoimet on ilmoitettu ETA:n teknisessä asiakirjassa. [20, s. 21.]

6.2.2 Betonin lohkeamismurtuminen

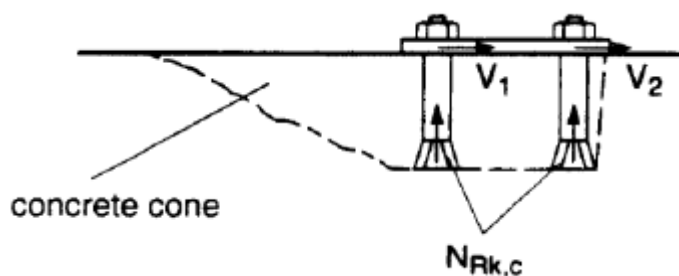
Betonin lohkeamismurtuminen (kuva 17) pyrkii tapahtumaan kuormituksen vastakkaisella puolella. Vastustava voima $V_{Rk,cp}$ saadaan seuraavasti [20, s. 22.]:

$$V_{Rk,cp} = k_3 \cdot N_{Rk,c} \quad (30)$$

missä:

k_3 on lisäraudoittamattoman kiinnityksen kerroin, joka on ilmoitettu ETA:n teknisessä asiakirjassa. Lisäraudoitetulle kiinnitykselle kerroin k_3 saadaan kertomalla se arvolla 0,75.

$N_{Rk,c}$ on betonikartion vetokestävyys.



Kuva 17. Betonin lohkeamismurtuminen kuormituksen vastakkaiselta puolelta [21, s. 23].

6.2.3 Betonin reunamurtuminen

Kun kiinnikkeissä tai kiinnikeryhmissä (alle 4 kiinnikettä) reunaetäisyydet $c \geq 10h_{ef}$ tai $c \geq 60d$, voidaan betonin reunamurtuminen jättää huomioimatta [20, s. 23; 21, s. 24].

Kiinnikkeen tai kiinnikeryhmän leikkauskestävyys $V_{Rk,c}$ saadaan yhtälöstä [20, s. 23; 21, s. 24]:

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \Psi_{s,V} \cdot \Psi_{h,V} \cdot \Psi_{ec,V} \cdot \Psi_{\alpha,V} \cdot \Psi_{re,V} \quad (31)$$

Yhtälössä esiintyvät kertoimet on esitetty alla.

Yhden kiinnikkeen leikkauskestävyyden ominaisarvo kohtisuoraan reunaa vastaan, haljenneessa tai halkeilemattomassa betonissa, saadaan seuraavasta lausekkeesta [21, s. 25]:

$$V_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot h_{ef}^\beta \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot c_1^{1,5} \quad (32)$$

missä:

$$k_1 = 1,7 \quad \text{haljenneessa betonissa}$$

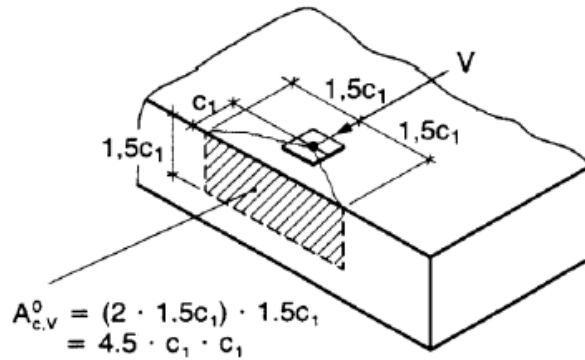
$$k_1 = 2,4 \quad \text{halkeilemattomassa betonissa}$$

$$\alpha = 0,1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0,5} \quad (33)$$

$$\beta = 0,1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0,2} \quad (34)$$

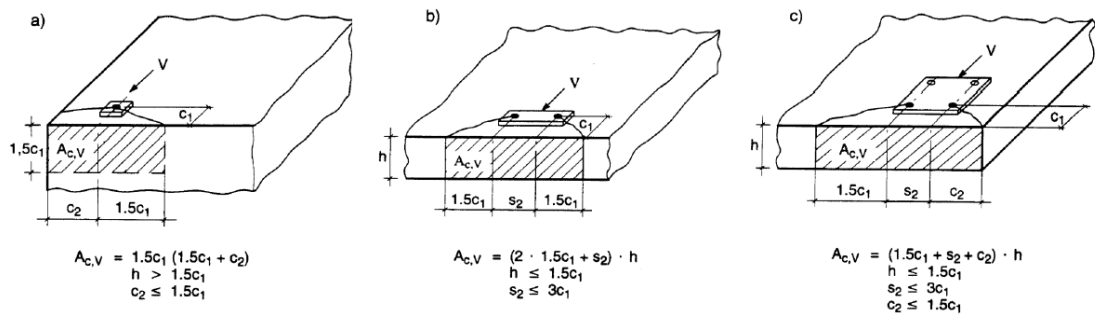
d_{nom} ja c_1 on annettu ETA:n teknisessä asiakirjassa.

Kiinnikevälin, reunaetäisyyden ja betonikappaleen paksuuden vaikutus huomioidaan kaavassa $A_{c,V}/A_{c,V}^0$. Yhdestä kiinnikkeestä muodostuva betonikartion pinta-ala $A_{c,V}^0$ esitetään kuvassa 18. [21, s. 25.]



Kuva 18. Ideaalinen betonikartio ja betonikartion pinta-ala $A_{c,V}^0$ [21, s. 25].

Useamman kiinnikkeen vaikutus betonikartion pinta-alaan $A_{c,V}$ on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. A) yksittäinen kiinnike kulmassa, b) kiinnikeryhmä ohuen betonikappaleen reunalla ja c) kiinnikeryhmä ohuen betonikappaleen kulmassa [21, s. 26].

Kerroin $\Psi_{s,V}$ ottaa huomioon reunoista johtuvan betonin rasitusten häiriövaikutuksen. Jos kiinnike on lähellä betonikappaleen kulmaa ja reunaetäisyyksiä on useampia, huomioidaan niistä pienin etäisyys c seuraavaan lausekkeeseen [20, s. 26]:

$$\Psi_{s,V} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_2}{1,5 \cdot c_1} \leq 1 \quad (35)$$

Kerroin $\Psi_{h,V}$ huomioi sen, että betonin reunakestävyys ei todellisuudessa kasva suhteessa kappaleen paksuuteen, kuten $A_{c,V}/A_{c,V}^0$ suhde olettaa [20, s. 27].

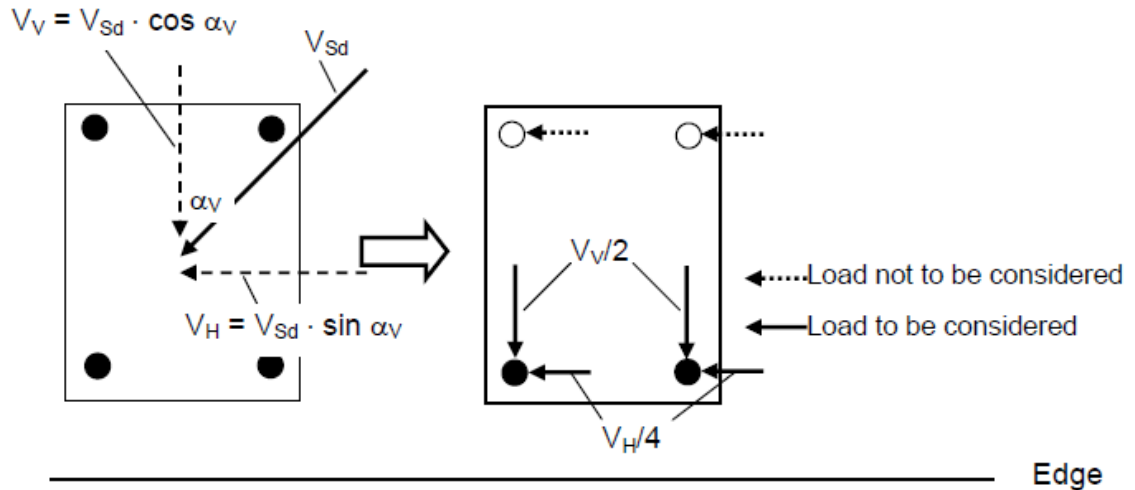
$$\Psi_{h,V} = \left(\frac{1,5c_1}{h} \right)^{0,5} \geq 1 \quad (36)$$

Kerroin $\Psi_{ec,V}$ ottaa huomioon kiinnikkeeseen kohdistuvan leikkausrasituksen, joka muodostuu epäkeskeisestä koko kiinnikeryhmään kohdistuvasta leikkausrasituksesta [20 s. 27].

$$\Psi_{ec,V} = \frac{1}{1+2 \cdot e_V / (3 \cdot c_1)} \leq 1 \quad (37)$$

Kerroin $\Psi_{\alpha,V}$ huomioi kiinnikeryhmään kohdistuvan vinon leikkauskuormituksen V_{Sd} ja betonikappaleen vapaan reunan kohtisuoran sijainnin välisen kulman (kuva 20) [20, s. 27].

$$\Psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0,4 \cdot \sin \alpha_V)^2}} \geq 1 \quad (38)$$



Kuva 20. Vinon leikkauskuormituksen kohdistuminen neljän betoniankkurin ryhmään [21, s. 14].

Kerroin $\Psi_{re,V}$ huomioi betonissa käytetyn raudoitustyyppin:

$\Psi_{re,V} = 1,0$ ankkuri halkeilemattomassa tai haljenneessa betonissa ilman reuna-raudoitusta tai hakoja

$\Psi_{re,V} = 1,2$ ankkuri haljenneessa betonissa, jossa suora reunaraidoitus (halkaisija ≥ 12 mm)

$\Psi_{re,V} = 1,4$ ankkuri haljenneessa betonissa, jossa reunaraidoitus ja tiheä haka-raidoitus ($a \leq 100$ mm). [21, s. 30.]

6.3 Veto- ja leikkauskestävyyden yhdistely

Kun liitokseen kohdistuu sekä veto- että leikkausrasitusta, liitoksen on täytettävä lausekkeen 39 vaatimus [20, s. 30].

$$\beta_N^2 + \beta_V^2 \leq 1 \quad (39)$$

missä:

$$\beta_N = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1 \text{ ja } \beta_V = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1$$

Kun liitokseen kohdistuu joko veto- tai leikkausrasitusta, liitoksen on täytettävä lausekkeen 40 tai 41 vaatimukset [20, s. 30–31]:

$$\beta_N + \beta_V \leq 1,2 \quad (40)$$

$$\beta_N^{1,5} + \beta_V^{1,5} \leq 1 \quad (41)$$

missä:

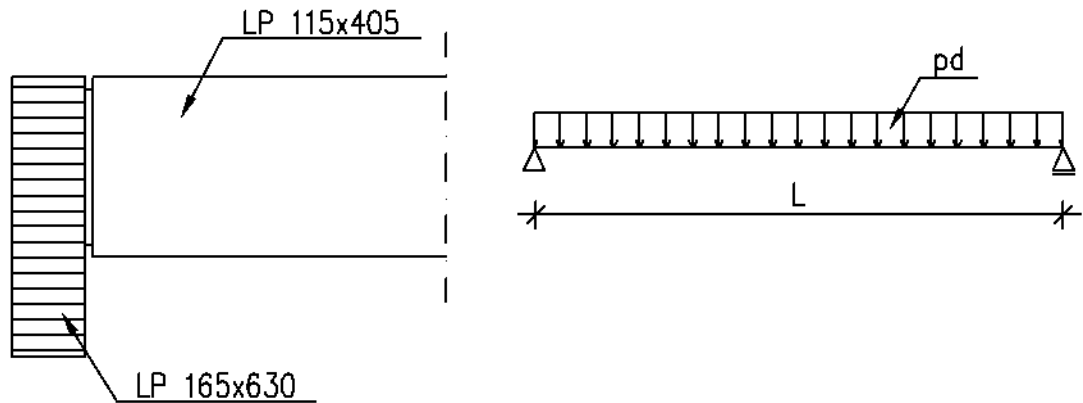
$$\beta_N = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1 \text{ ja } \beta_V = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1$$

7 Tulokset

7.1 Laskentaesimerkki 1: Puu-puukiinnikeliitos

Puu-puukiinnikeliitoksen esimerkkitapauksena on kuvan 21 mukainen välipohjan liimapuupalkkiliitos, jossa pääpalkin (liimapuu GL30h 165 x 630) kylkeen liitetään

sekundääripalkki (liimapuu GL30h 115 x 405). Pääpalkki on tuettu vääntöä vastaan. Kuvassa 22 on esitetty laskennan lähtötiedot.



Kuva 21. Tapaus 1. (Kuva: Henri Kananen.)

Liimapuu GL30h	→	Mater. osavarmuusluku:	$\gamma_M = 1,2$
Sekundääripalkkien pituus			$L = 6 \text{ m}$
Sekundääripalkkien jakoväli			$k = 0,9 \text{ m}$
Kuormat:			
- Pysyvät kuormat			$g_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$
- Hyötykuorma			$q_k = 7,5 \text{ kN/m}^2$
Käyttöluokka	1		
Aikaluokka	Keskipitkä	→	$k_{mod} = 0,8$

Kuva 22. Esimerkilaskelman 1. lähtötiedot. (Kuva: Henri Kananen.)

Lähtötietojen perusteella lasketaan seuraavaksi murtorajatilan kuormayhdistelyt:

$$\text{Kuormayhdistely} \quad p_d = \max \begin{cases} 1,15 \cdot g_k + 1,50 \cdot q_k \\ 1,35 \cdot g_k \end{cases} \Rightarrow p_d = \max \begin{cases} 14,125 \text{ kN/m}^2 \\ 3,375 \text{ kN/m}^2 \end{cases}$$

Näiden avulla saadaan laskettua sekundääripalkille taivutusmomentin mitoitusarvo sekä tukireaktiot, joita verrataan palkin taivutus- ja leikkauslujuuden mitoitusarvoihin. Taivutuskestävyyden käyttöasteeksi saadaan 68 % ja leikkauslujuuden käyttöasteeksi 88 %, joka on sekundääripalkin mitoittava tekijä.

Taivutusmomentin mitoitusarvo	$M_d = 63,6 \text{ kNm}$
Tukireaktiot (Leikkauskestävyyden mitoitusarvo)	$V_d = 42,4 \text{ kN}$
Ominaislujuudet GL30h:	
Taivutuslujuuden ominaisarvo	$f_{m,g,k} = 30 \text{ N/mm}^2$
Leikkauslujuuden ominaisarvo	$f_{v,g,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$
Taivutuslujuuden mitoitusarvo	$f_{m,g,d} = 20 \text{ N/mm}^2$
Leikkauslujuuden mitoitusarvo	$f_{v,g,d} = 2,333 \text{ N/mm}^2$
Palkin korkeus	$h = 405 \text{ mm}$
Palkin leveys	$b = 115 \text{ mm}$
	$A = 46575 \text{ mm}^2$
Taivutusvastus y-akselin suhteen	$W_y = 3E+06 \text{ mm}^3$
Taivutusvastus z-akselin suhteen	$W_z = 9E+05 \text{ mm}^3$
Taivutuskestävyys:	
Taivutusjännityksen mitoitusarvo	$\sigma_{m,y,d} = 20,23$
	0,68 ≤ 1
Leikkauskestävyys:	
Sauvan tehollinen leveys	$b_{ef} = 77,05 \text{ mm}, \quad k_{cr} = 0,67$
Leikkausjännityksen mitoitusarvo	$\tau_d = 2,038$
	0,88 ≤ 1
Kokonaiskäyttöaste	88 %

7.1.1 Puu-puukiinnikkeen ominaiskestävyydet EC5:n mukaan

Taulukko 9. Puu-puukiinnikeliitoksen laskennan lähtötiedot.

Sherpa L80, GL30h			
Ruuvien kierteen ulkohalkaisija	d	[mm]	8
Ruuvien kierteen sisähalkaisija	d_1	[mm]	5,3
Ruuvien tehollinen tunkeuma	l_{ef}	[mm]	72
Puun ominaistiheys	ρ_k	[kg/m ³]	430

Ruuviliitos on standardin EN 14592 mukainen, jossa:

- $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm} \Rightarrow 6 \text{ mm} \leq 8 \text{ mm} \leq 12 \text{ mm} \Rightarrow OK$
- $0,6 \leq \frac{d_1}{d} \leq 0,75 \Rightarrow 0,6 \leq \frac{5,3}{8} = 0,66 \leq 0,75 \Rightarrow OK$

Ruuvien ulosvetolujuuden ominaisarvoksi $f_{ax,k}$ saadaan taulukon 9 lähtötietojen perusteella:

$$f_{ax,k} = 0,52d^{-0,5}l_{ef}^{-0,1}\rho_k^{0,8} = 0,52 \cdot 8^{-0,5} \cdot 72^{-0,1} \cdot 430^{0,8} = 15,3 \text{ N/mm}^2$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8} = \frac{8}{8} = 1 \Rightarrow k_d = 1 \right.$$

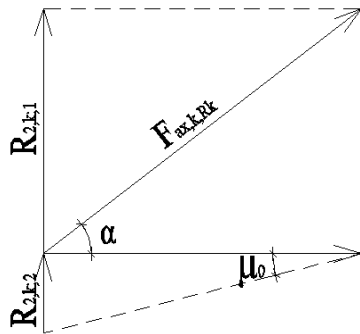
Kun pääpalkin kylkeen liitettävässä kiinnikkeessä on 10 kappaletta ja sekundääripalkin kiinnikkeessä 12 kappaletta niin sanottua vinoon asennettua ruuvia, saadaan molempien ruuviryhmien ulosvedon ominaiskestävyyksiksi $F_{ax,k,Rk}$:

$$F_{ax,k,Rk,PP} = \frac{n_{ef}f_{ax,k}dl_{ef}k_d}{1,2\cos^2\alpha + \sin^2\alpha} = \frac{10^{0,9} \cdot 15,3 \cdot 8 \cdot 72 \cdot 1}{1,2\cos^2 37,5^\circ + \sin^2 37,5^\circ} = 62175 \text{ N} \approx 62,1 \text{ kN}$$

$$F_{ax,k,Rk,SP} = \frac{n_{ef}f_{ax,k}dl_{ef}k_d}{1,2\cos^2\alpha + \sin^2\alpha} = \frac{12^{0,9} \cdot 15,3 \cdot 8 \cdot 72 \cdot 1}{1,2\cos^2 37,5^\circ + \sin^2 37,5^\circ} = 73262 \text{ N} \approx 73,2 \text{ kN}$$

Liitoksen ulosvetokestävyyden ominaisarvoksi saadaan siis $F_{ax,k,Rk} = 62,1 \text{ kN}$.

Asennussuunnan ominaiskestävyydeksi saadaan ulosvetokestävyyden ominaisarvosta geometrisesti ratkaistuna kuvan 23 mukaisesti:



Kuva 23. Asennussuunnan ominaiskestävyys geometrisesti ulosvetokestävyyden ominaisarvosta. (Kuva: Henri Kananen.)

$$\sin\alpha = \frac{R_{2,k;1}}{F_{ax,k,Rk}} \Rightarrow R_{2,k;1} = F_{ax,k,Rk} \cdot \sin\alpha$$

$$\mu_0 = \frac{R_{2,k;2}}{\cos\alpha \cdot F_{ax,k,Rk}} \Rightarrow R_{2,k;2} = \mu_0 \cdot F_{ax,k,Rk} \cdot \cos\alpha$$

$$\Rightarrow R_{2,k} = R_{2,k;1} + R_{2,k;2} = F_{ax,k,Rk} \cdot (\sin\alpha + \mu_0 \cdot \cos\alpha)$$

Sherpan ohjeiden mukaisesti, kitkakerroin huomioituna:

$$R_{2,k,PP} = 62,1 \text{ kN} \cdot (\sin 37,5^\circ + 0,25 \cdot \cos 37,5^\circ) = 50,1 \text{ kN}$$

$$R_{2,k,SP} = 73,2 \text{ kN} \cdot (\sin 37,5^\circ + 0,25 \cdot \cos 37,5^\circ) = 59,0 \text{ kN}$$

Näistä asennussuunnan ominaiskestävyydeksi saadaan $R_{2,k} = 50,1 \text{ kN}$.

Osakierteisen ruuvin leikkauskestävyys lasketaan poikittain kuormittuvana pulttina, koska ruuvin halkaisija on yli 6 mm.

Ruuvien myötömomentin $M_{y,Rk}$ ominaisarvoksi saadaan:

$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,k}d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 8^{2,6} = 40114 \text{ Nmm}$$

Liitoksen kuormittuessa syysuuntaisesta voimasta, pääpalkin reunapuristuslujuuden ominaisarvoksi $f_{h,0,k}$ saadaan alla oleva arvo, kun liimapuu GL30h ominais­tiheys $\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$:

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) \cdot 430 = 32,43 \text{ N/mm}^2$$

Koska puutavara on havupuuta, saadaan muunnoskertoimeksi k_{90} :

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 \cdot 8 = 1,47$$

Reunapuristuslujuuden ominaisarvo saadaan seuraavasta lausekkeesta, kun syysuunnan ja liitosta kuormittavan voiman välinen kulma $\alpha = 45^\circ$:

$$f_{h,45,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{32,43}{1,47\sin^2 45^\circ + \cos^2 45^\circ} = 26,2 \text{ N/mm}^2$$

Pääpalkissa syysuuntaisia ruuveja on vain yksi. Sekundääripalkissa syysuuntaisesti ruuveja on kaksi, joten ruuvien tehollinen määrä saadaan seuraavasti:

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n = 2 \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{52}{13 \cdot 8}} = 1,569 \Rightarrow n_{ef} = 1,569 \end{array} \right.$$

Koska Sherpan kiinnikkeellä tehty liitos on paksu ja yksileikkeinen, ruuvien leikkaukestävyyden ominaisarvo saadaan seuraavasta kaavasta, jonka tulokset on esitetty taulukossa 10.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k}t_1d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k}t_1d^2} - 1} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk}f_{h,k}d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

Taulukko 10. Yksittäisen ruuvin leikkauskestävyys.

	Ruuvit [kpl]		$f_{h,k}$ [N/mm ²]	t_1 [mm]	$F_{v,Rk}$ [N]
Pääpalkki	2	mom.	26,2	88,00	$\min \begin{cases} 18444 \\ 47953 \\ 22212 \end{cases}$
	10	vino	26,2	69,82	$\min \begin{cases} 14634 \\ 42410 \\ 22212 \end{cases}$
Sekundääripalkki	5	mom.	26,2	88,00	$\min \begin{cases} 18444 \\ 50724 \\ 24984 \end{cases}$
	12	vino	26,2	69,82	$\min \begin{cases} 14634 \\ 45182 \\ 24984 \end{cases}$

Leikkauskestävyyden ominaisarvo kohtisuoraan asennussuuntaa vastaan $F_{v,ef,Rk}$ saadaan seuraavasti:

$$F_{v,ef,Rk,PP} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk} = 1 \cdot 18444 \text{ N} + 1 \cdot 14634 \text{ N} = 33078 \text{ N} = 33,0 \text{ kN}$$

$$F_{v,ef,Rk,SP} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk} = 1,569 \cdot 18444 \text{ N} + 1,569 \cdot 14634 \text{ N} = 51899 \text{ N} = 51,8 \text{ kN}$$

Näistä mitoittavaksi tekijäksi saadaan pääpalkin ominaiskestävyys $F_{v,ef,Rk,PP} = 33,0 \text{ kN}$.

7.1.2 Puu-puukiinnikkeen ominaiskestävyydet Sherpan ohjeilla

Ruuvin kierteen ulkohalkaisijan ollessa 8 mm, ruuvin ulosvetolujuuden ominaisarvoksi $f_{ax,k}$ saadaan:

$$f_{ax,k} = 0,087 \cdot 350 \cdot d^{-0,41} = 0,087 \cdot 350 \cdot 8^{-0,41} = 13,0 \text{ N/mm}^2$$

Ulosvetokestävyys täysin vedetylle ruuville $R_{ax,k}$ saadaan kaavasta:

$$R_{ax,k} = f_{ax,k} \cdot l_{ef} \cdot d = 13,0 \frac{N}{mm^2} \cdot 72 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} = 7477,26 \text{ N}$$

Kun pääpalkin kylkeen liitettävässä kiinnikkeessä on 10 kappaletta ja sekundääripalkin kiinnikkeessä 12 kappaletta niin sanottua vinoon asennettua ruuvia, saadaan koko ruuviryhmän ulosvedon ominaiskestävyydeksi $R_{1,k}$:

$$\begin{aligned} R_{1,k,PP} &= n^{0,9} \cdot k_{sys} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,8} \cdot R_{ax,k} \cdot \cos\alpha \\ &= 10^{0,9} \cdot 1,15 \cdot \left(\frac{430}{350}\right)^{0,8} \cdot 7477,26 \text{ N} \cdot \cos 37,50^\circ = 63,89 \text{ kN} \approx 63,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{1,k,SP} &= n^{0,9} \cdot k_{sys} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,8} \cdot R_{ax,k} \cdot \cos\alpha \\ &= 12^{0,9} \cdot 1,15 \cdot \left(\frac{430}{350}\right)^{0,8} \cdot 7477,26 \text{ N} \cdot \cos 37,50^\circ = 75,28 \text{ kN} \approx 75,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Liitoksen ulosvetokestävyyden ominaisarvoksi saadaan pääpalkin ominaiskestävyys eli $R_{1,k} = 63,8 \text{ kN}$.

L80-kiinnikkeen asennussuunnan ominaiskestävyydeksi $R_{2,k}$ saadaan:

$$\begin{aligned} R_{2,k} &= VF \cdot n_{PP}^{0,9} \cdot k_{sys} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,80} \cdot R_{ax,k} \cdot (\sin\alpha + \mu_0 \cdot \cos\alpha) \\ &= 1,40 \cdot 10^{0,9} \cdot 1,15 \cdot \left(\frac{430}{350}\right)^{0,8} \cdot 7477,26 \text{ N} \cdot (\sin 37,50^\circ + 0,25 \cdot \cos 37,50^\circ) \\ &= 90,99 \text{ kN} \approx 90,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ruuvin ulkohalkaisijan ollessa 8 mm ja liitoksen kuormittuessa syysuuntaisesta voimasta, pääpalkin reunapuristuslujuuden ominaisarvoksi $f_{h,0,k}$ saadaan:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot 350 \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 8^{-0,3} = 15,37 \text{ N/mm}^2$$

Sekundääripalkin reunapuristuslujuuden arvona $f_{h,SP,k}$ voidaan käyttää 40 % pääpalkin reunapuristuslujuuden arvosta.

$$f_{h,SP,k} = 0,40 \cdot 0,082 \cdot 350 \cdot d^{-0,3} = 0,40 \cdot 0,082 \cdot 350 \cdot 8^{-0,3} = 6,15 \text{ N/mm}^2$$

Sherpan 8,0 x 100 erikoisruuvien myötömomentin ominaisarvo $M_{y,Rk} = 22600 \text{ Nmm}$ (taulukko 5) ja puisen sivukappaleen tunkeumat vinolla ruuvilla $t_1 = 69,82 \text{ mm}$ sekä momenttiruuvilla $t_1 = 88,00 \text{ mm}$ (taulukko 6). Puuntiheyden korjauskertoimeksi saadaan:

$$k_\rho = \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,5} = \left(\frac{430}{350}\right)^{0,5} = 1,1084$$

Ruuvien asennussuunnan ulosvetokestävyyksien ominaisarvot on laskettu taulukkoon 11 huomioiden köysivaikutus $\Delta F_{v,Rk}$. Asennussuunnan ulosvetokestävyyttä saadaan seuraavasti:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} (\sqrt{2} - 1) \cdot f_{h,k} \cdot k_\rho \cdot t_1 \cdot d \\ \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot k_\rho \cdot d + \Delta F_{v,Rk}} \end{array} \right.$$

$$\Delta F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{v,Rk} \\ 0,25 \cdot R_{ax,k} = 0,25 \cdot 7477,26 \text{ N} = 1869,3 \text{ N} \end{array} \right.$$

Taulukko 11. Ruuvien asennussuunnan ulosvetokestävyydet.

	Ruuvit [kpl]		$f_{h,k}$ [N/mm ²]	t_1 [mm]	$F_{v,Rk}$ [N]
Pääpalkki	2	mom.	15,37	88,00	$\min \begin{cases} 4967,8 \\ 4351,2 \end{cases}$
	10	vino	15,37	69,82	$\min \begin{cases} 3941,5 \\ 4351,2 \end{cases}$
Sekundääripalkki	5	mom.	6,15	88,00	$\min \begin{cases} 1987,7 \\ 3439,3 \end{cases}$
	12	vino	6,15	69,82	$\min \begin{cases} 1577,1 \\ 3147,1 \end{cases}$

Ominaiskestävyys kohtisuoraan asennussuuntaa vastaan $R_{45,k}$ saadaan seuraavasti:

$$R_{45,k} = \min \begin{cases} R_{45,k,SP} = n_{vino,SP} \cdot F_{v,Rk,vino,SP} + n_{mom,SP} \cdot F_{v,Rk,mom,SP} \\ R_{45,k,PP} = n_{vino,PP} \cdot F_{v,Rk,vino,PP} + n_{mom,PP} \cdot F_{v,Rk,mom,PP} \end{cases}$$

$$\Rightarrow R_{45,k} = \min \begin{cases} 12 \cdot 1577,1 \text{ N} + 5 \cdot 1987,7 \text{ N} = 28863,7 \text{ N} \approx 28,8 \text{ kN} \\ 10 \cdot 3941,5 \text{ N} + 2 \cdot 4351,2 \text{ N} = 48117,4 \text{ N} \approx 48,1 \text{ kN} \end{cases}$$

Asennussuuntaa kohtisuoraksi ominaiskestävyydeksi saadaan $R_{45,k} = 28,8 \text{ kN}$.

7.1.3 Käyttöasteet

Laskentaesimerkissä lähtötietojen perusteella tukireaktioiksi saatiin $V_d = 42,4 \text{ kN}$. Esimerkissä rasiusta syntyy vain kiinnikkeen asennussuunnassa ja koska pääpalkki on tuettu vääntöä vastaan, voidaan käyttää suoraan asennussuunnan ominaiskestävyyden $R_{2,k}$ arvoja.

Eurokoodi 5:n mukaan laskettu asennussuunnan mitoitusarvo $R_{2,d}$:

$$R_{2,d} = \frac{0,8 \cdot 50,1 \text{ kN}}{1,2} = 33,4 \text{ kN} \Rightarrow \frac{42,4 \text{ kN}}{33,4 \text{ kN}} = 1,27 \Rightarrow \text{Käyttöaste: } 127\%$$

Sherpan ohjeiden mukaan laskettu asennussuunnan mitoitusarvo $R_{2,d}$:

$$R_{2,d} = \frac{0,8 \cdot 90,9 \text{ kN}}{1,2} = 60,6 \text{ kN} \Rightarrow \frac{42,4 \text{ kN}}{60,6 \text{ kN}} = 0,70 \Rightarrow \text{Käyttöaste: } 70\%$$

7.2 Laskentaesimerkki 2: Betoni-puukiinnikeliitos

Betoni-puukiinnikeliitos laskentaesimerkki on esitetty Sherpan M20 CS betoniinnikkeelle. Laskelma pohjautuu Sherpan tuoteluettelossa esitettyyn esimerkkiin. Betoni on tässä tapauksessa C20/25, johon liitetään liimapuu GL24h. Betoni oletetaan haljenneeksi betoniksi. Betoniankkuriksi on valittu neljä kappaletta

HECO MMS-F 7,5 x 60 mm, jonka tiedot on esitetty taulukossa 12. Liimapuun puoleiseen kiinnikkeeseen tulee 11 kappaletta Sherpan 6,5 x 65 mm erikoisruuveja.

Taulukko 12. ETA-05/0010: HECO MMS-F 7,5 x 60 mm.

KIINNIKKEEN TIEDOT, ETA-05/0010		
Ankkurin koko	MMS-F 7,5	
Vetokestävyys		
Vetokestävyys haljenneessa betonissa	N_{Ed}	4 kN
Kiinnikkeen teräksen murtuminen		
Kestävyyden ominaisarvo	$N_{Rk,s}$	19,4 kN
Osavarmuuskerroin	γ_{Ms}	1,4
Kiinnikkeen ulosvetomurtuminen		
Kestävyyden ominaisarvo, haljennut betoni	$N_{Rk,p}$	5 kN
Kestävyyden ominaisarvo, halkeamaton betoni	$N_{Rk,p}$	7,5 kN
Osavarmuuskerroin	γ_{Mp}	1,8
Betonikartion murtuminen, halkeamismurtuminen		
Tartuntasyvyys	h_{ef}	40 mm
Jakoväli	$s_{cr,N} = s_{cr,sp}$	3 h_{ef} mm
Reunaetäisyys	$c_{cr,N} = c_{cr,sp}$	1,5 h_{ef} mm
Osavarmuuskerroin	γ_{Mc}	1,8
Liitoksen minimimittoja		
Betonikappaleen minimipaksuus	h_{min}	100 mm
Kiinnikkeiden minimi keskeltä keskelle väli	s_{min}	40 mm
Kiinnikkeen minimi reunaetäisyys	c_{min}	40 mm
Leikkauskestävyys		
Leikkauskestävyys halkeilemattomassa betonissa	V_{Ed}	3,3 kN
Kiinnikkeen teräksen murtuminen ilman vipuvartta		
Kestävyyden ominaisarvo	$V_{Rk,s}$	6,9 kN
Osavarmuuskerroin	γ_{Ms}	1,5
Betonin lohkeamismurtuminen		
Muunnoskerroin	k_3	1
Osavarmuuskerroin	γ_{Mc}	1,5
Betonin reunamurtuminen		
Ankkurin tehollinen pituus leikkausrasituksessa	l_f	40 mm
Ankkurin tehollinen halkaisija	d_{nom}	6 mm
Osavarmuuskerroin	γ_{Mc}	1,5

Vetokestävyyttä laskettaessa on tarkistettava betoniankkurin teräksen vetokestävyys, betoniankkurin ulosvetokestävyys, betonikartion murtuminen ja betonin halkeamismurtuminen.

Betoniankkurien terästen vetokestävyyden mitoitusarvo $N_{Rd,s}^g$ saadaan seuraavasti, kun ETA-05/0010:ssa on annettu yhden betoniankkurin vetokestävyyden ominaisarvoksi $N_{Rk,s} = 19,4 \text{ kN}$:

$$N_{Rd,s}^g = n \cdot \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} = 4 \cdot \frac{19,4 \text{ kN}}{1,4} = 55,4 \text{ kN}$$

Betoniankkurin ulosvetokestävyys $N_{Rd,p}$ saadaan edellisen lausekkeen tapaan:

$$N_{Rd,p} = n \cdot \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}} = 4 \cdot \frac{5 \text{ kN}}{1,8} = 11,1 \text{ kN}$$

Betonikartion murtuminen haljenneessa betonissa saadaan lausekkeesta:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} = 9,11 \text{ kN} \cdot 2,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 18,6 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{18,6 \text{ kN}}{1,8} = 10,3 \text{ kN}$$

Lausekkeen kertoimet on laskettu taulukossa 13. Tarkemmat kaavat kertoimille löytyvät betoni-puukiinnike liitoksen teoriaosasta.

Taulukko 13. Betonikartion murtuminen haljenneessa betonissa.

Kuormien siirtymiskerroin	$k = 7,2$
Kiinnikkeen tartuntasyvyys	$h_{ef} = 40 \text{ mm}$
Betonin kuutiolujuus	$f_{c,k,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$
Betonin murtumisen ominaisarvo	<u>$N_{Rk,c}^0 = 9,11 \text{ kN}$</u>
Reunaetäisyydet	$c_1 = 65 \text{ mm}$ $c_2 = - \text{ mm}$
Kiinnikevälit	$s_1 = 43,5 \text{ mm}$ $s_2 = 60 \text{ mm}$
	$s_{cr,N} = 120 \text{ mm}$
Pinta-ala, jonka alalta betonikartio oletetaan murtuvan yksittäisen kiinnikkeen vaikutuksesta	$A_{c,N}^0 = 14400 \text{ mm}^2$
Todellinen betonikartion pinta-ala, jossa on huomiotu kiinnikevälit ja reunaetäisyydet	$A_{c,N} = 29430 \text{ mm}^2$
Kiinnikevälin ja reunaetäisyyden vaikutus	<u>$A_{c,N}/A_{c,N}^0 = 2,04$</u>
Reunaetäisyys	$c = 65 \text{ mm}$
ETA-05/0010 annettu reunaetäisyys	$c_{cr,N} = 60 \text{ mm}$ $\psi_{s,N} = 1,025 > 1$ <u>$\rightarrow \psi_{s,N} = 1$</u>
Kiinnikkeen tartuntasyvyys	$h_{ef} = 40 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ $\psi_{re,N} = 0,7 \leq 1$
Raudoittamaton betoni:	<u>$\rightarrow \psi_{re,N} = 1$</u>
Epäkeskeisesti vaikuttavien voimien resultantti	$e_N = 0 \text{ mm}$
ETA-05/0010 annettu jakoväli	$s_{cr,N} = 120 \text{ mm}$ $\psi_{ec,N} = 1 \leq 1$ <u>$\rightarrow \psi_{ec,N} = 1$</u>
Betonin murtumisen ominaisarvo	$N_{Rk,c} = 18,61 \text{ kN}$
Betonin osavarmuuskerroin	$\gamma_{Mc} = 1,8$
Betonin murtumisen mitoitusarvo	<u>$N_{Rd,c} = 10,3 \text{ kN}$</u>

Betonin halkeamismurtumista tarkasteltaessa on aluksi tarkistettava reunaetäisyyksien, kiinnikevälien ja kappaleen paksuuden minimiarvot (taulukko 14).

Taulukko 14. Betonin halkeamismurtumisen minimiarvot ja tarkastamisedot.

Betonikappaleen paksuus	$h = 180 \text{ mm} \geq h_{\min} = 100 \text{ mm}$
Kiinnikeväli	$s = 58 \text{ mm} \geq s_{\min} = 40 \text{ mm}$
Reunaetäisyys	$c = 43,5 \text{ mm} \geq c_{\min} = 40 \text{ mm}$
Reunaetäisyys	$c = 43,5 \text{ mm} < c_{cr,sp} = 60 \text{ mm}$
Betonikappaleen paksuus	$h = 200 \text{ mm} \geq 2h_{\text{ef}} = 80 \text{ mm}$
Halkeaman suuruus	$w_k \sim 0,3 \text{ mm}$

Betonin halkeamismurtuminen on tarkistettava, koska reunaetäisyys $c < c_{cr,sp}$. Halkeamismurtuminen $N_{Rk,sp}$ saadaan seuraavasta lausekkeesta, missä kerroin $\Psi_{h,sp}$ huomioi betonikappaleen paksuuden. Lausekkeen muut kertoimet saadaan edellisestä betonin murtumista lasketusta lausekkeesta.

$$\Psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{\min}} \right)^{2/3} \leq 1,5 \Rightarrow \Psi_{h,sp} = \left(\frac{180}{100} \right)^{2/3} = 1,48 \leq 1,5$$

$$\begin{aligned} N_{Rk,sp} &= N_{Rk}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \Psi_{s,N} \cdot \Psi_{ec,N} \cdot \Psi_{re,N} \cdot \Psi_{h,sp} = 9,11 \text{ kN} \cdot 2,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,48 \\ &= 27,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Mc}} = \frac{27,5 \text{ kN}}{1,8} = 15,3 \text{ kN}$$

Liitoksen vetokestävyyden mitoittava tekijä on betonin murtuminen $N_{Rd,c} = 10,3 \text{ kN}$.

Leikkauskestävyyttä mitoittaessa on tarkistettava kiinnikkeen teräksen leikkaantumisen, betonin lohkeamismurtuminen sekä betonin reunamurtuminen.

Kiinnikkeelle ei synny vipuvartta, joten betoniankkurin teräksen leikkaantuminen saadaan seuraavasti:

$$V_{Rd,s}^g = n \cdot \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} = 4 \cdot \frac{6,9 \text{ kN}}{1,5} = 18,4 \text{ kN}$$

Betonin lohkeamismurtumisen kestävyys saadaan lausekkeesta 30. Betonikartion murtuminen ominaisarvo $N_{Rk,c}$ on laskettu aiemmin, ja k_3 on annettu ETA-05/0010 asiakirjassa.

$$V_{Rk,cp} = k_3 \cdot N_{Rk,c} = 1 \cdot 18,6 \text{ kN} = 18,6 \text{ kN} \Rightarrow V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}} = \frac{18,6 \text{ kN}}{1,5} = 12,4 \text{ kN}$$

Betonin reunamurtuminen on huomioitava, koska seuraavat ehdot eivät täyty: $c \geq 10h_{ef} \Rightarrow 65 \text{ mm} \leq 10 \cdot 40 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$ ja $c \geq 60d \Rightarrow 65 \text{ mm} \leq 60 \cdot 8 \text{ mm} = 480 \text{ mm}$.

Betonin reunamurtumisen ominaisarvo saadaan seuraavasta lausekkeesta, jonka kertoimien arvot on esitetty taulukossa 15. Tarkemmat kaavat kertoimille löytyvät teoriaosasta.

$$\begin{aligned} V_{Rk,c} &= V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0} \cdot \psi_{s,v} \cdot \psi_{h,v} \cdot \psi_{ec,v} \cdot \psi_{\alpha,v} \cdot \psi_{re,v} = 6,07 \text{ kN} \cdot 1,22 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \\ &= 8,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{8,8 \text{ kN}}{1,5} = 5,8 \text{ kN}$$

Taulukko 15. Betonin reunamurtuminen.

Ankkurin tehollinen pituus leikkausrasituksessa	l_f	=	40 mm	≤	48 mm
Reunaetäisyys	c_1	=	65 mm		
	α	=	0,078		
Ankkurin tehollinen halkaisija	d_{nom}	=	6 mm	≤	60 mm
	β	=	0,062		
Betonin kuutiolujuus	$f_{c,k,cube}$	=	25 N/mm ²		
Yhden kiinnikkeen leikkauskestävyyden omin.arv.	$V_{RK,c}^0$	=	<u>6,07 kN</u>		
Pinta-ala, jonka alalta betonikartio oletetaan murtuvan yksittäisen kiinnikkeen vaikutuksesta	$A_{c,N}^0$	=	19012,5	mm ²	
Todellinen betonikartion pinta-ala, jossa on huomioitu kiinnikevälit ja reunaetäisyydet	$A_{c,N}$	=	23253,75	mm ²	
Kiinnikevälin ja reunaetäisyyden vaikutus	$A_{c,N}/A_{c,N}^0$	=	<u>1,22</u>		
Reunaetäisyydet	c_1	=	65 mm		
	c_2	=	- mm		
	$\psi_{s,V}$	=	1	≤	1
	→ $\psi_{s,V}$	=	<u>1</u>		
Reunaetäisyys	c_1	=	65 mm		
Betonikappaleen paksuus	h	=	180 mm		
	$\psi_{h,V}$	=	0,736	≥	1
	→ $\psi_{h,V}$	=	<u>1</u>		
Epäkeskeisesti vaikuttavien voimien resultantti	e_v	=	0 mm		
Reunaetäisyys	c_1	=	65 mm		
	$\psi_{ec,V}$	=	1	≤	1
	→ $\psi_{ec,V}$	=	<u>1</u>		
Kuorman suunnan ja kappaleen reunan välinen kulma	α_v	=	0 °		(0° ≤ α_v ≤ 90°)
	$\psi_{\alpha,V}$	=	0,707	≥	1
	→ $\psi_{\alpha,V}$	=	<u>1</u>		
Ankkuri haljenneessa betonissa, jossa suora reunaraudoitus	$\psi_{re,V}$	=	<u>1,2</u>		
Betonin reunamurtumisen ominaisarvo	$V_{RK,c}$	=	8,8 kN		
	γ_{Mc}	=	1,5		
Betonin reunamurtumisen mitoitusarvo	$V_{Rd,c}$	=	<u>5,8 kN</u>		

Liitoksen vetokestävyyden mitoittava tekijä on betonin reunamurtuminen $V_{Rd,c} = 5,8 \text{ kN}$.

Yhdistetyn veto- ja leikkauskestävyyden on täytettävä seuraavat ehdot:

$$\beta_N = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1 \text{ ja } \beta_V = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1 \Rightarrow \beta_N = 0,39 \leq 1 \text{ ja } \beta_V = 0,57 \leq 1$$

$$\beta_N + \beta_V \leq 1,2 = 0,39 + 0,57 = 0,96 \leq 1,2$$

$$\beta_N^{1,5} + \beta_V^{1,5} \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^{1,5} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}\right)^{1,5} \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{4 \text{ kN}}{10,3 \text{ kN}}\right)^{1,5} + \left(\frac{3,3 \text{ kN}}{5,8 \text{ kN}}\right)^{1,5} = 0,67 \leq 1$$

$$\beta_N^2 + \beta_V^2 \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{4 \text{ kN}}{10,3 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{3,3 \text{ kN}}{5,8 \text{ kN}}\right)^2 = 0,47 \leq 1$$

Koska kaikki ehdot täyttyvät, liitoksen vetokestävyys on 10,3 kN ja leikkauskestävyys 5,8 kN.

7.3 Johtopäätökset

Ensimmäisen laskentaesimerkin ominaiskestävyyksien tuloksiksi saatiin taulukossa 16 esitetyt arvot. Kyseisten tulosten pohjalta laskettiin laskentaesimerkin käyttöasteet asenussuunnan ominaiskestävyyksistä $R_{2,k}$. Käyttöasteiksi eurokoodin ja Suomen kansallisen liitteen pohjalta saatiin 127 % ja Sherpan laskentaohjeiden mukaan 70 %. Kuvassa 24 on esitetty Sherpan kotisivuilta löytyvän laskentatyökalun avulla saatu tulos. Laskentatyökalun kokonaiskäyttöasteeksi saatiin 67,8 %, kun käytössä on liimapuu GL32h.

Taulukko 16. Ominaiskestävyyksien vertailut eri laskentamenetelmillä.

Sherpa L80, Liimapuu GL30h ($\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$)			
	$R_{1,k}$ [kN]	$R_{2,k}$ [kN]	$R_{45,k}$ [kN]
Sherpan taulukkoarvo	63,9	91,0	28,8
Sherpan ohjeilla laskettu	63,8	90,9	28,8
EC5 + NA	62,1	50,1	33,0*

* Tässä on huomioitu vain kahden ruuvin leikkauskestävyys

1 node type

2 acting forces

NKL 1

G_k 6.75kN

$Q_{k,1}$ 20.25kN residenti: ▼

$Q_{k,2}$ 0kN residenti: ▼

$Q_{k,3}$ 0kN

secured against rotation

$Q_{k,4}$ 0kN residenti: ▼

$Q_{k,5}$ 0kN residenti: ▼

secured against rotation

$Q_{k,6}$ 0kN residenti: ▼

3 geometry

width 115mm

height 630mm

offset 0mm

height 405mm

timber class GL3: ▼

offset 225mm

width 165mm

4 possible connectors price | ▼ load

L60
max. load level: 82.9%

L80
max. load level: 67.8%

5 L80

dimensions

width x height 80x290mm

thickness 18mm

screws 29 pcs. 8 x 100mm

slip moduli

in installation direction 45.5kN/mm

perpendicular to the installation direction 17.6kN/mm

recommended distance

upper edge secondary beam to upper edge connector 106.0mm

SHERPA the leading technology for standardized timber connector systems. office@sherpa-connector.com - Tel.: +43 (0) 3127 / 20945-43 | Impressum

Kuva 24. Sherpan laskentatyökalun tulokset.

Eurokoodi 5:n ja Sherpan laskentaohjeen mukaan saadut arvot eivät eronneet merkittävästi toisistaan. Eri laskentamenetelmillä saadut ominaiskestävyydet pituusakselin suunnassa $R_{1,k}$ ovat lähes identtiset, joten laskennassa voi käyttää Sherpan tuoteluettelon arvoa, mikäli muistaa jättää muutaman prosentin varmuutta käyttöasteen puolella.

Suurin ero saatiin aikaiseksi kiinnikkeen asennussuunnan ominaiskestävyydessä $R_{2,k}$, jossa Sherpan laskelmien ja tuoteluettelon arvot antoivat kiinnikkeelle melkein puolet suuremman kestävyden. Koska asennussuunnan ominaiskestävyyden laskentaa jatkettiin pituusakselin suuntaisen ominaiskestävyyden arvosta, ero saattaa johtua Sherpan testituloksiin perustuvista lisäkertoimista. Pelkästään kiinnikkeiden koosta riippuva kerroin $VF=1,4$ XS–L kiinnikkeissä. Lisäkertoimet saattavat ottaa huomioon Sherpan erikoisruuvien sisä- ja ulkohalkaisijan erotuksen, jonka vaikutusta eurokoodi ei ota huomioon.

Sherpan tuoteluettelon taulukkoarvot ja Sherpan laskentaohjeiden mukaiset ominaiskestävyydet kohtisuoraan asennussuuntaa vastaan ovat samansuuruiset. Eurokoodin mukaisesti tarkasteltuna ominaiskestävyydeksi saatiin 33,0 kN, mikä vaatisi vielä lisätarkastelua. Kyseistä arvoa ei voida suoraan verrata Sherpan laskentaohjeiden arvoon, koska mitoituksessa ei ole huomioitu esimerkiksi reunan lohkeamista.

Laskennassa käytössä ollut liimapuu GL30h ei tuottanut eroavaisuutta kiinnikkeen lujuuden laskennassa. Sherpan ohjeiden mukaisessa laskennassa huomiointiin vain käytössä olevan puun tiheys. Myös tuoteluettelon arvoa voidaan verrata suoraan kyseiseen lujuusluokkaan, koska GL30h- ja GL32-lujuusluokan liimapuiden tiheydet ovat samat 430 kg/m^3 . Ainoa vaihe, jossa liimapuun lujuudet vaikuttavat, on esimerkkilaskennan ensimmäinen vaihe, jossa tarkistetaan palkin kestävyys. Sherpan laskentatyökalu ei myöskään ota kantaa palkin kestävyysiin.

Lopullisen tuloksen eli käyttöasteiden vertailussa Sherpan laskentaohjeet ja Sherpan laskentatyökalu tuottavat lähes saman tuloksen. Ero johtuu luultavasti siitä, että laskentatyökalu laskee kestävyden eri osavarmuusluvulla. Sherpan laskentaohjeen ja eurokoodin käyttöaste on laskettu Suomen kansallisen liitteen mukaisella osavarmuusluvulla. Eurokoodin mukaisen laskennan käyttöastetta ei tulisi todellisuudessa käyttää. Koska Sherpalle on myönnetty Euroopan teknillinen arviointi, jonka pohjalta kiinnikkeelle on annettu CE-merkintä, tulee liitosta mitoittaessa käyttää Sherpan laskentaohjeita.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä sovelluslaskelma Sherpan puu-puukiinnikese- sekä betoni-puukiinnikeliitoksesta. Tavoite saavutettiin, ja esimerkkilaskelmat ovat nähtävillä laskentaesimerkkialaluissa 7.1 ja 7.2. Betoni-puukiinnikeliitoksen esimerkkilaskelma päätettiin jättää vähemmälle tarkastelulle.

Esimerkkilaskelmien perusteella voi perehtyä tarkemmin kiinnikkeiden ominaislujuuksien laskentaan, ja niitä voi näin ollen hyödyntää monella tavalla. Esimerkiksi rakennusvalvonnan vaatiessa laskemat liitoksista, tämän opinnäytetyön laskelmat olisivat periaatteessa hyödynnettävissä tähän tarkoitukseen. Esimerkkilaskelmien laatija ei kuitenkaan vastaa laskelmien oikeellisuudesta, vaan vastuu siitä on laskentaa tekevällä suunnittelijalla.

Eurokoodin 5:n mukaan tehdyt laskelmat eivät ole tyhjentyviä, vaan niistäkin voisi lisätarkastelulla saada aihetta jatkotutkimukselle. Lisäksi opinnäytetyön sovelluslaskemia hyödyntäen olisi mahdollista muodostaa laskentatyökalu, joka tuottaisi suunnittelijan käyttöön laskenta-arvojen lisäksi valmiit ja selkeät laskelmat kaavoineen. Tämän opinnäytetyöprosessin edetessä ohjaaja ehdotti tämän kaltaista sovellusta, mutta omien voimavarojeni ja ajanpuutteen vuoksi totesimme haasteen liian suureksi käytettävissä oleviin resursseihin nähden. Toivottavasti joku opiskelija tarttuu tulevaisuudessa tähän haasteeseen ja luo suunnittelijoiden käyttöön toimivan laskentatyökalun.

Opinnäytetyötä tehdessäni olin pariin otteeseen yhteydessä Sherpan tekniseen tukeen, josta sain nopeasti vastauksen kysymyksiini. Kysymykseni liittyivät Sherpan laskentaohjeisiin, joita jouduin tarkentamaan tekniseltä tuelta muutama kertaan. Tekninen tuki on siis hyvä apu ja lisätiedon lähde, mikäli laskennassa herää kysymyksiä.

Laskelmia tehdessäni oma ammatillinen osaaminen kehittyi ja aloin ymmärtämään puurakenteiden liitosten toimintaa. Aikaisemmissa opinnoissa olimme mi- toittaneet vain muutamia ruuviliitosten perustapauksia, joten opinnäytetyössä oli

sopivasti haastetta perehtyä syvällisemmin ruuviliitoksiin. Eniten aikaa kului teoriapohjaa ymmärtäessä ja kasatessa, koska suurin osa lähdemateriaalista oli joko englannin- tai saksankielistä.

Lähteet

1. Sherpa Connection Systems GmbH. 2014. Company.
<http://en.sherpa-connector.com/company>. [Viitattu 3.4.2014]
2. Sherpa Connection Systems GmbH. 2014. Concept.
<http://en.sherpa-connector.com/concept>. [Viitattu 3.4.2014]
3. Sherpa Connection Systems GmbH. 2014.
http://en.sherpa-connector.com/images/konzept/wirkungsprinzip_neu.png. [Viitattu 3.4.2014]
4. Sherpa Connection Systems GmbH. Sherpa Handbuch. Verkkajulkaisu. Saatavissa: http://marketing.harrer.at/Blaetterkatalog/Sherpa_Statik_Handbuch/blaetterkatalog/.
5. Sherpa Connection Systems GmbH. 2012.
http://download.sherpa-connector.com/download/Bilder/new-series/schraube_gelb_verzinkt_8X100.png. [Viitattu 3.4.2014]
6. Sherpa Connection Systems GmbH. 2014.
<http://download.sherpa-connector.com/download/Bilder/SHERPAProjekte/L80.png>. [Viitattu 3.4.2014]
7. Sherpa Connection Systems GmbH. Täydellisen yksinkertaista. Sherpan kiinnikkeet. Pdf-julkaisu. Saatavissa:
<http://arrascf.eu/cms-data/upload/120619-32seiter-finnisch.pdf>
8. Sherpa Connection Systems GmbH. Timber connections. Verkkajulkaisu. Saatavissa: http://en.sherpa-connector.com/dl/Sherpa_Handbuch_en/blaetterkatalog/index.html. [Viitattu 3.4.2014]
9. Sherpa Connection Systems GmbH. 2014.
<http://en.sherpa-connector.com/images/produkte/firestop.png>. [Viitattu 3.4.2014]
10. Suomen Liimapuuyhdistys ry. Liimapuun lujuusluokat. Pdf-julkaisu. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/tiedotteet/liimapuun-lujuusluokat-liimapuun-l%E2%80%90luokat-korvautuvat-gl%E2%80%90luokilla/liimapuun-lujuusluokat.pdf>. [Viitattu 7.4.2014]
11. Puuinfo. 2010. Eurokoodit.
<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/eurokoodit/eurokoodit>.
12. hEN Helpdesk. 2014. CE-merkintä.

- <http://www.henhelpdesk.fi/www/fi/ce-merkinta/index.php>. [Viitattu 7.4]
13. Suomen Liimapuuyhdistys ry. 2013. Lujuusluokka GL30. <http://www.liimapuu.fi/10>
 14. SFS 7027:2012. Liimapuulle eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot. Suomen standardisoimisliitto SFS.
 15. Carling, O. 2002. Liimapuukäsikirja. Helsinki: Suomen Liimapuuyhdistys ry.
 16. SFS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+AC:2006. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto SFS.
 17. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2013. CE-merkintään vaadittavat toimenpiteet ja asiakirjat.
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Rakennustuotteet/CE-merkinta/Toimenpiteet-ja-asiakirjat/>. [Viitattu 8.4.]
 18. ETA-12/0067:2012. Sherpa series XS, S, M, L and XL. European technical approval.
 19. SFS-EN 1992-1-1:2005+AC:2010. Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto SFS.
 20. DD CEN/TS 1992-4-2:2009. Design of fastenings for use in concrete. Part 4-2: Headed fasteners. European Committee for Standardization.
 21. ETAG 001:1997. Guideline for European technical approval of metal anchors for use in concrete. Annex C: Design methods for anchorages. European Organisation for Technical Approvals. Päivitetty 2010