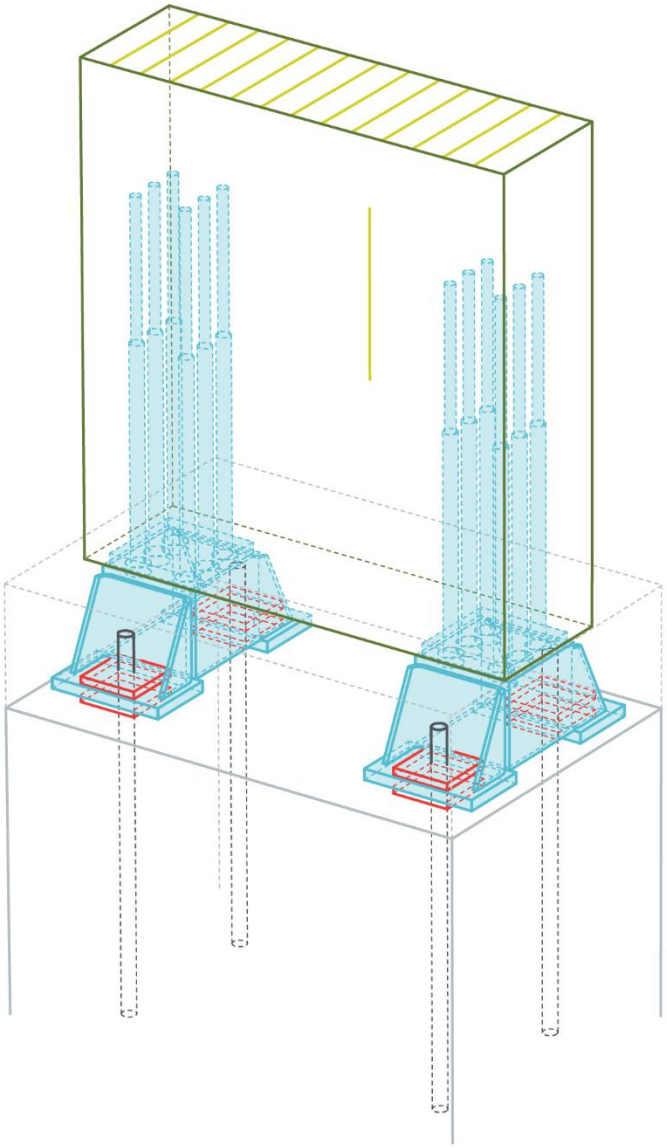
Suunnitteluohje – Mastopilarikenkäliitos

Versowood Oy
VW206 | FI 2.0
30.10.2026



Sahatie 1, 19110 Vierumäki, Finland
www.versowood.fi
Tel. +358 10 8425 100

Sisällysluettelo

1 Yleiskuvaus 3
2 Liitososan ominaisuudet 3
2.1 Rakenteellinen toiminta 4
2.2 Käyttöratkaisut 4
2.3 Käyttöversiot 6
2.4 Liitoksen muokkaus 7
2.5 Käytön rajoitukset 7
2.6 Esivalmistus ja varustelu 7
3 Kestävyydet 8
3.1 Suunnitteluperusteet 8
3.2 Murtorajatilamitoitus 10
3.2.1 Liitoksen taivutuskapasiteetti 11
3.2.2 Liitosvoimat 12
3.2.3 Liimaamalla kiinnitettävän kansiruuvin kapasiteetti 12
3.2.4 Kansiruuviryhmän leikkauskapasiteetti 13
3.2.5 Kansiruuviryhmän vetokapasiteetti lopputilanteessa 13
3.2.6 Mastopilarikengän vetokapasiteetti 14
3.2.7 Mastopilarin puristuskapasiteetti 14
3.2.8 Mastopilarikengän puristuskapasiteetti 15
3.3 Käyttörajatilamitoitus 15
3.4 Palotilannemitoitus 16
4 Suunnittelu 19
4.1 Suunnitteluohjeet ja -työkalut 21
4.2 Mallisuunnitelmat 21
4.3 Materiaaliluettelot 21
5 Asennus 21
6 Suunnittelun tukemme 22
6.1 Suunnittelutyökalut 22
6.2 Hyväksynnät 22
6.3 Ohjeet 22
7 Ohjeen revisiot 23
8 Liitteet 23
A. Mastopilarikenkäliitoksen mitoitus 24
A.1. Mallilaskelma. Mastopilarikenkäliitos. 30
B. Tuotantosuunnitelmamalli 37
C. Liitosdetaljit 38
D. Liitososakuvat 39

1 Yleiskuvaus

Tässä ohjeessa esitetään Versowood mastopilarikenkäliitoksen vakioratkaisun suunnittelun ja toteutuksen perusteet kohdesuunnittelun tueksi. Ohjeessa esitettävät menetelmät ja tarvikkeet perustuvat testauspohjaisiin lausuntoihin.

Versowood on uudistanut vuonna 2026 mastopilarikengän aikaisemmasta kansallisen Halli-PES ohjeistuksen mukaisesta kengästä kapasiteetiltaan tehokkaammaksi. Halli-PES mastopilarikengän tai siitä aikaisemmin käytössä olleen Versowood-version käyttämistä ei jatkossa suositella.

Tässä ohjeessa esitetään liimapuumastopilarin, eli kannastaan jäykän pilarin perustusliitoksen mitoitus sekä Versowood – *Liimatut kiinnikkeet* suunnitteluohjeen mukainen kenkien kiinnitys liimatuilla kansiruuveilla.

Mastopilarikenkäliitos on tavanomainen ja kustannustehokas tapa kiinnittää liimapuupilari perustukseen hallimaisissa rakennuksissa ja käyttötilanteissa, joissa perustus- tai muu rakenneliittymä voi olla liimapuupilaria leveämpi. Liimapuupilarien liitoksissa betonirakenteeseen, joissa rakennepaksuuksien tulee olla sama liitoksen molemmin puolin, käytetään kohdekohtaisesti pienempiä kenkiä tai suunniteltavia teräsosia.

Tässä ohjeessa käytettävät liimapuun ominaisuudet ja toleranssit esitetään Versowood *Liimapuun tekniset ominaisuudet ja toteutus* asiakirjassa. Liimapuun lujuusluokka on aina GL30c.

Tässä ohjeessa esitetään suunnittelun ohjeita toteutuksen tueksi. Toimituskohteen vastuulliset suunnittelijat vastaavat ohjeen vaatimusten toteutumisesta toteutuskohteessa.

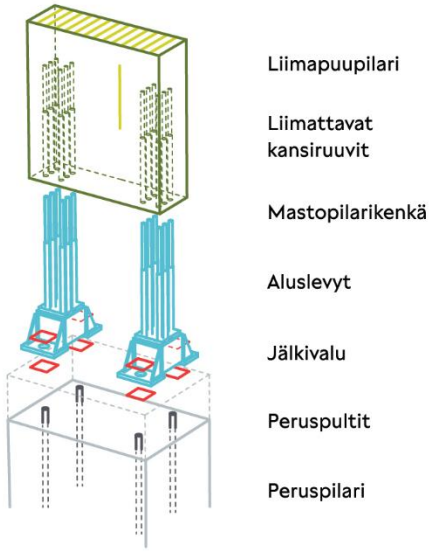
2 Liitososan ominaisuudet

Mastopilarikenkäliitosta käytetään tavanomaisesti liimapuupilarin liittämiseen perustusrakenteisiin, mutta tarvittaessa sitä voidaan soveltaa myös esim. pilarin liittämiseen väestönsuojan betonilaattaan tai muuhun betonirakenteeseen.

Mastopilarikenkä liitos koostuu liimapuupilariin tehtaalla liimattavilla kansiruuveilla kiinnitettävistä mastopilarikengistä, jotka kiinnitetään työmaalla peruspilarissa oleviin peruspultteihin. Liitos suojataan jälkivalulla pilarin asennuksen jälkeen.

Liitoksen osat esitetään kuvassa 2.1.

Kahden mastopilarikengän liitos toimii momenttijäykkänä liitoksena, jolloin liimapuupilareita tarkastellaan mitoituksessa mastopilareina.



Kuva 2.1 Liitoksen osat

Liitoksen mitoitus perustuu lausuntoon liimaruuviliitosten suunnitteluohjeeksi, jonka rinnalla on annettu lausunto mastopilarin nurjahduspituuden laskentaohjeeksi, jonka avulla huomioidaan liitoksen jäykkyys pilarin mitoittamisessa. Mastopilarikengän kestävyys perustuu FEM analyysiin, jonka tulokset on varmennettu kappaleen murtoon asti viedyllä testauksella.

Tässä ohjeessa esitetään Versowood vakiomastopilarikenkien mittatiedot ja kapasiteetit eri kuormitustilanteissa.

Liitos soveltuu käytettäväksi R30 ja R60 paloluokissa huomioimalla liimapuun hiiltymä palotilanteessa tehollisten kansiruuvien määrässä ja sijoituksessa.

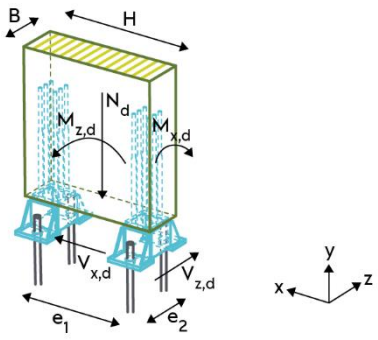
Mastopilarikenkä on konepajavalmisteinen teräsosa, joka käsitellään kohdekohtaisesti suunniteltuna. Kohteen vastaava rakennesuunnittelija tarkastaa mastopilarikengän laskentaselosteen ja hyväksyy ratkaisun käytettäväksi kohteessa.

Mastopilarikengän kiinnitys liimapuuhun liimattavilla kansiruuveilla toteutetaan Versowood - *liimatut kiinnikkeet* suunnitteluohjeen mukaan. Ohjeessa esitetään liimauksen erityinen laadunvalvonta kiinnitystavan varmistamiseksi. Tämän ohjeen kapasiteetit ovat voimassa ainoastaan tehtaalla kiinnitettäville mastopilarikengille.

2.1 Rakenteellinen toiminta

Liitoksessa mastopilarin momentista aiheutuva vetokuormitus siirretään liimaamalla kiinnitettyjen kansiruuvien ja mastopilarikengän välityksellä peruspulteille. Liitosmitoituksessa tarkastetaan myös puristuskapasiteetti ja kansiruuvien leikkauskestävyys. Liitoksen lopullinen kapasiteetti ja palosuojaus toteutuvat, kun juuren jälkivalu on toteutettu ohjeen mukaisesti.

Liitoksen mittatiedot ja kuormituksen voimasuureet esitetään kuvassa 2.2.



Kuva 2.2 Liitoksen mittatiedot

Liitoksessa käytetään tavanomaisesti kahta mastopilarikenkää, jotka valitaan veto- ja leikkauskuormituksen mukaisen kansiruuvimäärän mukaan.

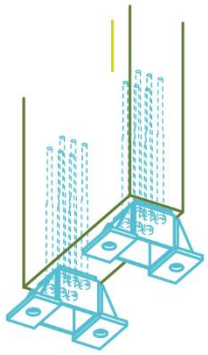
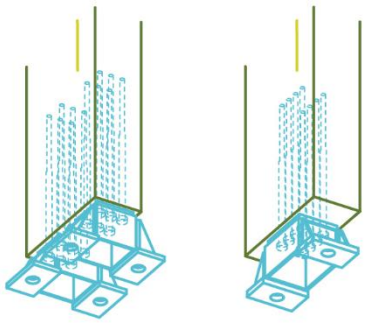
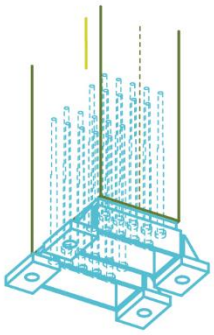
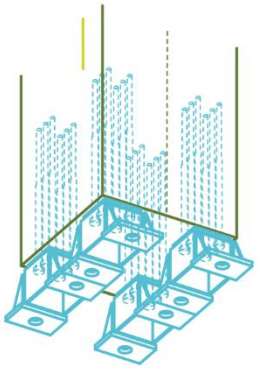
Liitoksen mitoitus pilarin syvyyssuunnassa (H) mastopilarikenkien välisellä etäisyydellä (e_1) tarkastetaan asennustilanteessa ja lopputilanteessa kohdesuunnittelijan määrittämien kuormitustilanteiden voimille.

Liitoksen sivuttaissuuntainen kapasiteetti voidaan määrittää kuormituksen puoleisten kansiruuvien mukaan, kun liimapuupilarilta edellytetään sivusuuntaista jäykkyyttä esim. asennustilanteessa. Rakennuksen jäykistys ei voi perustua ainoastaan mastopilareiden sivuttaissuuntaiseen jäykkyyteen.

2.2 Käyttöratkaisut

Taulukossa 2.1 esitetään mastopilarikengän tavanomaisia käyttöratkaisuja.

Taulukko 2.1. Mastopilarikengän tavanomaisia käyttöratkaisuja

Käyttötapa	Kuva
Mastopilarikengät liimapuupilarissa	
Jäykistävä suorakaidepilari ○ Perusratkaisuna kengän asemointi liitosgeometrian tai palomitoituksen mukaan ○ Mitoitus veto- ja leikkauskuormille	
Nivelpilari ○ Mitoitus leikkauskuormalle ○ Toteutus yhdellä tai kahdella vakiomastopilarikengällä ○ Mitoitus tarvittaessa jäykkäkantaisena nurjahduspituuden kasvattamiseksi	
Monilohkoinen neliöpilari ○ Vakiomastopilarikenkien asemointi pilarin päässä liitosgeometrian tai palomitoituksen mukaan ○ Mitoitus nivelenä tai jäykkäkantaisena	
Suuri monilohkoinen pilari ○ Erilliset vakiomastopilarikengät nurkissa ○ Pilarikoko ≥ 480 x 480 mm²	

2.3 Käyttöversiot

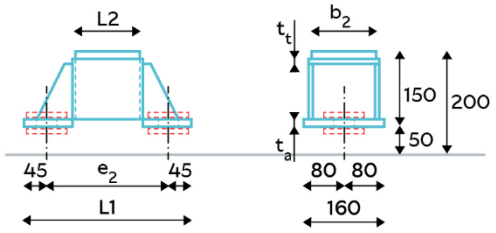
Liimapuumastopilareina käytetään tavanomaisesti suorakaiteen muotoisia vakiopaksuisia liimapuita, joihin sopivien Versowood vakiomastopilarikenkien mittatiedot esitetään taulukossa 2.2 sekä kuvissa 2.3 ja 2.4.

Mastopilarikengän kiinnittämisessä liimapuuhun käytettävä kansiruuvi on aina **M19x500 (5.8)**. Kansiruuvi on käsittelemätön ja puhdistetaan puhaltamalla liimauksen tartunnan parantamiseksi.

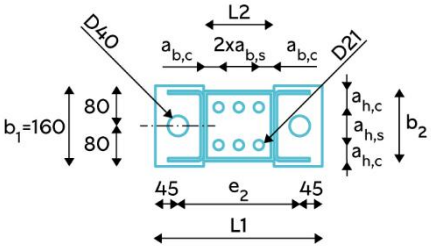
Mastopilarikengän alalaipan reiät kaikissa vakiokengissä on D 40 mm, joihin perustussuunnittelussa määritetään käytettävän peruspulttikoon mukaan sopivat aluslevyt alalaipan ala- ja yläpuolille. Osa peruspulteista sisältää soveltuvat aluslevyt.

Mastopilarikengän ylälaipan kansiruuvireikien (D 21 mm) mittatiedot esitetään taulukossa 2.3 ja kuvassa 2.4. Kenkä kiinnitetään liimapuuhun kaikista rei'istä lukuun ottamatta 140 mm leveitä pilareita, joihin pilarikenkä kiinnitetään kahdella ruuvilla reunaetäisyyksien takia.

Mastopilarikengän kansiruuvien reuna- ja keskinäisetäisyyksissä on huomioitu Versowood – *Liimatut kiinnikkeet* suunnitteluohjeen vähimmäisetäisyydet sekä kapasiteetin ja keskinäisetäisyyksien pienentämisen ohjeet.



Kuva 2.3 Mastopilarikengän mittatiedot



Kuva 2.4 Mastopilarikengän mittatiedot yläpuolelta

Taulukko 2.2. Vakiomastopilarikenkien mittatiedot.

Mastopilarikenkä	Kengän pituus L1	Liitos-pinnan pituus L2	Liitos-pinnan leveys b_2	Laip-pojen paksuus t_a, t_t	Perus-pulttien väli e_2	Liima-ruuvi-reikien määrä
Vakiomastopilarikenkien mitoitus [mm]						
TKR300	492	280	130	30	402	10
TKR200	392	185	135	20	302	8
TKR140	332	128	128	15	242	6 (2[1])
[1] 140 mm leveillä pilareilla vain 2 liimaruuvia						

Taulukko 2.3. Mastopilarikengän kansiruuvireikien (D 21 mm) mittatiedot ylälaipassa.

Mastopilarikenkä	Pituus (*L2*)			Leveys (b_2)		
	L2	$a_{b,c}$	$a_{b,s}$	b_2	$a_{h,c}$	$a_{h,s}$
Reikien reuna- ja keskinäismitat ylälaipassa [mm]						
TKR300	280	40	50	130	26,5	75
TKR200	185	32,5	40	135	30	75
TKR140	128	24	40	128	26,5	75

Mallisuunnitelma mastopilarikengän kiinnittämisestä liimapuuhun esitetään liitteessä B.

Mastopilarikengän mallituotantosuunnitelma esitetään liitteessä D.

Liittyminen peruspultteihin ja -pilariin

Kohdesuunnittelussa peruspulttien sijaintikaaviot laaditaan käytettävän mastopilarikengän ja kenkien sijoituksen mukaan. Kohteen perustussuunnittelija määrittää mitoituksen mukaan peruspulttien koon ja tarvittavat aluslevyt. Versowood ei vastaa peruspulttien tai aluslevyjen mitoituksesta tai toimituksesta.

Mastopilarikengän vakiokokoinen reikä alalaipoissa peruspultille on D 40 mm. Perustussuunnittelija määrittää peruspulttikoon perusteella sopivat aluslevyt alalaipan molemmille puolille, mikäli peruspulttiin ei sisälly riittävät aluslevyt. Aluslevyn suositeltava koko on 70x70 mm^2, jolloin aluslevyn sivuttaistoleranssit mastopilarikengän sivujen välissä mahdollistaa pilarin asennuksen peruspulttiryhmän asennustoleranssien mukaan.

Perustussuunnittelija määrittää peruspilarin koon huomioiden peruspulttien ja hakasrautojen suojaetäisyyksien lisäksi mastopilarikengän suojauksen.

Pintakäsittelemättömän pilarikengän suojaus palotilanteessa ja korroosiosuojaus perustussuunnitelmissa esitettävällä liitoksen jälkivalulla.

Liitoksen mallisuunnitelma esitetään liitteessä C.

2.4 Liitoksen muokkaus

Vakiomastopilarikenkää täydellä kiinnikemäärällä käytetään kengän ylälaipan pituutta (L1) leveämmille liimapuupilareille liitosmitoituksen mukaan. Vakiomastopilarikenkää käytetään vakiopoikkileikkauksille sekä monilohkoisille tai useasta aihiosta muodostuville kokoonpanoille. Vakiomastopilarikenkää ei muokata kohdekohtaisten käyttöratkaisujen mukaan.

Mastopilarikenkä voidaan korvata Asiakkaan suunnittelijan määrittämällä kohdekohtaisella pilarikenkäratkaisulla. Kohdekohtaisen ratkaisun suunnittelussa kiinnitys liimapuupilariin toteutetaan tämän ohjeen periaatteiden mukaisesti.

Ohjeessa esitetyt kapasiteetit ovat voimassa tehtaalla asennettaville mastopilarikengille mallituotantosuunnitelman mukaisilla materiaaleilla. Kohdekohtaisesti muokatuista mastopilarikengistä ja muista pilarikenkäratkaisuista esitetään kohdekohtaiset mitoituslaskelmat ja tuotantosuunnitelmat. Kohdekohtaisten pilarikenkien toimitusaika ja kustannukset tarkastetaan kohdekohtaisesti.

2.5 Käytön rajoitukset

Mastopilarikenkäliitos soveltuu käytettäväksi staattisille kuormille käyttöluokassa KL1 (lämpimät sisätilat) sekä käyttöluokassa KL2 (katetut ulkotilat), kun liimapuurakenteet pintakäsitellään käyttöluokan mukaisesti ja kosteudenhallinnassa noudatetaan Versowood – *Liimapuutoimituksen kosteudenhallintaohjetta*.

Käyttöolosuhteiden ollessa toistuvasti tai jatkuvasti yli 30 °C tai tasaantumiskosteuden ollessa alle 9 %, tulee kohdesuunnittelijan huomioida liimapuudimension ja liitoksen mitoituksissa kuivamishalkeamien vaikutus kapasiteetteihin, sekä mahdollistaa tarvittavat kuivumiskutistuman liikkeet kiinnityksissä.

Erityiset käyttöolosuhteet tulee käsitellä liimapuutoimituksen kaupallisessa vaiheessa ja merkitä suunnitelmissa.

Kohteen suunnittelija vastaa liimaamalla tehtävien kiinnitysten käyttämisestä käyttöluokassa 3 (säärasitukselle alttiit ulkorakenteet) sekä dynaamisten kuormitusten, jatkuvan sortuman ja muiden poikkeustilanteiden mitoituksesta ja suunnittelemisesta.

2.6 Esivalmistus ja varustelu

Tässä ohjeessa esitetyt ohjeet ja kapasiteetit pätevät vain Versowoodin tehtaalla liimatankoliitosten valmistus- ja laadunvalvontaohjeiden mukaan toteutettuihin liimaruuvi- ja liimakiinnityksiin. Ohjeistuksen mukainen liimaus toteutetaan hallituissa

olosuhteissa ja käytettävät materiaalit tarkastetaan ennen liimausta, jonka lisäksi jokainen liimauserä varmennetaan rinnakkaisella testauskappaleella.

Liimakiinnitykset toteutetaan kohdekohtaisten tuotantosuunnitelmien mukaan. Kiinnitysten työstöt liimapuuhun tehdään pääasiassa työstökeskuksilla, mutta myös tarvittaessa käsityöstöinä.

Liimaruuvikiinnityksessä varusteluosa kiinnitetään aina liimauksen yhteydessä lopulliseen asentoon, eikä ruuvia voi kiristää liiman avoimen ajan päätyttyä.

HUOM! Työmaalla toteutettavissa liimakiinnityksissä noudatetaan liimavalmistajan antamia työohjeita ja kapasiteetteja, jotka voivat poiketa merkittävästi tehdastoteutuksen ominaisuuksista.

Esivalmistuksen toteutustoleranssit esitetään Versowood – *Liimapuun tekniset ominaisuudet ja toteutus* asiakirjassa. Kohdesuunnittelussa huomioidaan toleranssien vaikutus liimapuurakenteen tai varusteluosan toteutukseen.

3 Kestävyydet

Mastopilarikenkäliitoksen kestävyysominaisuudet määritetään suunnittelustandardin EN 1995 (Eurokoodi 5, puurakenteet), kansallisen puurakenteiden suunnitteluohjeen RIL 205 sekä testausperusteisen liimaruuviliitosten suunnitteluohjeen menetelmin.

Tässä kappaleessa esitetään mastopilarikenkäliitoksen suunnittelun perusteet ja mitoituksen ohjeet. Vakiokokoisille mastopilarikengille ja kansiruuviryhmille esitetään kapasiteetit eri mitoitustilanteissa.

Tässä suunnitteluohjeessa esitettävät mastopilarikenkäliitoksen kapasiteetit perustuvat teräsosan FEM analyysiin sekä tarkastuslaitoksen lausuntoon Liimaruuviliitosten suunnitteluohjeeksi. Mastopilarikenkä on mitoitettu liimattujen kansiruuvien veto- ja leikkauskapasiteetin mukaan, eikä kengän oleteta olevan mitoittava ohjeen mukaisissa ratkaisuissa. Mastopilarikengän laskelmaseloste toimitetaan vastaavalle rakennesuunnittelijalle kohdekohtaista hyväksyntää varten.

Liimaruuviliitosten suunnitteluohjeen mukaiset mitoitusperusteet esitetään Versowood – *Liimatut kiinnikkeet* suunnitteluohjeessa, jota noudatetaan mitoitettaessa vakiomastopilarikengän kaltaisia kohdekohtaisia ratkaisuja.

Toteutuskohteen vastaava rakennesuunnittelija tarkastaa toteutussuunnittelussa tässä ohjeessa esitettyjen kestävyysmitoituksen perusteiden toteutumisen.

3.1 Suunnitteluperusteet

Liitoksen suunnittelussa huomioidaan taulukoissa 3.1 ja 3.2 esitettyjen materiaalien, toteutusluokkien sekä standardien ja ohjeiden vaatimukset.

Taulukko 3.1. Liitoksen materiaalit ja toteutus

Määritys	Kuvaus
Mastopilarikengän materiaalit ja toteutus	
S355J2/JR	Teräslaatu
EXC2 1/100, eli ±1,0 mm	Toteutusluokka Suurin sallittu vinous pystysuunnasta
C	Hitsausluokka (saumapaksuudet mallisuunnitelmien mukaan)
5.8	Kansiruuvin lujuusluokka
GL30c	Liimapuun lujuusluokka
TL3	Toteutusluokka (Versowood liimapuun tekniset ominaisuudet ja toteutus)

Taulukko 3.2. Liitoksen suunnittelussa noudatettavat standardit ja ohjeet

Standardi/ohje	Kuvaus
Suunnittelu	
SFS-EN 1993	Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu.
SFS-EN 1995	Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu.
RIL 205	Puurakenteiden suunnitteluohje (Eurokoodi 5) ○ Liimakiinnityksen suunnittelu
EUFI29-25000438-T1	Eurofins Expert Services Oy. ○ Lausunto; Liimaruuviliitosten suunnitteluohje
EUFI29-25000438-T2	Eurofins Expert Services Oy. ○ Lausunto; Liimaruuveilla perustuksiin kiinnitettävän liimapuisen mastopilarin nurjahduspituuden laskentaohje
Mastopilarikengän mitoitus	
Report-2026–19	Häme University of Applied Siences ○ Column-shoe simulation verification and validation
Report-2026–20	Häme University of Applied Siences ○ Column-shoe design report
Liimapuu	
EN 14080	Puurakenteet. Liimapuu ja liimattu sahatavara. Vaatimukset
Puurakenteiden toteutus	
SFS 5978	Puurakenteiden toteuttaminen. Rakennuksen kantavia rakenneosia koskevat säännöt.
Kiinnikkeet	
DIN 571	Kuusiokantaiset puuruuvit ○ Liimaruuvi, liimattava kansiruuvi
Teräsosat	
EN10025-2	Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: Seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot
Teräsosien toteutus	
EN 1090-2	Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset
EN ISO 5817	Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat

Liimaamalla tehtävien kiinnitysten suunnittelun perusteet esitetään *Versowood – Liimatut kiinnikkeet* suunnitteluohjeessa.

Versowood – *Liimapuun tekniset ominaisuudet ja toteutus* asiakirjassa esitetään käytettävän liimapuun ominaisuudet ja toleranssit sekä laadunvalvonnan perusteet.

3.2 Murtorajatilamitoitus

Kohteen suunnittelija määrittää mastopilarikenkäliitoksessa käytettävän mastopilarikengän liitokseen kohdistuvista ulkoisista kuormituksista syntyvien liitosten sisäisten voimien mukaan.

Liitoksen murtorajatilamitoitustarkastelu tehdään kohdesuunnittelijan määrittämistä kuormituksista syntyville liitosvoimille sekä asennusaikaisen että lopputilanteen kuormitustapauksilla huomioiden muut mitoituksen lähtötiedot.

Liitoksen mitoituksessa tarkastellaan mastopilarikengän kiinnityksen kestävyydet liimapuussa. Ohjeessa esitettävien mastopilarikenkien mitoitus perustuu liimapuupilarikengän laskelmaselosteeseen, jossa mastopilarikenkä on mitoitettu kansiruuviryhmien maksimikapasiteetin mukaan. Mastopilarikengän ei oleteta olevan mitoittava ohjeen mukaisissa ratkaisuissa.

Liitoksen kapasiteetti määrittyy käytännössä kansiruuviryhmän mukaan, joka mitoitetaan liitosvoimien veto-, puristus- ja leikkausrasituksille. Leikkausvoimakapasiteetti on usein mitoittava, joka tarkistetaan ensimmäisenä.

Liitoksen leikkauskapasiteettia voidaan parantaa pilarin päähän kiinnitettävillä vaarnoilla, kun mastopilarikengän leikkauskapasiteetti ei ole riittävä liitoksen leikkausvoimalle.

Asennustilanteessa, kun liitoksen jälkivalua ei ole tehty, tarkastetaan liimapuun, mastopilarikengän sekä peruspulttien puristuskapasiteetit. Asennustilanteen tarkastelussa peruspultin oletetaan olevan pystysuora, jolloin kengälle ei synny vaakakuormitusta.

Mastopilarikengälle ei ilmoiteta asennustilanteen leikkauskapasiteettia. Kohdekohtaisessa tarkastelussa mastopilarikengän leikkauskapasiteetin voi määrittää kansiruuvien mitoitusohjeiden mukaisesti ja peruspultin kapasiteetin käytettävän tuotteen suunnitteluohjeen mukaan.

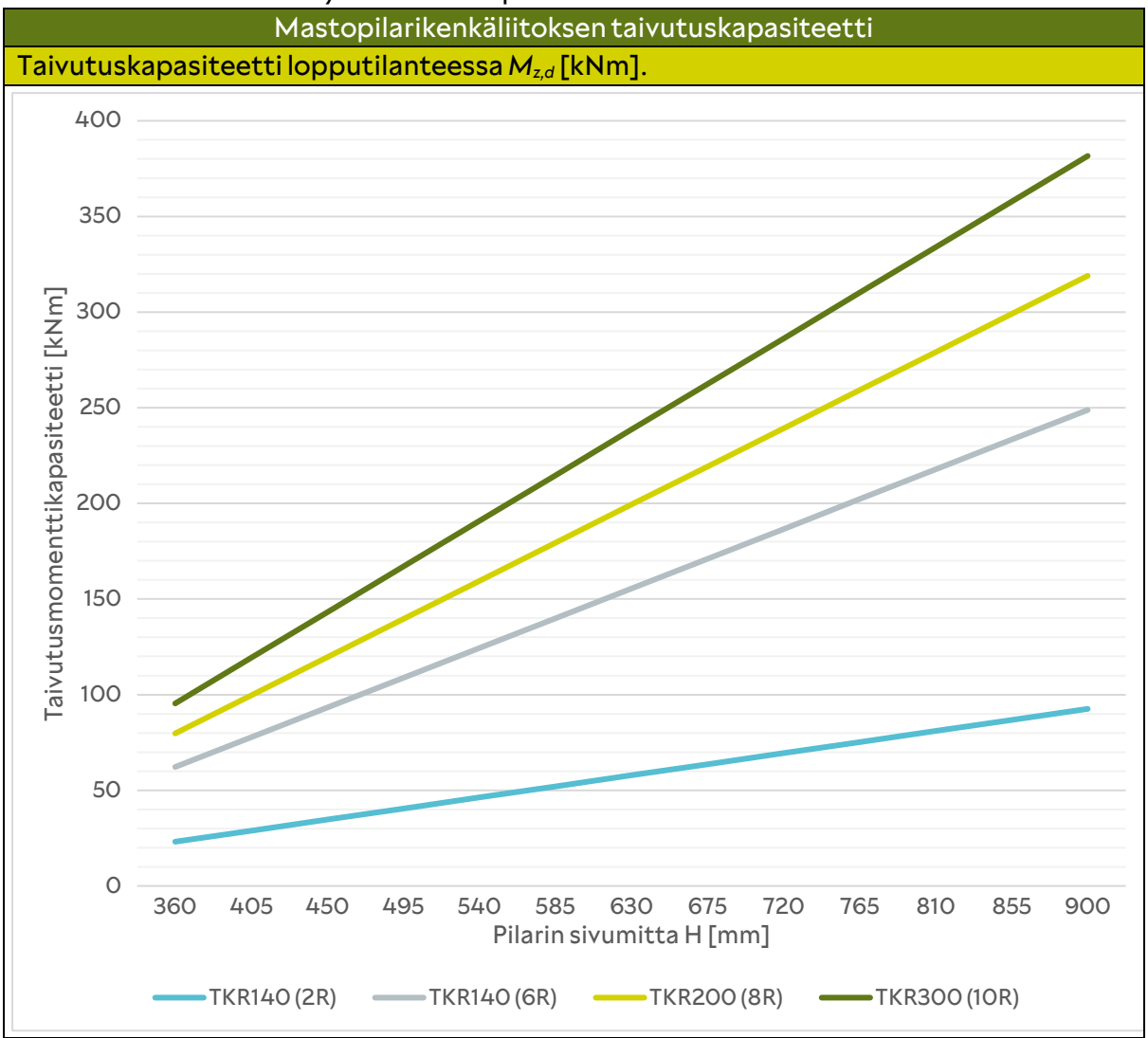
Versowood vakiomastopilarikenkäliitoksen mitoitustyökalu on suunnittelijoiden vapaasti hyödynnettävissä calculationtools.fi palvelussa.

Mastopilarikenkäliitoksen sisäisten voimien ja kansiruuviryhmän mitoituksen laskentakaavat ja mallilaskelma esitetään liitteessä A.

3.2.1 Liitoksen taivutuskapasiteetti

Liimapuupilarin ja vakiomastopilarikengän esimitoitus voidaan tehdä kuvaajan 3.1 mukaan liitoksen taivutusmomentin $M_{z,d}$ [kNm] avulla. Esimitoituksessa tarkastetaan myös liitoksen leikkausvoimakapasiteetti taulukon 3.3 mukaan leikkausvoimalle V_d [kN].

Kuvaaja 3.1. Mastopilarikenkäliitoksen taivutuskapasiteetti ja vähimmäispilarikoko kansiruuviryhmän vetokapasiteetin mukaan



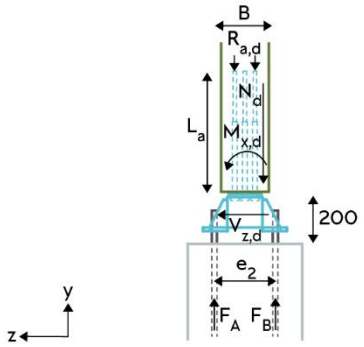
Liitoksen taivutuskapasiteetin momenttivarsi e1 = H – 180 mm mastopilarikenkien vakiosijoittelun mukaan (kts. taulukko 4.1)

Lopullisessa liitossuunnittelussa pilarin koko mitoitetaan taivutusmomentin ja toteutuvan momenttivarren mukaan.

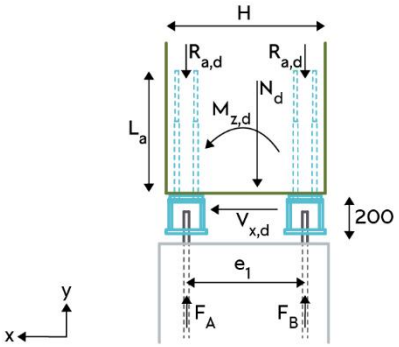
3.2.2 Liitosvoimat

Liitoksen sisäiset voimat määritetään kohdekohtaisen rakennejärjestelmän ja rakennusosien mitoituksen perusteella. Liitosvoimat ja voimien mittatiedot liitoksen eri suunnissa esitetään kuvissa 3.1. ja 3.2.

Pilarin normaalivoima N_d oletetaan keskeiseksi, liitoksen pystykuorman oletetaan jakautuvan tasaisesti kaikille peruspulteille.



Kuva 3.1 Liitosvoimat ja mittatiedot liitoksen suunnassa



Kuva 3.2 Liitosvoimat ja mittatiedot liitoksen sivuttaissuunnassa

Mastopilarikenkien kansiruuviryhmien ja peruspulttien normaalivoimat veto- ja puristussuunnassa määritetään normaalivoiman ja pilarin momentin yhdistelmänä tarkastelusuunnan etäisyyksien mukaan.

Liitoksen momentit määritetään akselin ympäri kohtisuoraan tarkastelusuunnasta. Pilarin korkeussuunnassa (*H*) tarkasteluetäisyys on kansiruuviryhmien painopisteiden ja peruspulttien etäisyys (e_1), jotka vakiomastopilarilla ovat samat. Pilarin sivuttaissuunnassa (*B*) kansiruuvien rasitus määritetään reunimmaisten kansiruuviparien etäisyyden mukaan.

Liitoksen leikkauskapasiteetti tarkastellaan puristetuille kansiruuviryhmille, eli leikkauskuormitussuunnasta kauempana olevalle yhdelle mastopilarikengälle. Vedetyillä kansiruuveilla ei oleteta olevan leikkauskapasiteettia. Lopputilanteessa leikkausvoiman oletetaan siirtyvän juotosvalun kautta peruspilarille.

3.2.3 Liimaamalla kiinnitettävän kansiruuvin kapasiteetti

Mastopilarikengän kiinnittämisessä liimapuuhun käytettävän liimaamalla kiinnitettävän kansiruuvin suunnittelu ja toteutus esitetään Versowood – *Liimatut kiinnikkeet* suunnitteluohjeessa.

Liimaamalla kiinnitettävän vetorasitetun yksittäisen kansiruuvin tartuntakapasiteetti liimapuun päätypuussa eri käyttöluokissa esitetään suunnitteluohjeen taulukossa 3.3.

Liimaamalla kiinnitettävän puristetun yksittäisen kansiruuvin leikkauskapasiteetti liimapuun päätypuussa eri käyttöluokissa esitetään suunnitteluohjeen taulukossa 3.5.

Suunnitteluohjeen taulukossa 3.4. esitetään kansiruuviliitosryhmän vähimmäisreuna- ja keskinäisetäisyydet eri aikaluokissa. Suunnitteluohjeessa esitetään myös ohjeistus keskinäisetäisyyksien ja kapasiteettien pienentämisestä mastopilarikengän suunnittelua varten.

Kansiruuvien tartuntalujuuden lisäksi kansiruuviryhmän lohkeamismurtuma liimapuusta tarkastaan suunnitteluohjeen mukaan.

Liimaamalla kiinnitettävän kansiruuvin mitoitus perustuu Eurofins Expert Service Oy laatimaan lausuntoon *Liimaruuviliitosten suunnitteluohjeeksi*.

3.2.4 Kansiruuviryhmän leikkauskapasiteetti

Pilariin kohdistuvat leikkauskuormitukset välittyvät perustuksiin mastopilarikengän kautta, jolle kuormitukset välitetään liimatuilla kansiruuveilla. Vakiomastopilarikengän kansiruuvien keskinäisetäisyys kuormituksen suunnassa a_h = 75 mm, jolla leikkauskestävyytenä voidaan hyödyntää Liimaruuviliitosten suunnitteluohjeen mukaista kapasiteettia vähentämättömänä.

Kansiruuviryhmien lopputilanteen leikkauskapasiteetit mastopilarikengittäin kuormituksen eri aikaluokissa esitetään taulukossa 3.3.

Liitoksen leikkauskapasiteettia voidaan parantaa myös pilarin alapäähän kiinnitettävällä leikkausputkella tai muilla puuhun upotettavilla teräsosilla.

Taulukko 3.3. Puristuskuormitettujen liimattujen kansiruuviryhmien leikkauskapasiteetti lopputilanteessa kuormituksen eri aikaluokissa.

Mastopilarikenkä	Kansiruuvit [kpl]	Kuormituksen aikaluokka		
		Pysyvä k_{mod} = 0,6	Pitkäaikainen k_{mod} = 0,8	Hetkellinen k_{mod} = 1,1
Puristetun kansiruuviryhmän leikkauskapasiteetti murtorajatilassa $R_{v,d}$ [kN]				
TKR300	10	55	73	100
TKR200	8	44	58	80
TKR140	6	33	44	60
TKR140	2	11	15	20
Liitoksen materiaaliosavarmuus γ_M = 1,3. Käyttöluokat 1 ja 2. Puristetun ruuviryhmän etäisyys pilarin leikkauskuormitetusta reunasta ≥ 0,5 H.				

3.2.5 Kansiruuviryhmän vetokapasiteetti lopputilanteessa

Kansiruuviryhmien vetokapasiteetti syynsuunnassa liimapuun päätypuusta eri mastopilarikenkien yhdistelmillä esitetään taulukossa 3.4. Kapasiteeteissa on huomioitu ruuvimäärän mukainen mitoitusvetokapasiteetti, ruuviryhmän tehollisen vetopinta-alan lohkeamismurtokapasiteetti sekä toteutuva tartuntapituus.

Taulukko 3.4. Liimattavien kansiruuviryhmien vetokapasiteetti lopputilanteessa.

Mastopilarikenkä	Kansiruuvit [kpl]	Käyttöluokka	
		KL1	KL2
Vetokapasiteetti lopputilanteessa N_{Rd} [kN].			
TKR300	10	530	424
TKR200	8	443,0	354
TKR140	6	346	277
TKR140	2	129	103
Liitosten suuntakulma α = 0°–15° Hetkellinen kuormitus k_{mod} = 1,1. Tartuntalujuuden osavarmuus γ_m = 1,3. Kansiruuvin toteutuva tartuntapituudessa huomioitu ylälaipan paksuus (L_a/490).			

3.2.6 Mastopilarikengän vetokapasiteetti

Pilarin momentista aiheutuva vetokuormitus siirtyy mastopilarikengälle liimattujen kansiruuvien välityksellä, joiden vetokuormitus oletetaan täysin keskeiseksi ja tasaisesti kengän ylälaipalle jakautuvaksi. Vetokuormitus siirretään peruspulteille alalaipan yläpuolisten aluslevyjen välityksellä. Peruspulttien oletetaan olevan sivuun siirtyviä.

Mastopilarikenkien murtorajatilan vetokapasiteetit vetokuormituksen siirtämiseksi pilarilta peruspulteille esitetään taulukossa 3.5. Samaa kapasiteettia hyödynnetään sekä asennus- että lopputilanteen tarkasteluissa.

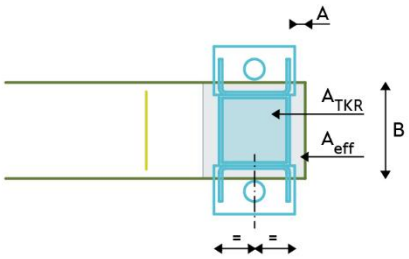
Taulukko 3.5. Mastopilarikenkien vetokapasiteetit murtorajatilassa

Mastopilarikenkä	Kansiruuvit [kpl]	
Vetokapasiteetti murtorajatilassa N_{rd} [kN].		
TKR300	10	410
TKR200	8	406
TKR140	6 (2)	310
Kapasiteetit mastopilarikengän laskentaselosteen mukaan.		

Mastopilarikenkäliitoksen vetokapasiteetin määrittämisessä tarkastellaan kengän kestävyyden lisäksi peruspulttien myötölujuus ja liimatun kansiruuviryhmän vetokapasiteetti.

3.2.7 Mastopilarin puristuskapasiteetti

Liimapuupilarin syynsuuntainen puristuskestävyys liitosalueella normaalivoiman ja taivutusrasituksen tukivoimalle F_A [kN] tarkastetaan ensisijaisesti mastopilarikengän ylälaipan alalla A_{TKR}. Taulukossa 3.6 esitetään liimapuun syynsuuntainen puristuskapasiteetti mastopilarikengittäin kuormituksen eri aikaluokissa. Mastopilarikengän ylälaipan ollessa liimapuupilaria kapeampi tai mastopilarikengän ollessa sisäänvedettynä pilarin pinnasta, käytetään puristuspinta-alana kuvan 3.3 mukaisesti tehollista puristusalaa A_{eff}.



Kuva 3.3 Liimapuupilarin tehollinen puristusala mastopilarikenkäliitoksessa

Taulukko 3.6. Liimapuun päätypuun puristuskestävyys mastopilarikengän ylälaipalla (A_{TKR})

Mastopilarikenkä	Ylälaippa	Kuormituksen aikaluokka		
	L2 x b_2	Pysyvä k_{mod} = 0,6	Pitkäaikainen k_{mod} = 0,8	Hetkellinen k_{mod} = 1,1
Liimapuun päätypuun puristuskapasiteetti ylälaipalla $R_{A,d}$ [kN]				
TKR300	280x130	387	516	710
TKR200	185 x135	261	348	479
TKR140	128 x128	168	224	308
Liimapuun materiaaliosavarmuus γ_M = 1,25. Käyttöluokat 1 ja 2.				

Mastopilarikenkäliitoksen asennustilanteen puristustarkastelussa tarkastetaan liimapuun syynsuuntainen puristuskestävyys mastopilarin ylälaipan alalla sekä mastopilarikengän ja peruspulttien kestävyys asennusaikaiselle kuormitukselle.

3.2.8 Mastopilarikengän puristuskapasiteetti

Asennustilanteessa liimapuupilarin normaalivoimasta ja momentista aiheutuva puristuskuormitus siirretään peruspulteille mastopilarikengän alalaipan alapuolisten aluslevyjen välityksellä. Pilarin pystysuuntainen puristuskuormitus oletetaan jakautuvan tasaisesti mastopilarikengän ylälaipalle ja peruspulteille. Ilmoitetussa kapasiteetissa on huomioitu pilarikengälle korkeintaan 1/100 vinoustoleranssi pystysuorasta.

Lopputilanteessa puristuskuormitettu mastopilarikenkä tukeutuu liitoksen juotosvaluun. Lopullisessa rakenteessa puristuksen oletetaan välittyvän pääosin suoraan kengän ylälaipan alapuoliselle juotosvalulle, joten lopputilanteen puristuskapasiteetissa mastopilarikenkä ei ole mitoittava osa liitoksessa.

Mastopilarikenkien asennustilanteen puristuskapasiteetit mastopilarikengittäin esitetään taulukossa 3.7.

Taulukko 3.7. Mastopilarikenkien puristuskapasiteetit asennustilanteessa pystysuoralle puristukselle

Mastopilarikenkä	Kansiruuvit [kpl]	
Puristuskapasiteetti asennustilanteessa N_{rd} [kN]. Pystysuora puristus yhdelle kengälle.		
TKR300	10	116
TKR200	8	164
TKR140	6 (2)	166
Puristuskapasiteetti määritetty olettaen että veto- ja puristustilanteen kapasiteetit ovat asennustilanteessa 80 % voimalla myötörajasta samansuuruiset. Ko. kapasiteetilla on siirtymät alle 1 mm, joten tämä olettamus jää varmalle puolelle. Puristuskapasiteetin määrityksessä on huomioituna kengän lisäksi peruspultit.		

Mastopilarikenkäliitoksen asennustilanteen puristustarkastelussa tarkastetaan mastopilarikengän puristuskestävyyden lisäksi liimapuun syynsuuntainen puristuskestävyys mastopilarikengän ylälaipalla sekä peruspulttien kestävyys asennusaikaiselle kuormitukselle.

3.3 Käyttörajatilamitoitus

Mastopilariliitoksen muodonmuutoksissa huomioidaan kaikissa liitoksen komponenteissa tapahtuvat muodonmuutokset kuten peruspulttien venymä, kansiruuvien venymä sekä puun puristuminen.

Mastopilarikengän liimaamalla kiinnitettävien kansiruuvien aksiaalinen jäykkyys ja liitinryhmän muodonmuutosparametrit määritetään Eurofins Expert Services Oy:n lausunnon EUFI29-25000438-T2 mukaan. Kansiruuvin aksiaalisen jäykkyyden muodonmuutosparametri esitetään taulukossa 3.8 ja mastopilarikengän kuormituksesta aiheutuvan pystysuuntaisen muodonmuutoksen parametrit esitetään taulukossa 3.9.

Ohjeen liitteessä A esitetään liitoksen kokonaismuodonmuutoksen ja siitä aiheutuvan pilarin yläpään vaakasiirtymän mitoitus, joka huomioidaan pilarin taipuman lisäksi kokonaissiirtymän määrittämisessä.

Taulukko 3.8. Liimatun kansiruuvin aksiaalinen siirtymäkerroin

Kansiruuvin materiaali	Liimatyyppi	
	Epoksi	Polyuretaani
Muodonmuutosparametri $K_{ser.ax,R}$ [N/mm] *10^6.		
5.8	**0,285**	0,180
Vakioliima **vahvistettuna**.		

Taulukko 3.9. Mastopilarikenkien muodonmuutosparametrit lopputilanteessa

Mastopilarikenkä	Kansiruuvit [kpl]	Käyttörajatila	Murtorajatila
Muodonmuutosparametri $K_{ser.ax,TK}$ [N/mm] *10^6.			
TKR300	10	0,501	0,166
TKR200	8	0,491	0,164
TKR140	6	0,298	0,166
Parametrit voimassa taulukossa 3.5 esitetyillä kapasiteeteilla. Parametrit muuttuvat mastopilarikengän rakenteeseen tehtävissä muutoksissa.			

Lopputilanteessa oletetaan, ettei mastopilarikenkään muodostu suuria vaakasuuntaisia muodonmuutoksia liitoksen jälkivalun vuoksi. Vaakasuuntaisen muodonmuutokset syntyvät pääasiassa mastopilarikengän ja liimapuun välillä kansiruuvien leikkausmuodonmuutoksesta.

3.4 Palotilannemitoitus

Liimaamalla kiinnitettävän kansiruuvin palomitoitus tehdään Liimaruuviliitosten suunnitteluohjeen ja Versowood – *Liimatut kiinnikkeet* suunnitteluohjeen kohdan 3.4 mukaisesti.

Kuormitukset ja materiaaliominaisuudet palotilanteessa määritetään suunnittelustandardin EN 1995 palo-osan mukaan.

Palotilanteessa teholliset kansiruuvit määritetään pilarin poikkileikkauksen leveyden (B) sekä suunnitteluohjeen reunaetäisyyden (*a1*) mukaan kansiruuviryhmän molemmissa suunnissa. Palotilannemitoituksessa tehollisten kansiruuvien määrä voidaan optimoida valitsemalla pilarin leveyttä pienempi vakiomastopilarikenkä taikka sijoittamalla mastopilarikenkä irti pilarin reunasta etäisyydelle A [mm] (kts. kuva 4.1). Palomitoitettavissa liitoksissa tavanomaisesti asennetaan kansiruuvit kaikkiin mastopilarikengän reikiin.

Pilarin vähimmäisleveys tarkastetaan palonkestoluokan ja palotilanteessa tehollisten ruuvirivien määrän mukaan. Aikaisemmissa ohjeissa esitettyjä palotilanteen ruuveja ei käytetä.

Vakiomastopilarikenkien liimaamalla kiinnitettävien kansiruuvien palotilanteen vetokapasiteetti esitetään taulukossa 3.10. ja leikkauskapasiteetti esitetään taulukossa 3.11.

Taulukko 3.10. Mastopilarikenkien liimattujen kansiruuviryhmien vetokapasiteetit palotilanteessa.

Mastopilarikenkä	B [mm]	A [mm]	R30	R60
Vetokapasiteetti palotilanteessa $N_{rd,fi}$ [kN].				
TKR300	380	0	353 (5)	353 (5)
	380	20	658 (10)	353 (5)
	380	50	658 (10)	658 (10)
	330	0	353 (5)	223 (3)
	330	20	658 (10)	223 (3)
	330	50	658 (10)	415 (6)
	280	0	223 (3)	223 (3)
	280	20	415 (6)	223 (3)
	280	50	415 (6)	415 (6)
TKR200	240	0	295 (4)	158 (2)
	240	20	550 (8)	158 (2)
	240	50	550 (8)	295 (4)
	215	0	158 (2)	-
	215	20	295 (4)	-
	215	50	295 (4)	-
	190	0	158 (2)	-
	190	20	295 (4)	-
	190	50	295 (4)	-
TKR140	215	0	230 (3)	86 (1)
	215	20	429 (6)	86 (1)
	215	50	429 (6)	160 (2)
	190	0	86 (1)	-
	190	20	160 (2)	-
	190	50	160 (2)	-
	165	0	86 (1)	-
	165	20	160 (2)	-
	165	50	160 (2)	-
	140	0	86 (1)	-
	140	20	160 (2)	-
	140	50	160 (2)	-

Aikaluokkakerroin k_{mod} = 1,0. Materiaaliosavarmuus γ_M = 1,0.
Palotilanteen kerroin k_{fi} = 1,05
Kansiruuvin toteutuva tartuntapituudessa huomioitu ylälaipan paksuus (L_a/490).
Suluissa () palotilanteessa toimivien liittimien määrä.

Taulukko 3.11. Puristuskuormitettujen mastopilarikenkien liimattujen kansiruuviryhmien leikkauskapasiteetit palotilanteessa.

Mastopilarikenkä	B [mm]	A [mm]	R30	R60
Leikkauskapasiteetti palotilanteessa $N_{rd,fi}$ [kN].				
TKR300	380	0	62 (5)	62 (5)
	380	20	124 (10)	62(5)
	380	50	124 (10)	124 (10)
	330	0	62 (5)	37 (3)
	330	20	63 (10)	37 (3)
	330	50	63 (10)	75 (6)
	280	0	36 (3)	37 (3)
	280	20	75 (6)	37 (3)
	280	50	75 (6)	75 (6)
TKR200	240	0	50 (4)	25 (2)
	240	20	99 (8)	25 (2)
	240	50	99 (8)	50 (4)
	215	0	25 (2)	-
	215	20	50 (4)	-
	215	50	50 (4)	-
	190	0	25 (2)	-
	190	20	50 (4)	-
	190	50	50 (4)	-
TKR140	215	0	37 (3)	12 (1)
	215	20	75 (6)	12 (1)
	215	50	75 (6)	25 (2)
	190	0	12 (1)	-
	190	20	25 (2)	-
	190	50	25 (2)	-
	165	0	12 (1)	-
	165	20	25 (2)	-
	165	50	25 (2)	-
	140	0	12 (1)	-
	140	20	25 (2)	-
	140	50	25 (2)	-
Aikaluokkakerroin k_{mod} = 1,0. Materiaaliosavarmuus γ_M = 1,0. Palotilanteen kerroin k_{fi} = 1,05 Puristetun ruuviryhmän etäisyys pilarin leikkauskuormitetusta reunasta ≥ 0,5 *H*. Suluissa () palossa toimivien liittimien määrä.				

Mastopilarikenkää ei ole mitoitettu palotilanteelle. Mastopilarikenkä suojataan palotilanteessa liitoksen jälkivalulla perustussuunnitelmien mukaan.

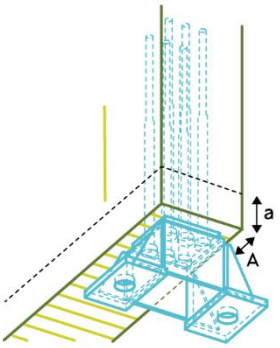
Teräksen myötölujuus heikkenee 400 °C alkaen. Suojabetonipaksuus määritetään betonilämpötilakehitykseen perustuen standardipalossa siten, ettei teräksen lämpötila nouse yli 450 °C. Jälkivalun voidaan yleisesti katsoa suojaavan mastopilarikenkää palotilanteessa paksuuden ollessa 15 mm R30 tai 35 mm R60 palonkestolla.

Liimapuun mahdollinen palosuojakäsittely B-luokkaan ei vaikuta palomitoitukseen.

4 Suunnittelu

Mastopilarikenkäliitosta voidaan soveltaa erilaisissa käyttötilanteissa tässä ohjeessa esitettäviä periaatteita noudattaen.

Rakennesuunnittelussa määritetään liimapuupilarin ja perustuksen yhteinen geometria sekä mahdolliset rajoitteet mastopilarikengän sijoitukselle pilarissa. Mastopilarin esimerkkiliitos perustukseen esitetään liitteessä C.



Kuva 4.1 Mastopilarikenkä liimapuupilarin alapäässä

Perustusrakenteiden suunnittelussa huomioidaan pilarin lopputilanteen kuormitukset sekä asennustilanteen puristustarkastelussa peruspulttien kapasiteetti, suoruus ja asennuksen epäkeskisyys. Perustussuunnittelija määrittää käytettävät peruspultit sekä laatii peruspulttikaaviot liimapuurakenteiden suunnittelijan laatimien tuotantosuunnitelmien mukaan noudattaen peruspulttien tuotevalmistajan ohjeita.

Liimapuupilarin tuotantosuunnitelmassa esitetään mastopilarikengän asennus liimapuuhun ohjeen liitteen B mallituotantosuunnitelman mukaisesti. Liimattavien kansiruuvien toteutus on määritetty Versowood – *Liimatut kiinnikkeet* suunnitteluohjeessa.

Kuvassa 4.1 esitetään liimapuupilarin alapää, jossa mastopilarikenkä on sijoitettu irti liimapuun pinnasta etäisyydelle A. Liimapuupilarin alapää kosteussuojataan kansiruuvien kiinnittämisessä käytettävällä matala viskositeettisella epoksiliimalla, joka nostetaan pilarin sivulle tuotantosuunnitelman mukaan (esim. a = 20 mm).

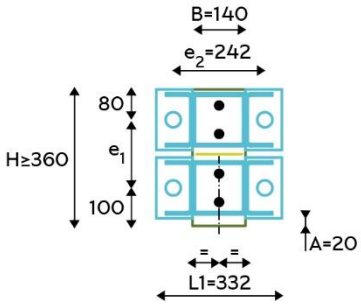
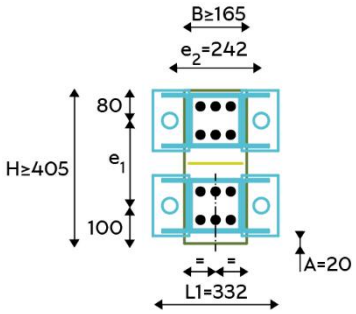
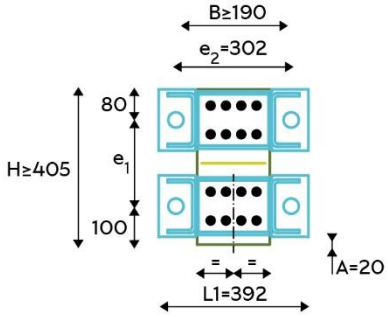
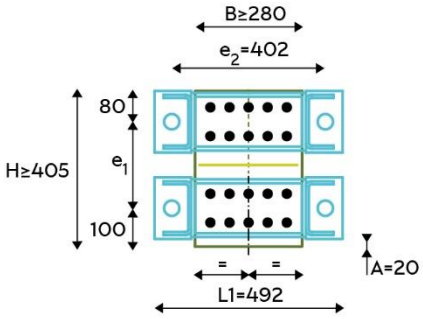
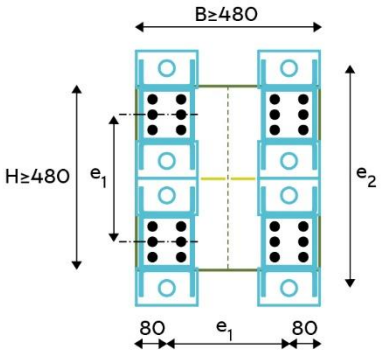
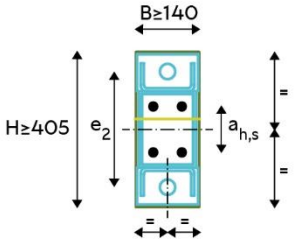
Mastopilarikenkäkokona käytetään pilarin paksuutta kapeampia kenkiä ja kenkä voidaan asentaa pinnasta sisään päin, jolloin palotilanteen tehollisten kansiruuvien määrä on suurempi. Samalla myös liitoksen jälkivalun suojabetonipaksuus palon ja korroosion suojauksena kasvaa.

Mastopilarikenkäliitoksen mitoituksessa tarkastetaan:

1. Liimapuupilarin vähimmäiskorkeus H [mm] taivutusmomentin $M_{z,d}$ [kNm] mukaan (kuvaaja 3.1)
2. Yhden kansiruuviryhmän leikkauskapasiteetti liitoksen leikkausvoimalle $V_{x,d}$ [kN] (taulukko 3.3)
3. Kansiruuviryhmän vetokapasiteetti liitoksen vetovoimalle F_B [kN] (taulukko 3.4)
4. Liimapuun päätypuun puristuskestävyys mastopilarikengän ylälaipalla liitoksen puristusvoimalle F_A [kN] (tarvittaessa tarkastelu laajemmalle juotosvalun alalle)
5. Kansiruuviryhmän pystysuuntainen venymä osana muodonmuutostarkastelua
6. Palotilanteen mitoitus huomioiden tehollliset kansiruuvit

Taulukossa 4.1 esitetään vakiomastopilarikenkien sijoittelut suorakaideliimapuupilarien alapäässä. Liitosratkaisun suunnittelussa huomioidaan mitoituksen mukainen mastopilarikenkien keskinäinen etäisyys, palomitoituksen mukainen sijoitus pilarin reunasta sekä käyttöpaikan mitat.

Taulukko 4.1. Mastopilarikenkien vakiosijoittelu suorakaidepilareissa

<table>
<tr><th colspan="2">Mastopilarikenkien vakiosijoittelu</th></tr>
<tr><td>TKR 140
○ Suorakaidepilarin leveys 140 mm
○ 2 liimattua kansiruuvia / kenkä

</td><td>TKR 140
○ Suorakaidepilarin leveys ≥ 165 mm
○ 6 liimattua kansiruuvia / kenkä

</td></tr>
<tr><td>TKR 200
○ Suorakaidepilarin leveys ≥ 190 mm
○ 8 liimattua kansiruuvia / kenkä

</td><td>TKR 300
○ Monilohkoisen pilarin leveys ≥ 280 mm
○ 10 liimattua kansiruuvia / kenkä

</td></tr>
<tr><td>TKR 140
○ Monilohkoinen pilari ≥ 480x480 mm²
○ 6 liimattua kansiruuvia / kenkä
○ 4 kenkää

</td><td>TKR 200
○ Nivelpilari
○ 4 liimattua kansiruuvia / kenkä

</td></tr>
</table>

4.1 Suunnitteluohjeet ja -työkalut

Liitoksen suunnittelu ja mitoitus tehdään tämän ohjeen mukaisesti noudattaen lisäksi Versowood – *Liimapuuhallit* suunnitteluohjetta, sekä Versowood – *Liimatut kiinnikkeet* suunnitteluohjetta. Kaikki ohjeet ovat ladattavissa osoitteessa Versowood.fi.

Suunnittelussa huomioidaan liimapuun ominaisuudet ja toteutuksen toleranssit Versowood – *Liimapuun tekniset ominaisuudet ja toteutus* asiakirjan mukaan.

Liitoksen Tekla Structures mallinnustyökalu on ladattavissa Tekla Warehouse palvelusta.

4.2 Mallisuunnitelmat

Ohjeen liitteenä on esitetty mallisuunnitelmat liitoksen esittämisestä liimapuurakenteen kokoonpanosuunnitelmassa sekä liitoksen rakennedetaljista kohdesuunnittelua varten. Mallisuunnitelmat eri tiedostomuodoissa on ladattavissa osoitteessa Versowood.fi.

Ohjeessa esitetty ratkaisu suunnitteluperusteineen on voimassa noudatettaessa mallisuunnitelmissa esitettyä toteutustapaa materiaaleineen.

Liitoksen konepajaosan tuotantosuunnitelma on esitetty ohjeen liitteenä. Toteutuskohteen vastaava rakennesuunnittelija tarkastaa ja hyväksyy liitososan käytön kohdekohtaisesti. Konepaja osan mitoituksen laajempi laskentaseloste toimitetaan pyydettäessä.

4.3 Materiaaliluettelot

Liimapuukokoonpanot varusteluineen mallinnetaan riittävällä tarkkuudella mallista laadittavia elementti- ja materiaaliluetteloja varten huomioiden Versowood – *Liimapuuhallit* suunnitteluohjeen liitteinä olevien mallisuunnitelmien ja -luetteloiden tietosisällöt. Kohdekohtaiset, tehdasasennetut ja työmaatarvikkeet erottelevat luettelot on helppo laatia Tekla Structures ohjelman Versowood mallinnustyökaluilla ja luettelopohjilla.

5 Asennus

Liimapuukokoonpanoon liitetty mastopilarikenkä kiinnitetään työmaalla peruspultteihin kohdekohtaisen suunnitelman mukaisesti. Asennusaikana pilarikenkä kannatellaan pulteista/muttereista, joiden avulla pilarin korkoasema ja pystysuoruus säädetään suunnitelmien mukaiseksi. Pilareiden tulee asennustilanteessa olla tuettuna sivuttaissuunnassa. Kohteen vastaava rakennesuunnittelija vastaa asennusaikaisen stabiliteetin suunnittelusta.

Liitoksen peruspultit määritetään kohdekohtaisesti perustussuunnitelmissa huomioiden peruspulttivalmistajan kapasiteetit sekä toteutusohjeet ja käytön rajoitteet.

Liitoksen juotosvalu on tehtävä painelaatikkovaluna juotoslaastilla. Massan lujuusluokka määräytyy perustusrakenteiden lujuuden mukaan, kuitenkin vähintään C 40/50. Massan tulee olla helposti tiivistyvää ja suurin raekoko korkeintaan 3 mm. Massan kuivumiskutistumisen tulee olla mahdollisimman pientä. Kovettumisen aikana liitoksen muodonmuutokset tulee estää. Valutyön toteutuksessa on noudatettava valmistajan ohjeita.

Toteutuskohteen liimapuurakenteiden asennuksesta vastaava työnjohtaja laatii asetusten edellyttämät asennus- ja nostosuunnitelmat sekä vastaa niiden toteutuksesta.

Asennuksessa huomioidaan:

- Peruspulttien sijainti ja korko perustussuunnitelman mukaan
- Peruspulttikoon mukaiset vahvistetut aluslevyt perustussuunnitelmien mukaan
- Mutterit ja aluslevyt asetetaan peruspultteihin korkoaseman mukaan
- Pilarin nostamisessa huomioidaan kohdekohtaisen asennussuunnitelman ohjeet

- Pilarin korkoasema ja pystysuoruus säädetään asennustilanteessa
- Liitosmutterit kiristetään ja tarvittavat tuennat asennetaan ennen nosto-osien irrottamista
- Liitokselle sallitaan asennusaikaisen tilanteen kuormitus, kun liitosmutterit on kiristetty
- Liitokselle sallitaan lopputilanteen kuormitus, kun juuren jälkivalu on kovettunut

Katso myös Versowood – *Liimapuutoimituksen kosteudenhallintaohje.*

6 Suunnittelun tukemme

Versowood kehittää jatkuvasti liimapuuratkaisuja ja niihin liittyvää ohjeistusta suunnittelun ja toteutuksen tueksi. Liimapuumateriaalitiedon ja suunnittelun yleisten ohjeiden lisäksi tarjotaan yleisimpien liinapuuratkaisujen suunnitteluohjeet sujuvan toteutuksen työkaluiksi,

Tutustu ohjeiden päivityksiin ja uusiin ohjeisiin osoitteessa

Versowood.fi/fi/puurakentaminen

6.1 Suunnittelutyökalut

Yleisimmille liimapuurakenneratkaisuille tarjotaan mallinnustyökalut ja käyttöohjeet ladattavaksi Tekla Warehouse palvelusta.

Yleisimmille liimapuurakenteille ja vakioliitoksille tarjotaan mitoitustyökaluja calculationtools.fi palvelussa osoitteessa

calculationtools.com/versowood/

6.2 Hyväksynnät

Liimapuutuote CE merkitään harmonisoidun tuotestandardin EN 14080 mukaan. Merkintä tehdään sertifiointilaitosten myöntämien tuotantoyksikkökohtaisten laadunvalvonnan vaatimuksenmukaisuustodistusten pohjalta. Liimapuun keskeiset ominaisuudet esitetään suoritustasoilmoituksessa (DoP), joka on ladattavissa osoitteessa Versowood.fi/dop.

Liimapuutuotteiden laadunvarmennuksen hyväksynnät esitetään Versowood – *Liimapuun tekniset ominaisuudet ja toteutus* asiakirjan liitteessä A – Laadunvalvontaseloste.

Mastopilarikengän kohdekohtainen kelpoisuus kohteen vastaavan rakennesuunnittelijan hyväksynnällä liimapuupilarikengän laskelmaselosteen mukaan. Konepajavalmisteisen teräsosan vaatimustenmukaisuuden todentaminen valmistajan laadunvarmennusjärjestelmän mukaan.

6.3 Ohjeet

Tämän ohjeen rinnalla suosittelemme tutustumaan liittyviin Versowood ohjeisiin.

ohje	sisältö
VW101	Liimapuun tekniset ominaisuudet ja toteutus
VW201	Suunnitteluohje – Liimapuuhallit
VW205	Suunnitteluohje – Liimatut kiinnikkeet

7 Ohjeen revisiot

versio	päiväys	muutos, täydennys
1.0	5.5.2025	Ensijulkaisu
1.1	30.1.2026	Kappale 3.2 murtorajatilamitoitustaulukkojen täydennys. Kappale 3.3 kansiruuvien jäykkyystaulukko lisätty. Kappale 3.4 palomitoitustaulukot lisätty ja ohjeistettu. Kappale 4 liitoksen mitoitussisältö kuvattu. Liite A. Mitoitus ja mallilaskelma lisätty.
2.0	30.10.2026	Uusi mastopilarikenkämalli. Kaikki mitoituksen ja kapasiteettien tiedot päivitetty.

8 Liitteet

A. Mastopilarikenkäliitoksen mitoitus
B. Tuotantosuunnitelmamalli
C. Liitosdetaljit
D. Liitososakuvat

A. Mastopilarikenkäliitoksen mitoitus

Tässä liitteessä esitetään laskentakaavat ja käytettävät mitoituksen lähtötiedot tämän ohjeen mukaiselle mastopilarikenkäliitokselle.

Mastopilarikengän kiinnityksessä käytettävien liimattavien kansiruuvien mitoitus esitetään *Versowood – Liimatut kiinnikkeet* suunnitteluohjeessa.

Kuormitustapaukset

Liitoksen voimasuureet eri kuormitustapauksista tulevat rungon mitoituksesta eri kuormitustilanteista. Suunnittelija määrittää tarkasteltavat liitos eri voimasuureyhdistelmille.

Liitoksen mitoituksessa tarvittavat suureet ovat pystykuormitus N_d, vaakavoima pilarin juuressa V_d sekä pilarin taivutusmomentti M_d.

Liitoksen taivutuskapasiteetti

Liitoksen taivutuskapasiteetti määritetään ruuviryhmien keskiöetäisyyksien mukaisen sisäisen voimavarren avulla. Liimapuun pintoihin asennettujen mastopilarikenkien sisäinen voimavarsi e_1 [mm] lasketaan kaavalla:

$$e_1 = H - 2 * \left(\frac{b_1}{2}\right)$$

, jossa

H	pilarin korkeus [mm]
b_1	pilarikengän kokonaisleveys [120 mm]

Pystykuormittamattoman mastopilarikenkäliitoksen taivutuskapasiteetti määritetään kaavalla:

$$M_{d,max} = e_1 * N_{r,d}$$

, jossa

$N_{r,d}$	ruuviryhmän vetokapasiteetti [kN]
e_1	ruuviryhmien välinen etäisyys [mm]

Kansiruuviryhmän leikkauskapasiteetti

Liitoksen leikkauskapasiteetissa huomioidaan ainoastaan puristettujen kansiruuviryhmien, eli käytännössä yhden mastopilarikengän leikkauskapasiteetti. Vakiomastopilarikenkien leikkauskapasiteetit $R_{v,d}$ [kN] esitetään ohjeen taulukossa 3.3.

Liitoksen leikkauskapasiteetin käyttöaste [%] tarkastetaan kaavalla:

$$KA = \frac{V_d}{R_{v,d}}$$

, jossa

V_d	leikkausvoima liitoksessa[kN]
$R_{v,d}$	kansiruuviryhmän leikkauskapasiteetti [kN]

Liitoksen veto- ja puristusvoimat

Liitoksen mastopilarikenkäkohtaiset määräävät pystysuuntaiset voimasuureet vedolle ja puristukselle lasketaan kuormitusyhdistelmien minimi ja maksimi pystykuormituksen N_d, ja taivutusmomentin M_d mukaan kaavoilla:

$$F_A = \frac{N_d}{2} + \frac{M_d}{e_1}$$

$$F_B = -\frac{N_d}{2} - \frac{M_d}{e_1}$$

, jossa

F_A	puristusvoima liitoksessa [kN]
F_B	vetovoima liitoksessa [kN]
N_d	pystykuorma (minimi tai maksimi) [kN]
M_d	momentti (minimi tai maksimi) [kNm]
e_1	ruuviryhmien välinen etäisyys [mm]

Liitoksen vetokapasiteetti

Mastopilarikenkäkiinnityksen liimattavien kansiruuviryhmien vetokapasiteetit lopputilanteessa esitetään ohjeen taulukossa 3.4 ja vakiomastopilarikenkien vetokapasiteetit taulukossa 3.5.

Liitoksen kansiruuviryhmien ja mastopilarikengän käyttöasteet [%] tarkastetaan kaavalla:

$$KA = \frac{F_B}{N_{r,d}}$$

, jossa

F_B	vetovoima liitoksessa [kN]
$N_{r,d}$	vetokapasiteetti [kN]

Liitoksen puristuskapasiteetti

Liitoksen puristuskapasiteetti määräytyy asennustilanteessa mastopilarikengän puristuskapasiteetin mukaan ja lopputilanteessa liimapuun päätypuun puristuskestävyyden mukaan mastopilarikengän liitosalalla. Pystykuormituksen oletetaan jakautuvan tasaisesti mastopilarikengille.

Vakiomastopilarikenkien puristuskapasiteetit asennustilanteessa esitetään taulukossa 3.7. Puristuskapasiteetin käyttöaste [%] tarkastetaan kaavalla:

$$KA = \frac{F_A}{N_{r,d}}$$

, jossa

F_A	puristusvoima liitoksessa [kN]
$N_{r,d}$	mastopilarikengän puristuskapasiteetti [kN]

Vakiomastopilarikenkien puristuskapasiteetit lopputilanteessa esitetään ohjeen taulukossa 3.6. Kapasiteetti $R_{A,d}$ [kN] määritetään liimapuun päätypuun puristuskestävyyden mukaan mastopilarikengän liitosalalla kaavoilla:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$

, jossa

k_{mod}	aikaluokkakerroin
γ_M	liimapuun materiaaliosavarmuuskerroin (1,25)

$$A_{TKR} = L_2 * b_2 - n_{hole} * A_{hole}$$

$$R_{A,d} = f_{c,0,d} * A_{TKR}$$

A_{TKR}	mastopilarikengän ylälaipan pinta-ala [mm²]
L_2	mastopilarikengän liitospinnan pituus [mm]
b_2	mastopilarikengän liitospinnan leveys [mm]
n_{hole}	Reikien lukumäärä ylälevyssä
A_{hole}	Reiän pinta-ala = 346 mm² (d=21 mm)
$R_{A,d}$	liimapuun päätypuun puristuskapasiteetti [kN]
$f_{c,0,k}$	liimapuun ominaispuristuslujuus syynsuunnassa [N/mm²]

Liitosalan puristuskapasiteetin käyttöaste [%] tarkastetaan kaavalla:

$$KA = \frac{F_A}{R_{A,d}}$$

, jossa

F_A	puristusvoima liitoksessa [kN]
$R_{A,d}$	liimapuun päätypuun puristuskapasiteetti [kN]

Lopputilanteessa puristuksen oletetaan välittyvän pääosin suoraan mastopilarikengän ylälaipan alapuoliselle juotosvalulle, jolloin mastopilarin puristuskapasiteetti ei ole mitoittava osa liitoksessa.

Mikäli liimapuun päätypuun puristuskapasiteetti mastopilarikengän ylälaipan liitosalalla ylittyy, tarkastetaan juotosvalun tarvittava laajuus ja kapasiteetti puristuskuormalle.

Käyttörajatilamitoitus

Mastopilarikenkäliitoksen käyttörajatilamitoitukseen liittyy liitoksen leikkaus- ja kiertymäjäykkyys. Liitoksen kiertymäjäykkyyttä hyödynnetään murtorajatilan stabiliteettimitoituksessa pilarin nurjahduspituuden määrittämisessä.

Mastopilariliitossa syntyvät leikkausmuodonmuutokset syntyvät pääasiassa kansiruuvien leikkaustason muodonmuutoksista. Tämän arvioimiseen voidaan hyödyntää RIL 205-1-2017 taulukkoa 7.1. Kuormat oletetaan siirtymän mastopilarikengältä suoraan juotosvalulle niin, että pilarikengässä ei synny leikkausmuodonmuutoksia. Puikkoliitoksen siirtymäkerroin saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$K_{ser.v} = \rho_{mean}{}^{1.5} * d/23$$

, jossa

$K_{ser.v}$	Liittimen siirtymäkerroin leikkaustasoa kohti käyttörajatilassa [N/mm]
ρ_{mean}	Liitettävän puun keskimääräinen tiheys [kg/m³]
d	Liittimen halkaisija [mm]

Mastopilarikenkäliitoksen kiertymäjäykkyys muodostuu usean eri komponentin kokonaisuudesta. Vedetyn liitoksen jäykkyys muodostuu pääasiassa kansiruuvien, mastopilarikengän sekä peruspulttien jäykkyydestä. Puristun liitoksen kiertymäjäykkyyteen vaikuttavat puun ja betonin puristusjäykkyydet.

Vedetyn kansiruuviryhmän aksiaalinen siirtymäkerroin $K_{t.1}$ [N/mm] lasketaan kaavalla:

$$K_{t.1} = n_t * K_{ser.ax.R}$$

, jossa

$K_{t.1}$	Kansiruuviryhmän jäykkyystekijä [N/mm]
n_t	Vedettyjen kansiruuvien lukumäärä [-]
$K_{ser.ax.R}$	Kansiruuvin aksiaalinen siirtymäkerroin [N/mm]

Mastopilarikengän aksiaalinen siirtymäkerroin $K_{ser.ax,TK}$ [N/mm] saadaan ohjeen taulukosta 3.9, joka vastaa suoraan mastopilarikengän jäykkyystekijää $K_{t.2}$.

Vedettyjen peruspulttien jäykkyyden laskentaan sovelletaan SFS-EN 1993-1-8 taulukkoa 6.11 (Vedetyt perustusruuvit) seuraavasti:

$$K_{t.3} = n_b * \frac{E_b * A_b}{l_b}$$

, jossa

$K_{t.3}$	Vedettyjen peruspulttien jäykkyystekijä [N/mm]
n_b	Peruspulttien lukumäärä [-]
E_b	Peruspulttien kimmomoduuli [N/mm^2]
A_b	Peruspultin jännityspinta-ala [mm^2]
l_b	Peruspultin venymäpituus [mm]

Peruspultin venymäpituus määritetään SFS-EN1993-1-8 mukaan kaavalla:

$$l_b = 8 * d_{ef} + t_{grout} + t_{plate} + t_{washer} + 0.5t_{nut}$$

, jossa

l_b	Peruspultin venymä [mm]
d_{ef}	Peruspultin nimellishalkaisija [mm]
t_{grout}	Jälkivalun korkeus (peruspilarin ja mastopilarikengän välillä [mm]
t_{washer}	Ylemmän aluslevyn paksuus [mm]
t_{nut}	Mutterin korkeus [mm]

Vetokuormitetun mastopilarikenkäliitoksen kokonaisjäykkyys K_t lasketaan vedettyjen komponenttien käänteislukujen summasta kaavalla:

$$K_t = \frac{1}{\sum \frac{1}{K_{t.i}}}$$

, jossa

K_t	Vetopuolen jäykkyys [N/mm]
$K_{t.i}$	Vedetyn komponentin i jäykkyystekijä [N/mm]

Puristuspuolella vaikuttavat komponentit ovat liimapuun ja betonin puristus. Teräksen puristus oletetaan tässä merkityksettömäksi, koska sen kimmomoduuli on selkeästi suurempi puuhun ja betoniin verrattuna. Puristetun betonin jäykkyys parametrin määritykseen sovelletaan SFS-EN 1993-1-8 taulukossa määritettyä puristetun betonin jäykkyystekijää seuraavasti:

$$K_{c.1} = \frac{E_c\sqrt{A_{eff}}}{1.275}$$

, jossa

$K_{c.1}$	Puristetun betonin jäykkyystekijä [N/mm]
E_c	Betonin kimmomoduuli [N/mm²]
A_{eff}	Tehollinen puristusala [mm²]

Puristetulle puulle ei ole suunnittelunormeissa määritelty vastaavasti jäykkyystekijää. Liimapuun jäykkyystekijä voidaan tässä tapauksessa arvioida vastaavasti betonin puristuskomponentin kanssa.

$$K_{c.2} = \frac{E_{0.mean}\sqrt{A_{eff}}}{1.275}$$

, jossa

$K_{c.2}$	Puristetun puun jäykkyystekijä [N/mm]
$E_{0.mean}$	Liimapuun keskimääräinen kimmomoduuli syiden suunnassa [N/mm²]
A_{eff}	Tehollinen puristusala [mm²]

Mastopilarikenkäliitoksen puristetun puolen kokonaisjäykkyys K_c saadaan laskettua puristettujen komponenttien käänteislukujen summasta seuraavalla kaavalla:

$$K_c = \frac{1}{\sum\frac{1}{K_{c.i}}}$$

, jossa

K_c	Puristuspuolen jäykkyys [N/mm]
$K_{c.i}$	Puristus komponentin i jäykkyystekijä [N/mm]

Liitoksessa taivutusmomentista syntyvien muodonmuutoksien laskentaa varten tarvitsee määritellä liitoksen kiertymäjäykkyys. Seuraavassa kiertymäjäykkyyden laskennassa oletetaan, että rasitukset vaikuttavat liitoksessa keskeisesti, eikä merkittäviä epäkeskeisyyksiä esiinny.

$$K_\theta = \frac{{e_1}^2}{\frac{1}{K_t} + \frac{1}{K_c}}$$

, jossa

K_θ	Liitoksen kiertymäjäykkyys [Nmm/rad]
K_t	Vetopuolen jäykkyys [N/mm]
K_c	Puristuspuolen jäykkyys [N/mm]
e_1	Sisäinen voimavarsi [mm]

Liitoksessa syntyvä momentista aiheutuva kiertymä voidaan määritellä nyt liitoksen kiertymäjäykkyyden ja momenttirasituksen kautta, joka esitetty seuraavassa kaavassa. Laskettua kiertymäjäykkyyttä voidaan hyödyntää myös elementtimenetelmää hyödyntävissä kehäanalyyseissa siirtymien arviointiin.

$$\theta = \frac{M_{Ek/Ed}}{K_\theta}$$

, jossa

θ	Liitoksen kiertymä [rad]
$M_{Ek/Ed}$	Liitoksessa vaikuttava momentti [Nmm]
K_θ	Liitoksen kiertymäjäykkyys [Nmm/rad]

Liitoksen kiertymästä johtuva pilarin yläpään siirtymä Δ [mm] arvioidaan kaavalla:

$$\Delta = \tan(\theta) * L$$

, jossa

Δ	Pilarin yläpäässä tapahtuva siirtymä liitoksen kiertymästä [mm]
L	Pilarin pituus [mm]

Kiertymäjäykkyyttä voidaan hyödyntää murtorajatilan stabiliteettitarkasteluissa pilarin nurjahduspituuden määrittämiseen. Murtorajatilatarkasteluissa tulee huomioida, että puun kimmokertoimena käytetään ominaisarvoa ($E_{0.05}$). Murtorajatilan kiertymäjäykkyys saadaan laskettua seuraavasta:

$$K_{\theta.u} = \frac{2}{3} K_\theta$$

, jossa

$K_{\theta.u}$	Liitoksen kiertymäjäykkyys murtorajatilatarkasteluissa [Nmm/rad]
K_θ	Liitoksen kiertymäjäykkyys [Nmm/rad]

Palotilannemitoitus

Mastopilarikenkäliitoksen palotilannemitoitus tehdään murtorajatilamitoituksen kaavoilla huomioiden palotilanteen kuormitukset ja palonkestoajan mukainen liimapuun poikkileikkauksen pienentyminen hiiltymästä johtuen.

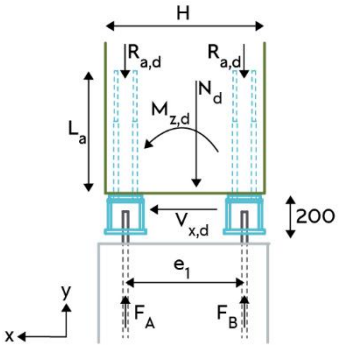
Vakiomastopilarikenkien kansiruuviryhmien kapasiteetit palotilanteessa esitetään ohjeen kappaleessa 3.4. Liimaamalla kiinnitettävien kansiruuvien tehollinen määrä määritetään Versowood – *Liimatut kiinnikkeet* suunnitteluohjeen mukaan. Liitoksen sisäinen voimavarsi e_l [mm] määritetään tehollisten kansiruuvien mukaan.

A.1. Mallilaskelma. Mastopilarikenkäliitos.

Liitoksen taivutuskapasiteetti

Liitoksen tiedot:

Mastopilarikenkä	TKR140
Liimapuun leveys	B = 215 mm
Liimapuun korkeus	H = 630 mm
Kuormituksen aikaluokka	Hetkellinen
Käyttöluokka	1



Taulukkotiedot:

Ruuviryhmän vetokapasiteetti	$N_{r,d}$ = 345,6 kN

Sisäisen voimavarren laskenta:

$$e_1 = H - 2 * \left(\frac{b_1}{2}\right) = 630\ mm - 2 * \left(\frac{160\ mm}{2}\right) = 470\ mm$$

Pystykuormittamattoman mastopilarikenkäliitoksen taivutuskapasiteetti:

$$M_{d,H,max} = e_1 * N_{r,d} = 0{,}470\ m * 345{,}6\ kN = 162{,}4\ kNm$$

Liitoksen mastopilarikengän ja liimapuupilarin kokojen alustavassa määrittämisessä tulee vähintään varmistaa yhden mastopilarikengän leikkauskapasiteetin sekä pilarin sisäisen voimavarren mukaan määritettävän taivutuskapasiteetin riittävyydet määräävälle kuormitukselle. Liitoksen varsinainen mitoitus esimerkkimitoituksen mukaan kaikissa kuormitustapauksissa.

Pystykuormitetun mastopilarikenkäliitoksen kapasiteetti

Tarkastetaan liitoksen kapasiteetti esimerkkikuormitukselle lopputilanteessa.

Kuormitukset:

Leikkausvoima	V_d = 40 kN
Taivutusmomentti	M_d = 150 kNm
Normaalivoima	$N_{d,min}$ = 25 kN

Taulukkotiedot:

Leikkauskapasiteetti	$R_{v,d}$ = 60,0 kN
Pilarikengän vetokapasiteetti	$N_{r,d}$ = 345,6 kN

Leikkauskestävyys

$$KA = \frac{V_d}{R_{v,d}} = \frac{40{,}0\ kN}{60{,}0\ kN} = \underline{75\ \%} = OK$$

Vetovoima liitoksessa

$$F_B = -\frac{N_d}{2} + \frac{M_d}{e_1} = -\frac{25\ kN}{2} + \frac{150\ kNm}{0{,}47\ m} = 306{,}7\ kN$$

Kansiruuviryhmän vetokestävyys KA

$$KA = \frac{F_B}{N_{r,d}} = \frac{306{,}7\ kN}{345{,}6\ kN} = \underline{89\ \%} = OK$$

Mastopilarikengän vetokestävyys KA

$$KA = \frac{F_B}{N_{r,d}} = \frac{306{,}7\ kN}{310\ kN} = \underline{99\ \%} = OK$$

Puristusvoima liitoksessa

$$F_A = -\frac{N_d}{2} - \frac{M_d}{e_1} = -\frac{25\ kN}{2} - \frac{150\ kNm}{0{,}47\ m} = -331{,}7\ kN$$

Liimapuun päätypuun puristuskestävyys

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{1{,}1 * 24{,}5\ N/mm^2}{1{,}25} = 21{,}6\ N/mm^2$$

$$A_{hole} = \pi * \left(\frac{d_{hole}}{2}\right)^2 = 3{,}142 * \left(\frac{21\ mm}{2}\right)^2 = 346{,}4\ mm^2$$

$$A_{TKR} = L_2 * b_2 - n_{hole} * A_{hole} = 128\ mm * 128\ mm - 6 * 346{,}4\ mm^2 = 14\ 306\ mm^2$$

$$R_{A,d} = f_{c,0,d} * A_{TKR} = 21{,}6\frac{N}{mm^2} * 14\ 306\ mm^2 = 308{,}4\ kN$$

$$KA = \frac{F_A}{R_{A,d}} = \frac{331{,}7\ kN}{308{,}4\ kN} = \underline{108\ \%} = KÄYTTÖASTE\ YLITTYY$$

Liimapuun puristuskapasiteetti ylittyy, kun puristuspinta-alana käytetään ylälaipan tehokasta alaa A_{TKR}. Puristuspaine tulee jakaa suuremmalle alalle, joten tarkastellaan puristuskapasiteetti, kun pinta-ala käytetään tehollista puristusalaa A_{eff}.

$$A_{eff} = b_{eff} * L_{eff} - n_{hole} * A_{hole} = 215\ mm * 160\ mm - 6 * 346{,}4mm^2 = 32\ 322\ mm^2$$

$$R_{A,d} = f_{c,0,d} * A_{eff} = 21{,}6\frac{N}{mm^2} * 32\ 322\ mm^2 = 696{,}9\ kN$$

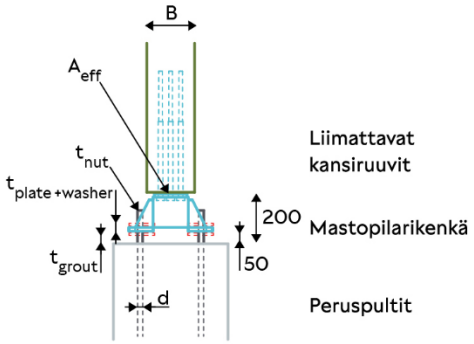
$$KA = \frac{F_A}{R_{A,d}} = \frac{331{,}7\ kN}{696{,}9\ kN} = \underline{48\ \%} = OK$$

Mastopilarikenkäliitoksen kiertymäjäykkyys ja liitossiirtymä

Tarkastetaan liitoksen jäykkyydestä aiheutuva pilarin yläpään vaakasiirtymä käyttörajatilassa esimerkkikuormituksella.

Liitoksen tiedot:

Mastopilarikenkä	TKR140
Kansiruuvien määrä	n_t = 6 kpl
Pilarin pituus	L = 7 000 mm



Kuormitus:

Taivutusmomentti	M_{Ek} = 100 kNm

Taulukkotiedot:

Kansiruuvien siirtymäkerroin	$K_{ser.ax.R}$ = 0,285 x 10^6 N/mm
Mastopilarikengän siirtymäkerroin	$K_{ser.ax.TK}$ = 0,298 x 10^6 N/mm

Peruspultin tiedot:

Määrä	n_b = 2 kpl
Halkaisija	d = 30 mm
Jännityspinta-ala	A_b = 707 mm²
Kimmomoduuli	E_b = 200 000 N/mm²

Liitospinta-ala	A_{eff} = 32 322 mm²
Betonin kimmomoduuli	E_c = 34 000 N/mm²
Puun kimmomoduuli	$E_{0,mean}$ = 13 000 N/mm²

Kansiruuviryhmän siirtymäkerroin:

$$K_{t.1} = n_t * K_{ser.ax.R} = 6 * 0{,}258 * 10^6 = 1{,}548 * 10^6\ N/mm$$

Mastopilarikengän siirtymäkerroin:

$$K_{t.2} = K_{ser.ax.TK} = 0{,}298 * 10^6\ N/mm$$

Peruspultin venymäpituus:

$$l_b = 8 * d_{ef} + t_{grout} + t_{plate} + t_{washer} + 0{,}5 * t_{nut}$$
$$= 8 * 30\ mm + 50\ mm + 15\ mm + 8\ mm + 0{,}5 * 24\ mm = 325\ mm$$

Peruspulttien siirtymäkerroin:

$$K_{t.3} = n_b * \frac{E_b * A_b}{l_b} = 2 * \frac{200\,000\ N/mm^2 * 707\ mm^2}{325\ mm} = 0{,}870 * 10^6\ N/mm$$

Vetopuolen siirtymäkerroin:

$$K_t = \frac{1}{\sum \frac{1}{K_{t.i}}} = \frac{1}{\frac{1}{1{,}548 * 10^6 \frac{N}{mm}} + \frac{1}{0{,}298 * 10^6 \frac{N}{mm}} + \frac{1}{0{,}870 * 10^6 \frac{N}{mm}}} = 0{,}194 * 10^6\ \ N/mm$$

Puristetun betonin siirtymäkerroin:

$$K_{c.1} = \frac{E_c \sqrt{A_{eff}}}{1{,}275} = \frac{34\,000\ N/mm^2 * \sqrt{32\,322\ mm^2}}{1{,}275} = 4{,}794 * 10^6\ \ N/mm$$

Puristetun puun siirtymäkerroin

$$K_{c.2} = \frac{E_{0.mean} \sqrt{A_{eff}}}{1{,}275} = \frac{13\,000\ N/mm^2 * \sqrt{32\,322\ mm^2}}{1{,}275} = 1{,}833 * 10^6\ \ N/mm$$

Puristuspuolen siirtymäkerroin:

$$K_c = \frac{1}{\sum \frac{1}{K_{c.i}}} = \frac{1}{\frac{1}{4{,}794 * 10^6\ \ N/mm} + \frac{1}{1{,}833 * 10^6\ \ N/mm}} = 1{,}326 * 10^6\ \ N/mm$$

Liitoksen kiertymäjäykkyys:

$$K_\theta = \frac{{e_1}^2}{\frac{1}{K_t} + \frac{1}{K_c}} = \frac{(470\ mm)^2}{\frac{1}{0{,}194 * 10^6\ \ N/mm} + \frac{1}{1{,}326 * 10^6\ \ N/mm}} = 3{,}741 * 10^{10}\ \ Nmm/rad$$

Liitoksessa syntyvä kiertymä radiaaneissa:

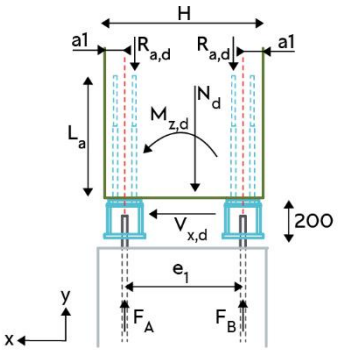
$$\theta = \frac{M_{Ek}}{K_\theta} = \frac{100 * 10^6\ Nmm}{3{,}741 * 10^{10}\ \ Nmm/rad} = 0{,}0027\ rad$$

Taivutusmomentista aiheutuva siirtymä pilarin yläpäässä, liitoksen kiertymästä johtuen:

$$\Delta = \tan\theta * L = \tan(0{,}0027\ rad) * 7\,000\ mm = \underline{18{,}7\ mm} = L/374$$

Mastopilarikenkäliitoksen taivutuskapasiteetti palotilanteessa R30

Tarkastetaan 6 kansiruuvin ryhmän taivutuskapasiteetti palotilanteessa mastopilarikengällä TKR140.



Liitoksen tiedot:

Palonkesto	R30

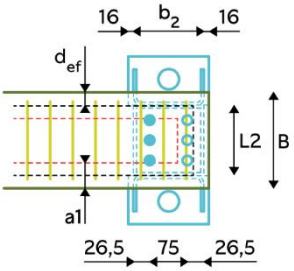
Taulukkotiedot:

Ruuviryhmän vetokapasiteetti	$N_{r,d}$ = 230 kN
	(3 toimivaa ruuvia)
Reunaetäisyys	a_1 = 66 mm
	(Liimaruuvit yhdessä rivissä)
Tehollinen hiiltymissyvyys	d_{ef} = 28 mm

Sisäisen voimavarren laskenta:

$$e_1 = H - 2 * \frac{b_1}{2} - \frac{a_{h.s}}{2}$$

$$= 630\ mm - 2 * \frac{160\ mm}{2} - \frac{75\ mm}{2} = 432{,}5\ mm$$



Pystykuormittamattoman mastopilarikenkäliitoksen taivutuskapasiteetti:

$$M_{d,H,max} = e_1 * N_{r,d} = 0{,}4325\ m * 230\ kN = 99{,}5\ kNm$$

Pystykuormitetun mastopilarikenkäliitoksen kapasiteetti palotilanteessa R30

Tarkastetaan liitoksen kapasiteetti palotilanteen esimerkkikuormitukselle.

Kuormitukset:

Leikkausvoima	V_d = 6 kN
Taivutusmomentti	M_d = 20 kNm
Normaalivoima	N_{dmin} = 28 kN

Taulukkotiedot:

Leikkauskapasiteetti	$R_{v,d}$ = 37 kN
	(3 toimivaa ruuvia)

Leikkauskestävyys

$$KA = \frac{V_d}{R_{v,d}} = \frac{6{,}0\ kN}{37{,}0\ kN} = \underline{16\ \%} = OK$$

Vetovoima liitoksessa

$$F_B = -\frac{N_d}{2} + \frac{M_d}{e_1} = -\frac{28\ kN}{2} + \frac{20\ kNm}{0{,}4325\ m} = 32{,}3\ kN$$

Kansiruuviryhmän vetokestävyys KA

$$KA = \frac{F_B}{N_{r,d}} = \frac{32{,}3\ kN}{230\ kN} = \underline{14\ \%} = OK$$

Puristusvoima liitoksessa

$$F_A = -\frac{N_d}{2} - \frac{M_d}{e_1} = -\frac{28\ kN}{2} - \frac{20\ kNm}{0{,}4325\ m} = -60{,}3\ kN$$

Liimapuun päätypuun puristuskestävyys

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{1{,}0\ * 24{,}5\ N/mm^2}{1{,}0} = 24{,}5\ N/mm^2$$

Tehollisen puristuspinta-alan määrittämisessä huomioidaan palonkeston mukainen hiiltymissyvyys d_{ef}. Koska mastopilarikengän ylälaippa on liimapuupoikkileikkausta kapeampi ja hieman sisäänvedetty, saadaan tehollisen poikkileikkauksen mitoiksi:

$$L_{2,fi} = 116\ mm$$

$$b_{2,fi} = 128\ mm$$

$$A_{eff.fi} = L_{2,fi} * b_{2,fi} - n_{hole} * A_{hole} = 116\ mm * 128\ mm - 6 * 346{,}4\ mm^2 = 12\ 770\ mm^2$$

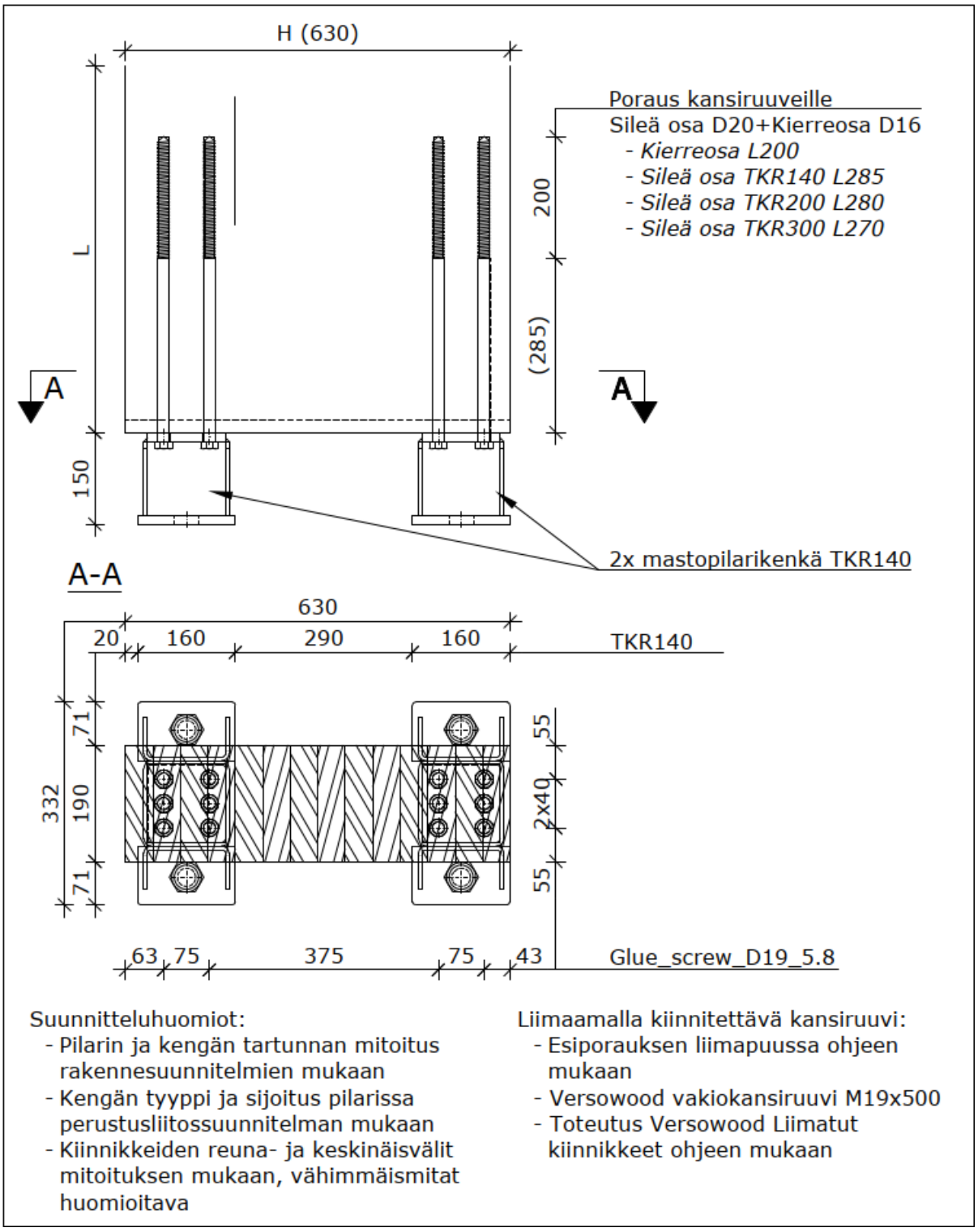
$$R_{A,d} = f_{c,0,d} * A_{eff.fi} = 24{,}5\ N/mm^2 * 12\ 770\ mm^2 = 312\ kN$$

$$KA = \frac{F_A}{R_{A,d}} = \frac{60{,}3\ kN}{312{,}9\ kN} = \underline{19\ \%} = OK$$

B. Tuotantosuunnitelmamalli

Tuotantosuunnitelmassa esitetään liimapuiden työstämisessä ja liitososan tehdasasennuksessa tarvittavat tiedot. Versowood – *Liimapuuhallit* suunnitteluohjeen liitteen mallisuunnitelmissa esitetään ratkaisun kokonaistoteutus.

Kuva B1. Mastopilarikengän esitys liimapuupilarin tuotantosuunnitelmassa.



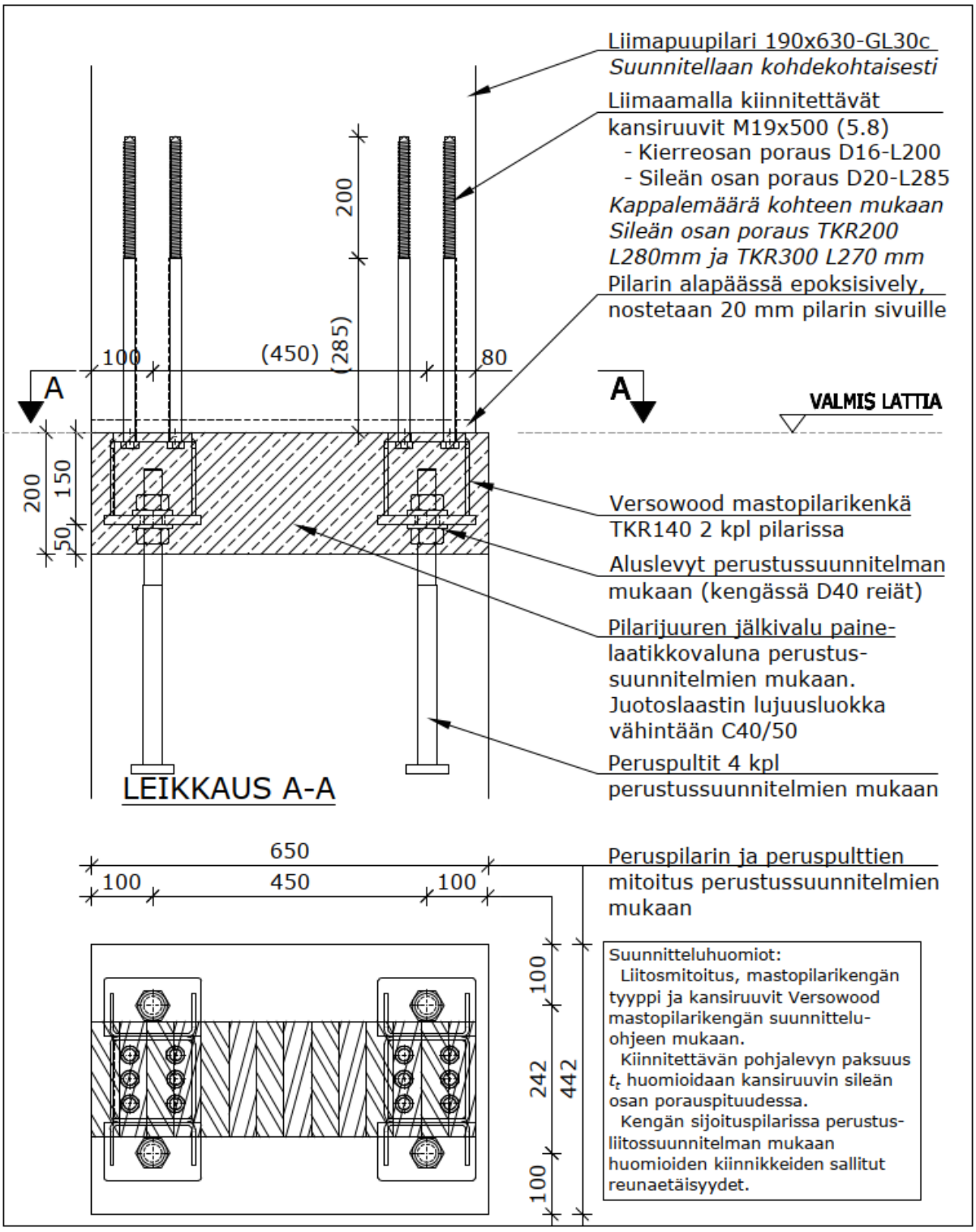
Suunnitteluhuomiot:
- Pilarin ja kengän tartunnan mitoitus rakennesuunnitelmien mukaan
- Kengän tyyppi ja sijoitus pilarissa perustusliitossuunnitelman mukaan
- Kiinnikkeiden reuna- ja keskinäisvälit mitoituksen mukaan, vähimmäismitat huomioitava

Liimaamalla kiinnitettävä kansiruuvi:
- Esiporauksen liimapuussa ohjeen mukaan
- Versowood vakiokansiruuvi M19x500
- Toteutus Versowood Liimatut kiinnikkeet ohjeen mukaan

C. Liitosdetaljit

Liitosdetaljeissa esitetään rakenneosien keskinäinen mitoitus, asennuksessa tarvittavat tiedot sekä liitososan tuotteet ja asennus. Mallisuunnitelma ladattavissa .dwg tiedostona.

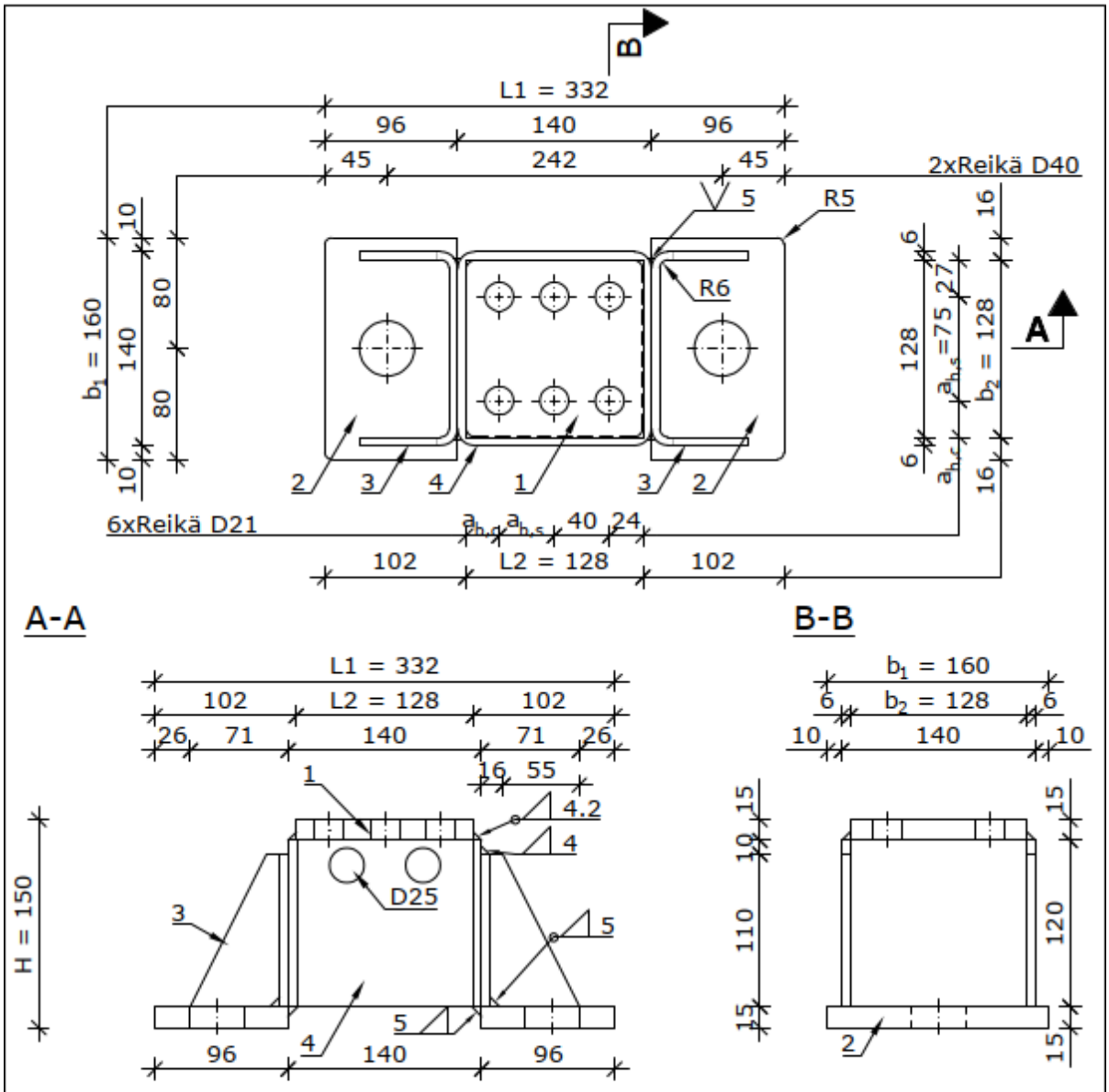
Kuva C1. Esimerkkiliitos. Liimapuupilari 190x630, mastopilarikenkä TKR140



D. Liitososakuvat

Liitososan tuotantosuunnitelmassa esitetään valmistamisessa tarvittavat materiaali- ja mittatiedot sekä pintakäsittely. Mallisuunnitelmat ladattavissa .dwg tiedostoina.

Kuva D1. Mastopilarikengän TKR140 tuotantosuunnitelma.

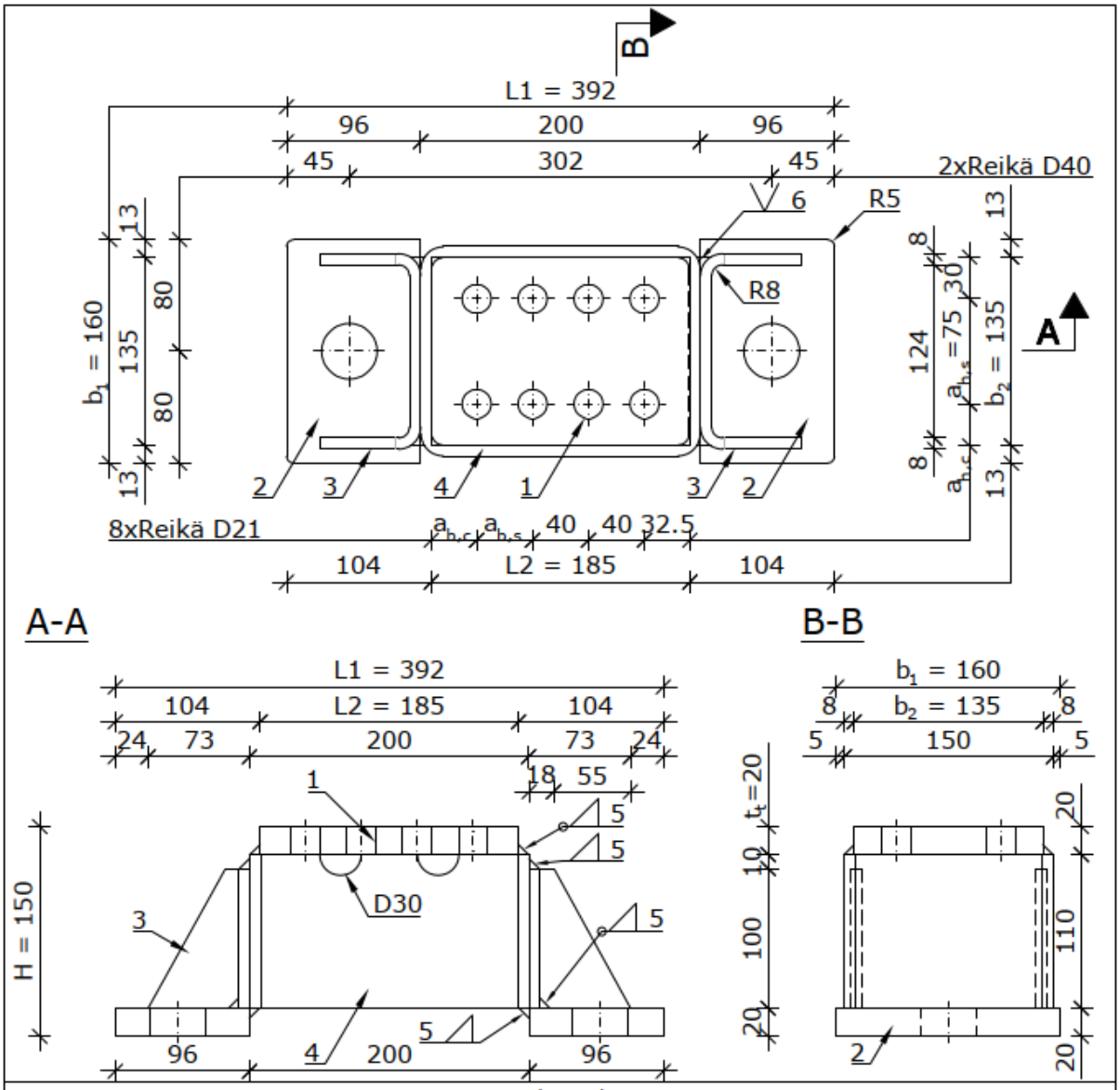


Osaluettelo:

Osa	Profiili	Pituus/mitat	Materiaali	kpl	Paino	Huom.
1	PL15	128x128	S355JR	1	1.90	6x Reikä D21
2	PL15	96x160	S355JR	2	1.80	1x Reikä D40
3	PL6	110x261	S355J2	2	1.10	Taivutus
4	RHS 140x6,3	120	S355JR	1	3.20	4x Reikä D25
				Yhteensä [kg]	10.80	

Hitsausluokka:	C	EN ISO 5817	Yhtenäinen hitsaus osan ympäri.
Toteutusluokka:	EXC2	EN 1090-2	
Pintakäsittely:			Puhdistettu, ei pintakäsittelyä

Kuva D2. Mastopilarikengän TKR200 tuotantosuunnitelma.

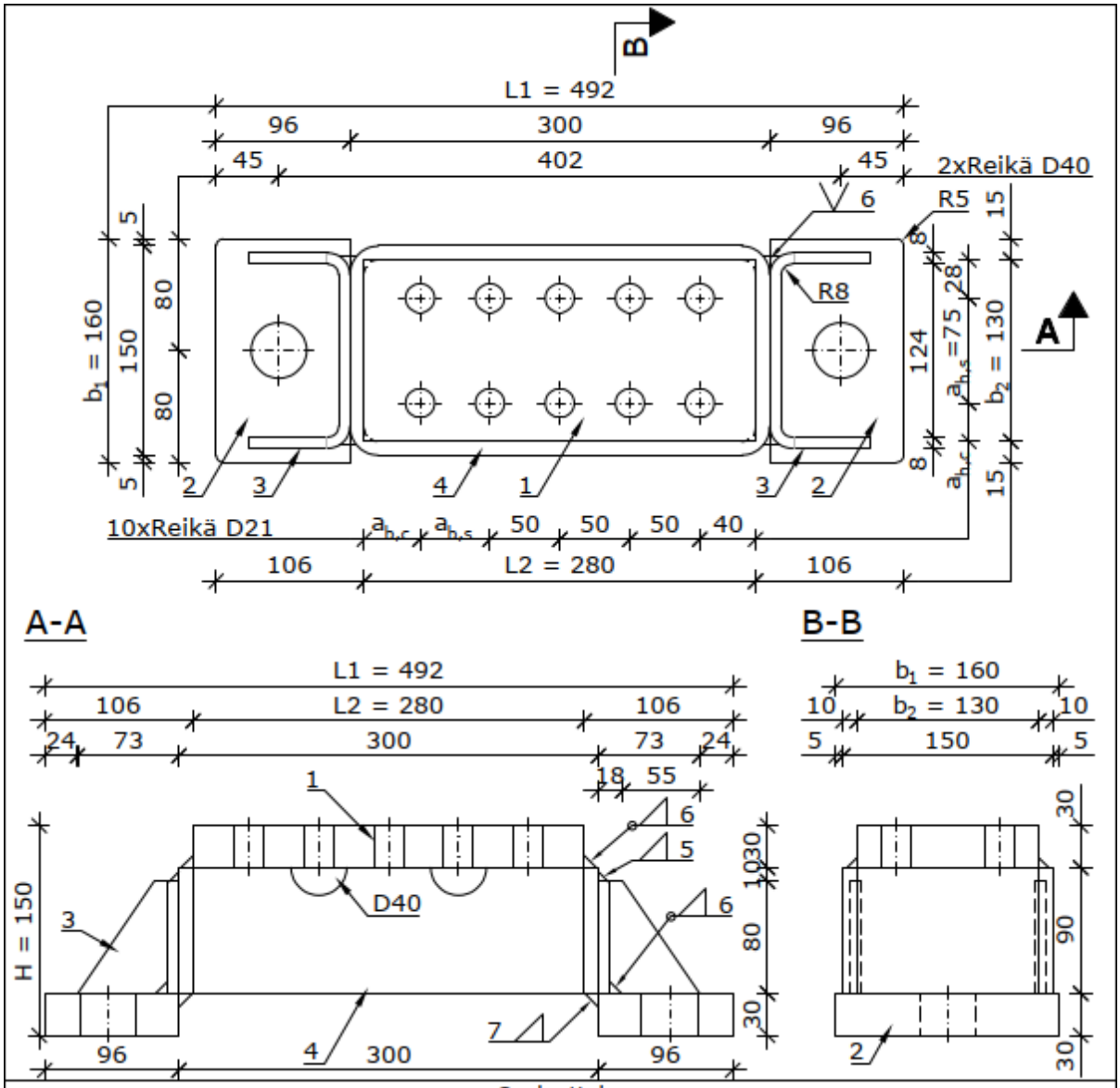


Osaluettelo:

Osa	Profiili	Pituus/mitat	Materiaali	kpl	Paino	Huom.
1	PL20	135x185	S355JR	1	3.90	8x Reikä D21
2	PL20	96x160	S355JR	2	2.40	1x Reikä D40
3	PL8	100x259	S355J2	2	1.30	Taivutus
4	RHS 200x150x8	110	S355JR	1	4.60	4x Reikä D30
				Yhteensä [kg]	15.90	

Hitsausluokka:	C	EN ISO 5817	Yhtenäinen hitsaus osan ympäri.
Toteutusluokka:	EXC2	EN 1090-2	
Pintakäsittely:			Puhdistettu, ei pintakäsittelyä

Kuva D3. Mastopilarikengän TKR300 tuotantosuunnitelma.



Osaluettelo:

Osa	Profiili	Pituus/mitat	Materiaali	kpl	Paino	Huom.
1	PL30	130x280	S355JR	1	8.60	10x Reikä D21
2	PL30	96x160	S355JR	2	3.60	1x Reikä D40
3	PL8	80x259	S355J2	2	1.00	Taivutus
4	RHS 300x150x10	90	S355JR	1	6.10	4x Reikä D40
				Yhteensä [kg]	23.90	

Hitsausluokka:	C	EN ISO 5817	Yhtenäinen hitsaus osan ympäri.
Toteutusluokka:	EXC2	EN 1090-2	
Pintakäsittely:			Puhdistettu, ei pintakäsittelyä