

Lisäohje Betoninormikortin 18EC mukaiseen mitoitukseen

Ontelolaatan pään leikkaus- kestävyyden parantaminen joustavalla tuella



Esipuhe

Teräsrakenneyhdistyksen tekniset julkaisut -sarjassa julkaistaan teräsrakennealan muun muassa tuoreisiin tutkimuksiin ja opinnäytteisiin perustuvia teknisiä artikkeleita ja Teräsrakenneyhdistyksen asiantuntijaryhmien ja toimikuntien laatimia suunnittelu- ja toteutusohjeita. Luonteeltaan ohjeistavat julkaisut eivät ole sitovia, vaan edustavat laatijoiden käsityksiä hyvän rakennustavan mukaisista menettelyistä. Julkaisuiden toivotaan lisäävän tietoisuutta ja yhtenäistävän käytäntöjä alaa edistävällä tavalla.

Tämän ohjeen on valmistellut TRY:n normitoimikunta ja ohjeeseen on saatu sitä kehittäneitä kommentteja Betoniteollisuus ry:n elementtijaokselta sekä TRY:n jäsenyrityksiltä, mistä TRY/NT on erittäin kiitollinen.

Laadinnassa on pyritty huolellisuuteen, mutta julkaisuihin on tästä huolimatta saattanut jäädä virheitä. TRY tai kirjoittajat eivät vastaa soveltamisesta mahdollisesti aiheutuvista vahingoista, vaan julkaisuiden tietojen soveltajan vastuulla on varmistua, että soveltaminen tapahtuu kulloinkin voimassa olevien säädösten ja standardien mukaisesti.

1 Johdanto

Rakenteet, joissa ontelolaatat tukeutuvat palkkeihin ovat maassamme melko laajalti käytettyjä. Palkki ei ole tukena jäykkä, vaan taipuisa, mikä aiheuttaa, että pelkät kaksiulotteiset tarkastelut rakenteiden toiminnan kuvaamiseen eivät välttämättä ole riittäviä. Ontelolaatat CE-merkitään standardin SFS-EN 1168+A3 [1] mukaisesti ja standardin kohdassa 4.3.3.2.2.1 (3) todetaan: ”Joustavien tukien tapauksessa poikittaisten leikkausjännitysten leikkauskestävyyttä pienentävä vaikutus on otettava huomioon”. Lisäksi ontelolaattojen suunnittelussa tulee noudattaa standardin SFS-EN 1168 kansallista soveltamisstandardia SFS 7016 [2], jonka luvussa 5 sanotaan: ”Palkkiin tuetun ontelolaatan leikkauskestävyydessä otetaan huomioon palkin ja laatan yhteistoiminnasta aiheutuvat rasitukset betoninormikortin n:o 18 EC mukaan.”

Tässä lisäohjeessa pyritään selventämään nimenomaan palkkiin tuetun ontelolaatan leikkauskestävyyden varmistamista betoninormikortin 18 EC [3] mukaisella menettelyllä. Kuva-
tun kaltaisen rakenteen kelpoisuus voidaan osoittaa myös muilla tavoin, esimerkiksi kokeisiin perustuen, mutta tämä ohje käsittelee vain Betoninormikortin 18 EC mukaista ontelolaatan ja palkin yhteistoiminnan ja kestävyysien tarkastelua.

Ohjeen sisältö ei ole millään tavoin ristiriitainen voimassa olevan Betoninormikortti 18 EC kanssa eikä ohjeessa esitetä lisävaatimuksia, vaan tarkoituksena on selventää Betoninormikortin 18 EC käyttöä ja palkin vaarnoituksen suunnittelua niissä tapauksissa, joissa raudoitettua pintabetonia käytetään ontelolaatan ja palkin yhteistoiminnan varmistamiseksi. Ohjeessa esitetään keinoja ontelolaattaan kohdistuvien vääntörasitusten minimoimiseksi ja huomioon ottamiseksi sekä suosituksia eri suunnittelijoiden välisestä työnjaosta palkin ja ontelolaataston suunnittelussa. Lisäksi luvussa on 6 on listattu joitakin mahdollisia ongelmatilanteita, jotta ohjeen käyttäjät voisivat niiltä välttyä. Ohjeen lopussa on kaksi laskuesimerkkiä.

2 Suunnittelijoiden työnjako

Päärakennesuunnittelija vastaa siitä, että rakenneosista muodostuu yhtenäinen rakenteellisesti hyväksyttävällä tavalla toimiva kokonaisuus. Teräsrakennesuunnittelija vastaa teräspalkin suunnittelusta ja mitoituksesta kokonaisuudessaan. Ontelolaatan suunnittelija vastaa ontelolaatan suunnittelusta ja mitoituksesta kokonaisuudessaan. Koska kyseessä on laatas-ton, pintabetonin ja palkin muodostama liittorakenne, mainittuja erityissuunnitelmia ei voida tehdä täysin itsenäisesti, joten riittävästä tiedonkulusta eri osapuolten välillä tulee varmistua.

Hankkeen eri osapuolten työnjaoksi suositellaan seuraavaa:

- Päärakennesuunnittelija
 - laatii ”Rakenteiden suunnittelun ja toteutuksen perusteet” –asiakirjan (0-dokumentin), jossa eri suunnittelijoiden välinen tehtäväjako on suositeltavaa määrittää
 - laatii tason mittapiirustuksen, jossa esitetään tason kuormitukset, palkit ja ontelolaatat
 - varmistaa luonnossuunnitteluvaiheessa alustavassa mitoituksessa palkin ja ontelolaatan yhteistoiminnan sekä riittävät palkki- ja ontelolaattadimensiot niin että ontelolaatasto voidaan toteuttaa tavanomaisin tuotantomenetelmin. Tavanomainen tuotantomenetelmä tarkoittaa normaalilujuusbetonia C40/50, tavanomaisia 50 mm tulppia tai syviä tulppia (tulpan syvyys on enintään ontelolaatan ontelon korkeus) sekä maksimissaan pintabetonin raudoitusta T10k150.
 - tarkistaa ontelolaataston leikkauskestävyyden peruskuormien lisäksi myös keskityneille kuormille (viiva- ja pistekuormat).
 - tarkastaa suurten reikien vaikutukset.
 - tarkastaa ontelolaatan leikkauskestävyyden liikkuville pistekuormille (akselikuormat). Akseli/pistekuormat on sijoitettava palkin tuen viereen lähelle ontelolaatan päätä (noin ontelolaatan korkeuden etäisyydelle laatan päätä).
 - mikäli laatasto suunnitellaan toteutettavaksi korkealujuusbetonilla, niin siitä on erikseen mainittava rakennesuunnitelmissa.
 - mikäli laatasto suunnitellaan toteutettavaksi ns. ”raskailla/järeillä” profiileilla (esim. O50R), niin siitä on erikseen mainittava rakennesuunnitelmissa.
 - varmistaa että raudoitetun pintabetonin ja palkin yläpinnan välillä on toimiva vaar-noitus silloin, kun ontelolaatan pään leikkauskestävyyttä parannetaan pintabetonin raudoituksella.
 - määrittää yhdessä palkin tuoteosasuunnittelijan kanssa palkin yläpinnassa käytettävän leikkausliitoksen (vaarnatyypin tai vaarnauksen)

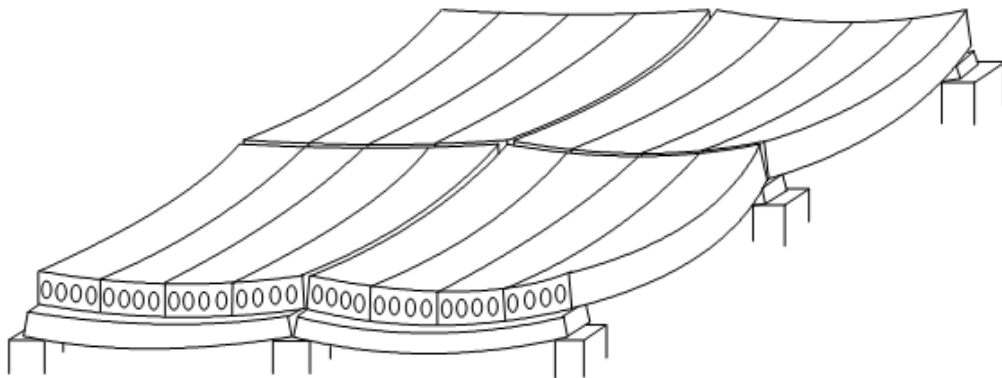
- mahdollisimman aikaisessa vaiheessa merkitsee tasopiirustuksiin ne alueet, joille tarvitaan tiukennettu taipumaraja ontelolaatan saumavalujen kovettumisen jälkeen tuleville kuormille (ne ontelolaataston alueet, joissa ontelolaattojen vääntöra-
situsta tulee minimoida tämän ohjeen kohdan 5 mukaisesti), merkitsee tasopiirus-
tuksiin mainitut taipumarajat tarvittaessa konsultoiden punostuksen suunnitteli-
jaa
- huolehtii siitä, että tuoteosasuunnitelmat muodostavat rakenteellisesti yhtenäisen
kokonaisuuden.
- huolehtii jatkuvan sortuman estämisestä
- Teräs- tai teräsbetoniliittopalkin tuoteosasuunnittelija
 - varmistaa päarakennesuunnittelijalta ja ontelolaatan suunnittelijalta, käytetään-
kö ontelolaatan leikkauskestävyyden parantamiseksi pintabetonin raudoitusta.
 - mikäli pintabetonin raudoitusta on hyödynnetty ontelolaatan leikkauskestävyyden
parantamiseksi, palkin tuoteosasuunnittelija määrittää vaarnoitusta rasittavan leik-
kausvuon mitoitusarvon, suunnittelee vaarnoituksen toteutuksen sekä hyväksyt-
tää ratkaisun päarakennesuunnittelijalla ja ontelolaatan punostajalla.
 - mitoittaa palkin ja laatii valmistuspiirustuksen
 - varmistaa, että palkkidimensiot täyttävät päarakennesuunnittelijan määrittämät
jäykkyysvaatimukset peruskuormien lisäksi myös keskittyneiden kuormien, suur-
ten aukkojen ja liikkuvien pistekuormien kohdalla.
 - toimittaa palkin taivutusjäykkyyden laskemiseen ja painopisteen määrittämiseen
tarvittavat tiedot punostajalle
- Ontelolaatan suunnittelija (punostuksen suunnittelija)
 - selvittää voidaanko ontelolaatan pään leikkauskestävyyden parantamiseksi käyt-
tää pintabetonin raudoitusta
 - mikäli suoraan ontelolaatan ja palkin päällä on rakennesuunnitelmissa pintabe-
toni, punostajan tulee aina olettaa tämä pintabetoni rakenteelliseksi ontelolaatan
pään kestävyyttä tarkasteltaessa – riippumatta siitä, hyödynnetäänkö pintabeto-
nin ja ontelolaatan välistä liittovaikutusta ontelolaatan taivutuskestävyyttä mää-
ritettäessä.
 - määrittää pintabetoniin ontelolaatan leikkauskestävyyden parantamiseksi tarvit-
tavan leikkausraudoituksen ja merkitsee sen ontelolaattakaavioon
 - määrittää palkin tiukennetun taipumarajan niissä tapauksissa, joissa ontelolaatta
tukeutuu epätasaisesti taipuville tuille
 - mitoittaa ontelolaatan ja laatii ontelolaattojen valmistuspiirustukset
 - rungon esisuunnitteluvaiheessa muut suunnittelijat voivat konsultoida kohteen on-
telaattojen punossuunnittelijaa, mikäli eivät muuten pysty varmistamaan kohteen
toteutuskelpoisuutta.

3 Ontelolaatan pään leikkauskestävyyden parantamiseksi edellytetty yhteisvaikutus palkin, pintabetonin ja ontelolaatan välillä

Palkkien ja ontelolaatan yhteistoiminnasta voidaan yleisesti todeta:

- Liittovaikutus muodostuu kuvan 3.1 mukaisessa rakenteessa taipuisan palkin ja ontelolaataston välille saumavalujen kovettuttua. Liittovaikutus muodostuu aina palkkityypistä riippumatta. Jos pintabetonin raudoitusta hyödynnetään ontelolaatan pään leikkauskestävyyden parantamiseksi, niin palkin yläpintaan on suunniteltava vaarnoitus aina riippumatta siitä, onko kyseessä teräspalkki, betonipalkki tai liittopalkki, tai hyödynnetäänkö laattojen jäykkyyttä palkkien taivutuskestävyyttä määritettäessä.
- Taipuisalle palkille tuetun ontelolaatan pään leikkauskestävyys pienenee palkin taipuman vuoksi, koska ontelolaatan päähän muodostuu poikittaista leikkausvoimaa.
- Ontelolaatan pään poikittainen leikkausvoima on suurimmillaan palkin tuen lähellä ja se on suoraan riippuvainen palkin leikkausvoimapiinnasta.
- Jos ontelolaattoja tukevat rakenteet eivät taivu samaa tahtia (esim. OL toinen pää tuettu palkin varaan ja toinen seinän päälle), ontelolaattaan muodostuu myös vääntörasitusta. Väännön vaikutuksen minimoimiseksi saumavalujen kovettumisen jälkeen tapahtuva palkin taipumaa tulee rajoittaa esim. arvoon $L/600 \dots L/1000$ (ks. tämän ohjeen kapale 5).

Taipuisalle tuelle asennetun ontelolaatan leikkauskestävyyttä voidaan parantaa seuraavin tavoin:



Kuva 3.1: Palkkien varaan tuetun ontelolaataston muodonmuutokset. Kuva lähteestä [4] tekijän luvalla.

- Pintabetonin leikkausraudoituksella silloin, kun palkin ylälaipassa oleva vaarnoitus kykenee välittämään pintabetonille palkin, ontelolaataston ja pintabetonin yhteistoiminnasta aiheutuvan leikkausvoiman
- Käyttämällä ontelolaatoissa syviä tulppia Betoninormikortti 18 EC mukaisesti
- Korvaamalla palkin tuen vieressä olevia ontelolaattoja kuorilaatoilla
- Lisäämällä palkin taivutusjäykkyyttä

Ontelolaatan punosten määrän kasvattamista tai ontelolaatan betonin lujuuden korottamista ei suositella pelkän ontelolaatan leikkauskestävyyden parantamiseen.

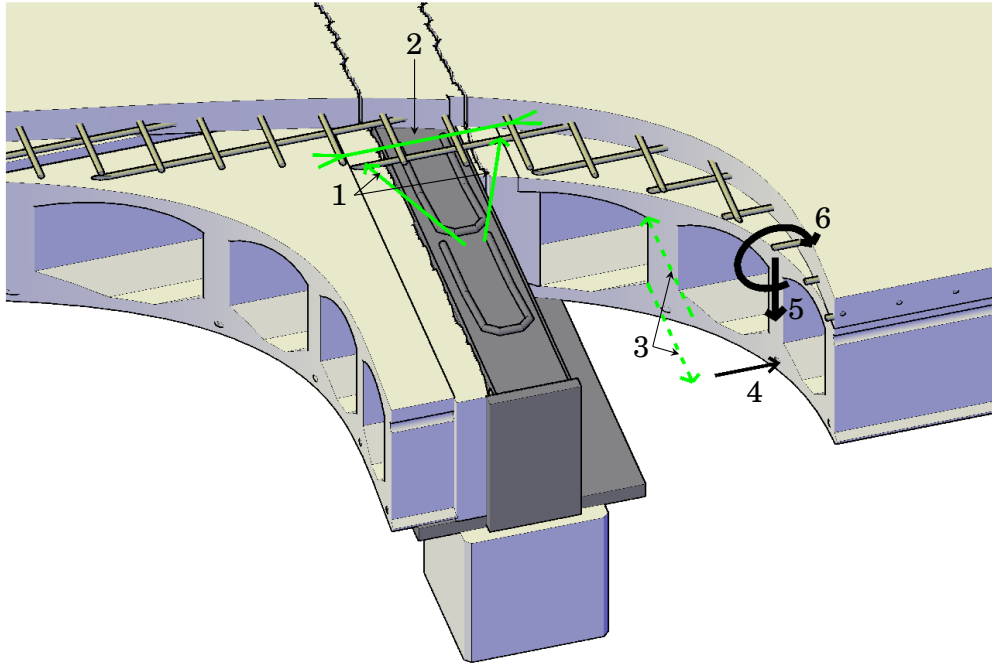
3.1 Pintabetonin raudoituksen vaikutus ontelolaatan pään leikkauskestävyyteen

Betoninormikortti 18 EC:n kohdassa 3.5.2 todetaan, että pintabetonin raudoituksesta on hyötyä ontelolaatan pään poikittaisen leikkauskestävyyden parantamisessa vain silloin, kun palkin yläpinnan ja pintabetonin välinen sauma kykenee siirtämään leikkausvuon. Suora lainaus betoninormikortista:

”Reduktiokertoimen β_t käyttö edellyttää, että pintavalun toiminta liittorakenteena sekä palkin että laatan kanssa on varmistettu (esim. työsauman tartuntalujuuden, tartuntojen tai vaarnojen avulla) niin, että palkin päällä olevan pintavalun ja palkin välinen liitos pystyy kantamaan sekä palkin kohdalta että palkin ulkopuolelta pintavalun raudoituksen välityksellä tulevan leikkausvuon.”

Kuvassa 3.2 nähdään betoninormikortti 18 EC:n mukainen rakennemalli. Seuraavassa kuvan numerointiin viittaava kuvaus rakennemallin toiminnasta. Merkinnät lähteen [5] mukaiset:

1. Palkin ja pintabetonin välille muodostuu tartunta vaarnojen avulla. Vaarnojen palkin ylälaipasta pintabetonille välittämä leikkausvuo siirtyy pintabetonissa puristuskomponenttina pintabetonille vihreillä nuolilla osoitettuun suuntaan.
2. Pintabetonin leikkauskestävyys $F_{tc,l,Rk}$ määritetään palkkia vastaan kohtisuoran raudoituksen vetokestävyyden (vihreä raudoituksen suuntainen nuoli) ja pintabetonin puristuskestävyyden perusteella (vihreät vinot nuolet).
3. Ontelolaatan pään poikittaisen leikkausvoiman suunnassa (vihreät nuolet katkoviivalla) leikkauskestävyys $F_{w,l,Rk}$ määritetään Betoninormikortin 18 EC mukaisesti. Palkin ja ontelolaataston välinen liittovaikutus syntyy ontelolaatan alapinnan ja palkin alalaiipan/leuan välisen lepokitkan kautta. Tästä liittovaikutuksesta aiheutuva leikkausvuo siirtyy pelkästään ontelolaatan uumia rasittavana poikittaisena leikkausvoimana (vihreät nuolet katkoviivalla), mikäli pintabetonissa ei ole raudoitusta, ja mikäli pintabetonin ja palkin yläpinnan yhteistoimintaa ei ole varmistettu vaarnoilla.
4. Punosten aiheuttama puristava normaalijännitys σ_c vaikuttaa ontelolaatan leikkauskestävyyden kannalta kriittisessä uuman pisteessä. Punosten ankkuroinnista aiheutuu myös uumassa olevaan leikkauskestävyyden kannalta kriittiseen pisteeseen leikkausjännitys τ_{cp} .



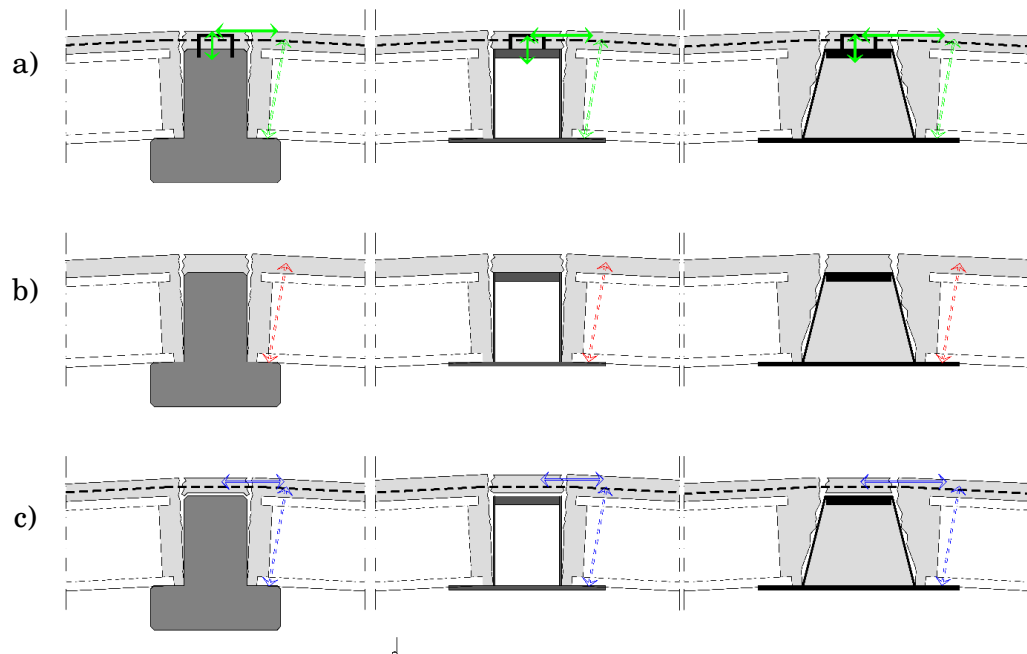
Kuva 3.2: Betoninormikortti 18 EC mukainen rakennemalli tapaukselle, jossa palkin yläpinnassa on vaarnat ja pintabetonissa raudoitusverkko.

5. Ontelolaatan leikkausvoima aiheuttaa leikkauskestävyyden kannalta kriittiseen uuman pisteeseen pystysuuntaisen leikkausjännityksen τ_{hc}
6. Ontelolaatan taivutusmomentti aiheuttaa punosten suuntaisen vetojännityksen σ_{cM} , joka vaikuttaa leikkauskestävyyden kannalta kriittisessä uuman pisteessä

Palkki, sen varaan asennettu ontelolaatta ja pintabetoni toimivat aina jossakin määrin liittorakenteena, haluttiin sitä tai ei. Osittainen liittovaikutus muodostuu jo palkin alalaipan ja ontelolaatan alapinnan välisen lepokitkan vuoksi. Teräspalkin alalaippa / betonipalkin alapinnan teräkset toimivat liittorakenteessa vetopuolella ja ontelolaatan yläpinta + pintabetoni puristuspuolena. Ontelolaatan pään leikkauskestävyys tarkastellaan liittovaikutuksen mukaisella rakennemallilla (kuva 3.2) aina, ellei pintabetonin ja ontelolaatan liittovaikutusta ole erikseen rakenteellisesti estetty (esim. kelluva pintabetoni, jonka alapuolella EPS-eriste liittovaikutuksen ontelolaattaan estävänä laakerikerroksena).

Kuvan 3.3 mukaisista tapauksista a), b), ja c) voidaan todeta seuraavaa:

- a) Ontelolaatan uuman leikkausrasitusta voidaan osittain pienentää viemällä osa palkin suuntaisesta leikkausvuosta laatan pintavalulta palkin päällä olevaan pintavaluun ja siitä edelleen palkille. Tämä edellyttää, että pintavalu on raudoitettu poikittaisuunnassa palkin suuntaisen pystyhalkeaman yli ja että palkin yläpuolinen pintavalu pysyy tukevasti kiinni palkin yläpinnassa (palkin yläpinnassa leikkausliitos). Jos nämä molemmat ehdot täyttyvät, osa palkin suuntaisesta leikkausvuosta välittyy kuvan 3.3 vihreän nuolen osoittamalla tavalla palkin yläpinnasta suoraan pintabetonille (ehjä viiva kuvaa pintabetonin leikkauskestävyyttä $F_{tc,l,Rk}$), ja pienempi osa siirtyy ontelolaatan pään poikittaisen leikkausvuon kautta vihreällä katkoviivalla piirretyn nuolen osoittamalla tavalla (katkoviiva kuvaa on-



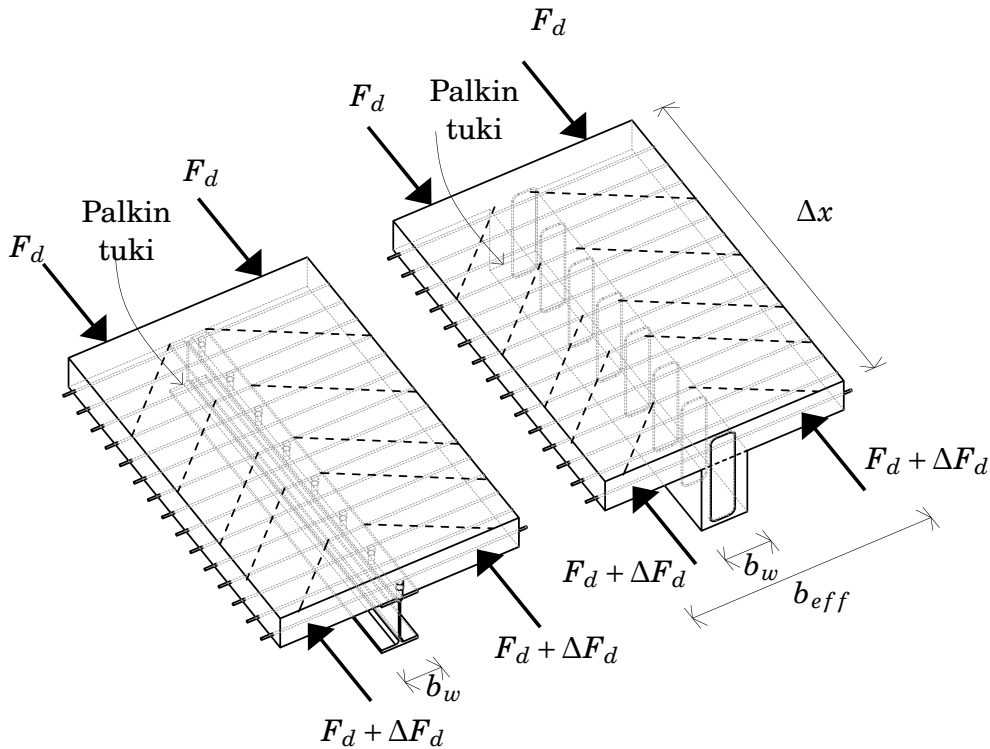
Kuva 3.3: Pintabetonin raudoituksen sekä palkin yläpinnan ja pintabetonin välisen leikkausliitoksen vaikutus leikkausvuohon. Ontelolaatan pään poikittainen leikkauskestävyys $F_{w,l,Rk}$ on esitetty katkoviivalla, palkin yläpinnassa olevien vaarnojen leikkauskestävyys ja pintabetonin leikkauskestävyys $F_{tc,l,Rk}$ ehjällä viivalla. Huom! Kaksipäiset nuolet kuvaavat poikittaisen leikkausvoiman kulkureittejä, nuolet eivät kuvassa osoita voimien suuntaa vektorisuureina. Vihreillä nuolilla piirrettyjen voimien todelliset vektorisuunnat on esitetty aiemmassa kuvassa 3.2.

telolaatan poikittaista leikkauskestävyyttä $F_{w,l,Rk}$). Mitä suurempi on raudoitettun pintabetonin leikkauskestävyys, sitä suurempi osa leikkausvuosta siirtyy ehjällä vihreällä nuolilla osoitetulla tavalla, ja pienempi osa vihreällä katkoviivalla piirretyn nuolen osoittamaa reittiä.

- b) Jos pintavalusta puuttuu poikittainen raudoitus, koko leikkausvuo rasittaa ontelolaatan uumaa kuvan 3.3 punaisen nuolen osoittamalla tavalla (palkin suunnassa toimii vain ontelolaatan poikittainen leikkauskestävyys $F_{w,l,Rk}$). Mitään ei siirry palkille.
- c) Vaikka pintavalussa olisi poikittainen raudoitus, mutta liitos pintavalun ja palkin välillä on heikko, pintavalu liukuu pitkin palkin yläpintaa eikä taaskaan mitään siirry palkille. Kuvan 3.3 sininen nuoli havainnollistaa tilannetta (palkin suunnassa toimii vain ontelolaatan poikittainen leikkauskestävyys $F_{w,l,Rk}$).

3.2 Betoninormikortti 18 EC rakennemalli verrattuna SFS-EN 1992-1-1 / SFS-EN 1994-1-1 mukaiseen rakennemalliin, jossa teräsbetoni-palkki ja puristuspuolella toimiva betonilaatta

Betoninormikortin 18 EC mitoitusmenettelyssä ontelolaatan, pintabetonin ja palkin välille muodostetaan liittorakenne, jossa mitoitusmenetelmä on pintabetonin raudoituksen sekä pin-



Kuva 3.4: Betoninormikortti 18 EC mukaista laskentamallia vastaavat standardien SFS-EN 1994-1-1 [6] ja SFS-EN 1992-1-1 [7] mukaiset liittorakenteet.

tabetonin ja palkin yläpinnan välisen leikkausliitoksen (työsauman) suhteen periaatteeltaan täysin vastaava kuin:

- SFS-EN 1992-1-1 mukainen T-poikkileikkauksen omaava betonipalkki
- SFS-EN 1994-1-1 mukainen palkin ja betonilaatan muodostama liittorakenne

Palkin yläpinnan ja puristuspuolella toimivan betonilaipan välistä leikkausliitosta rasittava leikkausjännitys voidaan laskea kaavalla

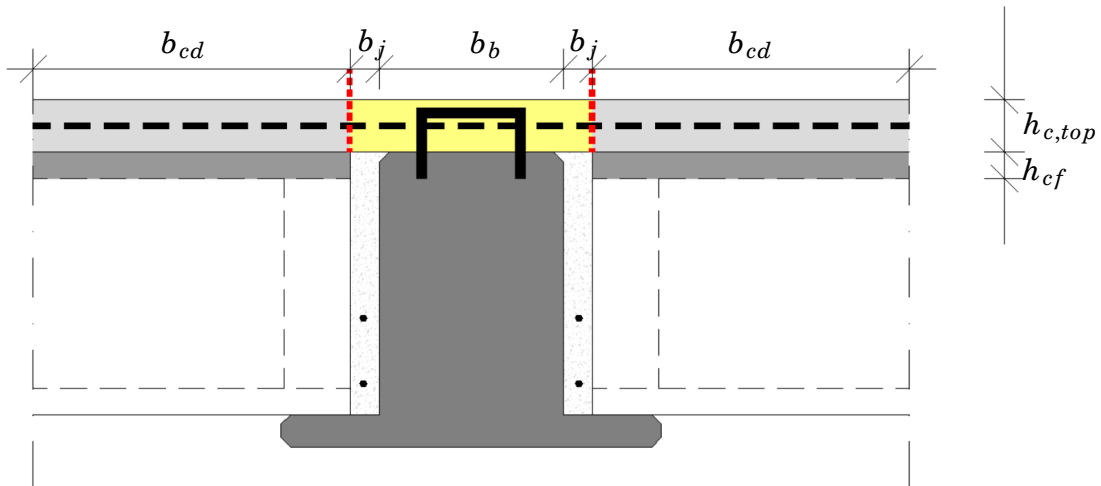
$$v_{Ed} = \frac{\Sigma(\Delta F_d)}{b_w \Delta x}, \quad (3.1)$$

missä $\Sigma(\Delta F_d)$ on betonilaippojen ja palkin päällä olevan betonipoikkileikkauksen normaali-voiman muutos, b_w palkin ylälaipan tai -pinnan leveys ja Δx on tarkasteltava matka palkin jänteen suunnassa, katso kuva 3.4.

3.3 Leikkausliitosta rasittavan leikkausvuon laskenta

Palkin yläpinnan ja pintabetonin välistä leikkausliitosta rasittava leikkausvuo voidaan laskea esimerkiksi seuraavilla tavoilla:

- a) Palkin ja raudoitettun pintabetonin välinen leikkausvuo lasketaan rakenteen kuormituksen perusteella liittorakenneteorian mukaan



Kuva 3.5: Leikkausliitosten yksinkertaistettu rakennemalli.

- b) Kun rakenteeseen kohdistuu pääosin tasan jakautunut kuormitus, niin palkin yläpinnan leikkausliitos mitoitetaan toimimaan sitkeästi, niin että se kestää vähintään leikkausvuon, jonka raudoitettu pintabetoni ja palkin päällä oleva betonipoikkileikkaus enintään pystyvät leikkausliitokselle siirtämään kuvan 3.5 mukaisin merkinnöin:

$$V_{Rd} = V_{Rd,left} + V_{Rd,right} + \frac{N_{c,Rd}}{L/4}, \quad (3.2)$$

missä $V_{Rd,left}$ on pintabetonin leikkauskestävyyden mitoitusarvo palkin vasemmalla puolella (punainen pisteviiva), $V_{Rd,right}$ pintabetonin leikkauskestävyyden mitoitusarvo palkin oikealla puolella (punainen pisteviiva), $N_{c,Rd}$ palkin päällä olevan pintabetonin puristuskestävyyden mitoitusarvo (kuvan 3.5 keltainen alue), L on vapaasti tuetun palkin jännemitta ja jatkuvalla palkilla momentin nollakohtien välimatka. Kuvan 3.5 tapauksessa pintabetonin puristuskestävyyden mitoitusarvo saadaan kaavalla

$$N_{c,Rd} = (b_b + 2b_j) h_{c,top} f_{cd} \quad (3.3)$$

missä b_b on palkin leveys, b_j saumabetonin leveys, $h_{c,top}$ pintabetonin paksuus, h_{cf} ontelolaatan yläkuoren paksuus ja f_{cd} pintabetonin puristuslujuuden mitoitusarvo. Pintabetonin leikkauskestävyyden mitoitusarvo puolestaan saadaan kaavalla

$$V_{Rd,left} = \min(A_{sv} f_{yd}; 0,15 f_{cd} h_{c,top}) \quad (3.4)$$

missä A_{sv} on poikittaisen raudoituksen pinta-ala pituusyksikköä kohti ja f_{yd} raudoituksen myötölujuuden mitoitusarvo. $V_{Rd,right}$ lasketaan vastaavasti.

Kohdan b) mukaisella menettelyllä voidaan määrittää palkin yläpinnan vaarnejako palkin kummassakin päässä $L/4$ matkalla. Palkin keskialueella $L/2$ matkalla vaarnajako voi olla harvempi, jos rakennetta kuormittaa pääosin tasan jakautunut kuormitus. Kappaleessa 7 on esitetty laskuesimerkki vaarnejako määrittämisestä.

4 Ohjeita raudoitetun pintabetonin ja palkin yläpinnan välisten vaarnejen detaljisuunnitteluun

Pintabetonin ja palkin ylälaipan välisen sauman riittävä leikkauskestävyys voidaan varmistaa palkkityypin mukaan lukuisin eri tavoin. Pintabetonin ja palkin ylälaipan välisen työsau- man leikkauskestävyys on tarkistettava kaikilla teräksestä ja betonista valmistetuilla palk- kityypeillä. Rakenteessa voidaan käyttää mitä tahansa palkkityypin yläpintaan soveltuvaa leikkausliitosta. Esimerkkejä nähdään kuvissa 4.1 ja 4.2.

Teräspalkissa voidaan esimerkiksi käyttää vaarnejoina kuvassa 4.3 esitettyjä silmukkaliittimiä, jotka taivutetaan ylös vähintään raudoitusverkon tasoon. Liittimien kestävyys voidaan mää- rittää esimerkiksi kumotussa esistandardissa SFS-ENV 1994-1-1 [8] kohdissa 6.3.5 ja 6.4.5 esitetyillä kaavoilla:

$$P_{Rd} = \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{1 + \sin^2 \alpha}} \cos \beta \quad (4.1)$$

Laskentakaavassa kulma α on palkin pituusakselin ja silmukan välinen kulma pystysuun- nassa (yleensä $\alpha \approx 5 \dots 10^\circ$) ja kulma β on palkin pituusakselin ja silmukan välinen kulma vaakasuunnassa (yleensä $\beta = 0^\circ$)

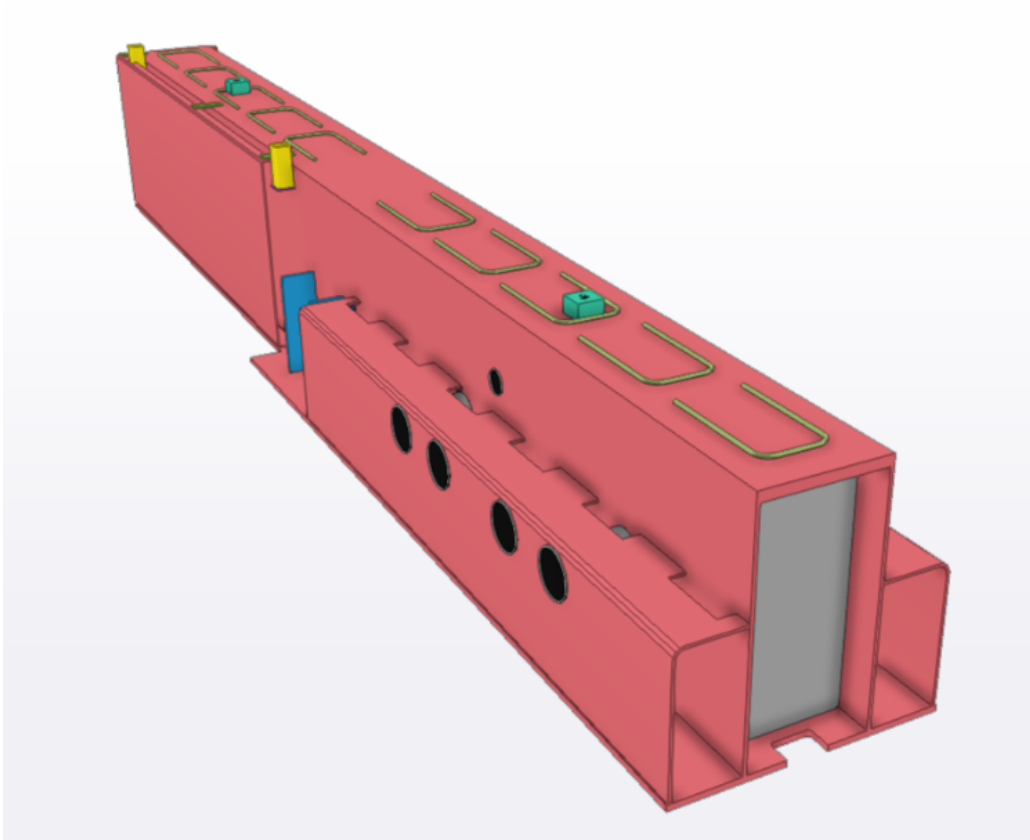
Silmukan tulee riittävän ankkuroinnin vuoksi täyttää ehdot (SFS-ENV 1994-1-1 6.4.5(2)):

$$r \geq 7,5\phi \quad (4.2)$$

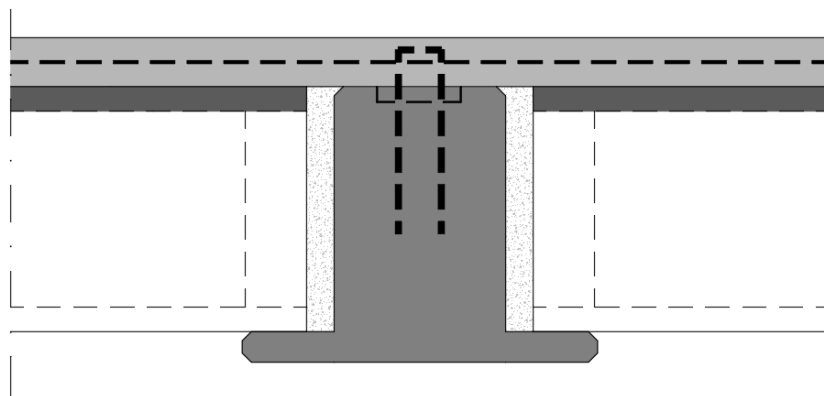
$$l \geq 4r \quad (4.3)$$

$$c \geq 3\phi \quad (4.4)$$

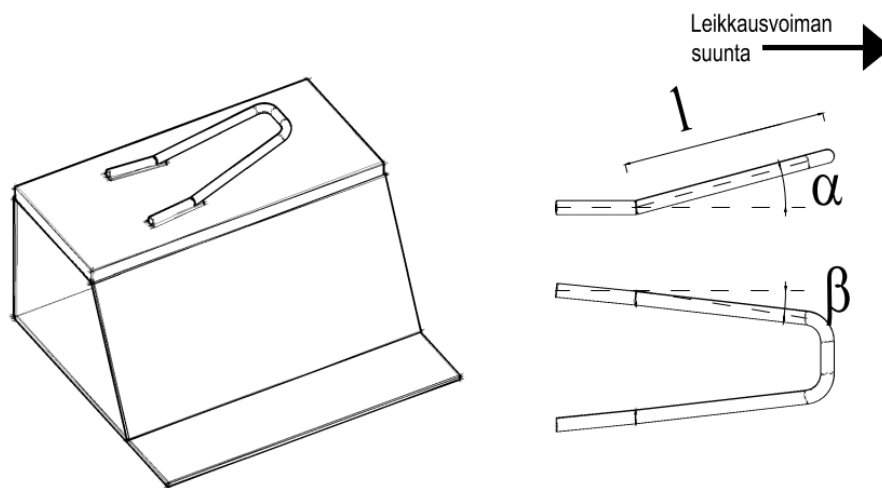
missä ϕ on silmukkatangon halkaisija, c betonipeite ja r taitosten kaarevuussäde.



Kuva 4.1: Teräs- tai liittopalkin ja pintabetonin välisen leikkausliitoksen riittävä leikkauskestävyys voidaan varmistaa käyttämällä silmukkaliittimiä.



Kuva 4.2: Betonipalkin ja pintabetonin välisen leikkausliitoksen riittävä leikkauskestävyys voidaan varmistaa käyttämällä harjaterästartuntoja, ja niiden lisäksi tarvittaessa palkin yläpinnan betonivaarvoja tai työsauman karhennusta.



Kuva 4.3: Palkin yläpintaan hitsattavan silmukkaliitin ja sen mitat.

5 Ontelolaatan tukeutuminen päistään eri tavoin taipuviin rakenneosiin

Tällä hetkellä Betoninormikortti 18 EC:ssa todetaan kohdassa 5 (12):

”Tapauksissa, joissa ontelolaatta tukeutuu päistään eri tavoin taipuviin rakenneosiin, suositellaan rajoitettavaksi palkin taipumaa saumavalujen kovettumisen jälkeen tulevista kuormista ontelolaatalle mahdollisesti tulevien vääntörasitusten vähentämiseksi.”

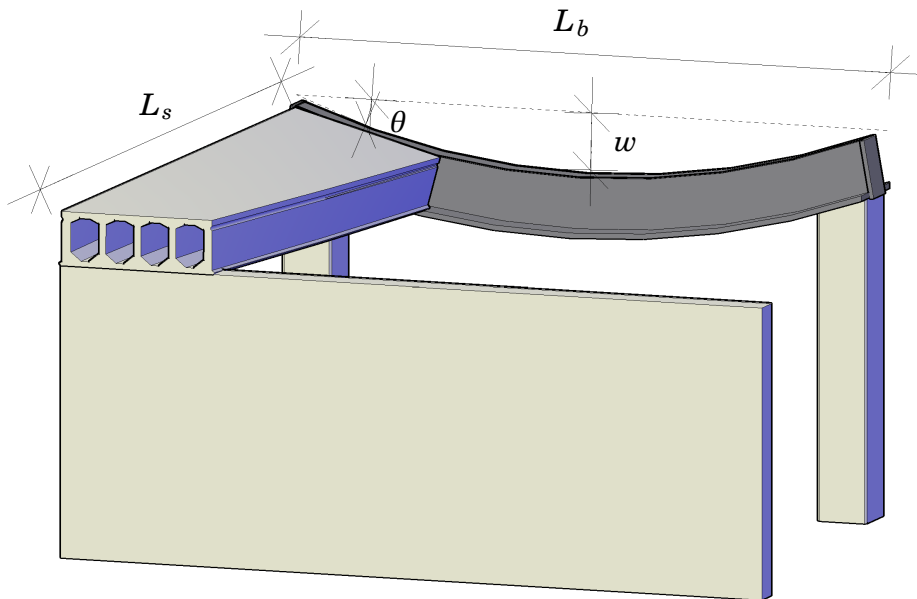
Palkkien suunnittelussa on esiintynyt epäselvyyttä siitä, miksi $L/600 \dots L/1000$ taipumaraja ontelolaatan saumabetonin kovettumisen jälkeen tuleville kuormille oli aiemmin Betoninormikortti 18 EC:ssa ja milloin taipumaraja on syytä asettaa.

5.1 Ontelolaatan vääntörasitus

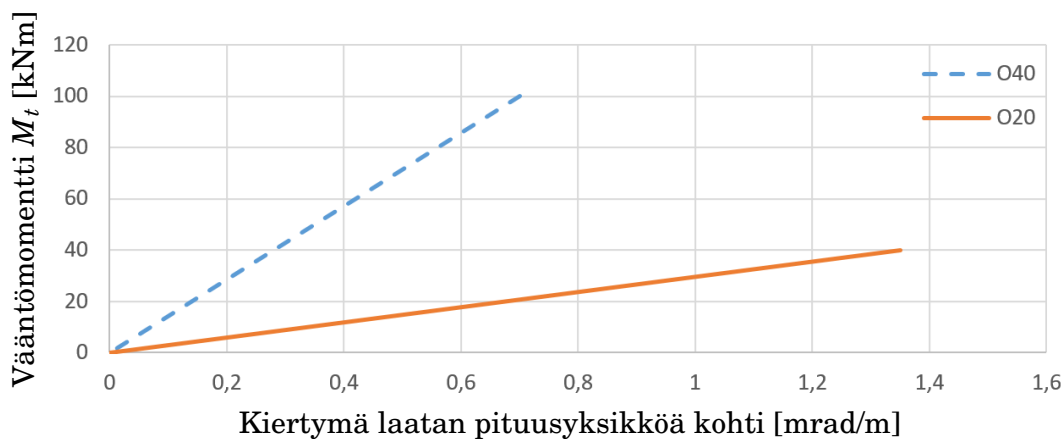
Ontelolaatan punostaja määrittää epätasaisesti ontelolaatan taipuvien tukien tapauksessa ontelolaattaa tukevalle palkille saumavalujen kovettumisen jälkeen sallittavan taipumarajan, ja lisäksi punostaja tutkii ontelolaatan yhdistetyn leikkaus- ja vääntökestävyyden tapauskohtaisesti.

Ontelolaatan tukeutuessa päistään eri tavoin taipuviin rakenneosiin siihen syntyy vääntöä. Tätä vääntöä tai sen yhteisvaikutusta poikittaisen tai vertikaalisen leikkausvoiman kanssa ei Betoninormikortti 18 EC:ssa mukaisessa menettelyssä tarkastella. Näin ollen väännön vaikutusten vähentämiseksi on Betoninormikortti 18 EC:ssa esitetty ontelolaatan saumabetonin kovettumisen jälkeen tuleville kuormille esitetty taipumaraja. Taipuma itsessään ei ole väännön kannalta olennaisin suure, vaan ontelolaatan päiden kiertymäero saumavalujen kovettumisen jälkeen. On kuitenkin osoittautunut, että tyypillisimmillä rakenteiden dimensioilla vääntörasitus tulee riittävästi estetyksi, kun ontelolaattoja tukevien palkkien taipuma rajoitetaan arvoon $L/600 \dots L/1000$. Tarkempiin analyyseihin perustuen myös muuta taipumarajaa voi käyttää. Tapauksia, joissa vääntöä tyypillisesti esiintyy, on esitetty kuvassa 5.3.

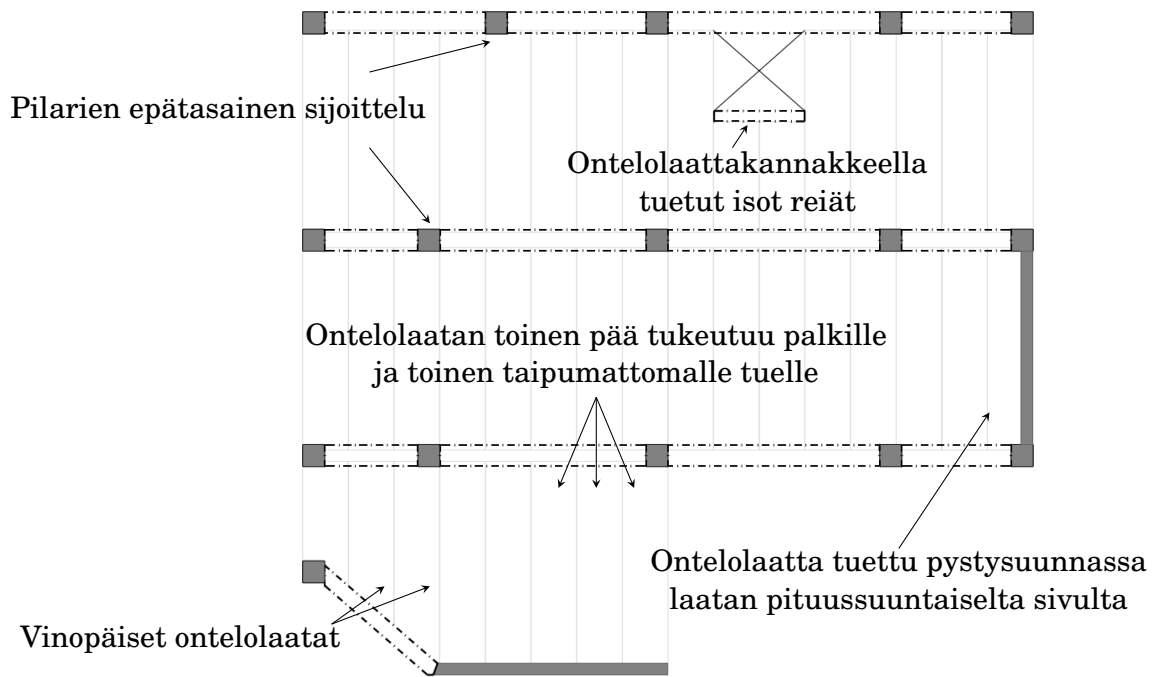
VTT:llä on tutkittu kuormituskokeiden avulla ontelolaattojen vääntö- ja leikkauskestävyyttä [9]. Chalmersin teknillisessä yliopistossa on tehty samaan tutkimusalueeseen liittyviä FEM-laskelmia [10] ja Helén Broon väitöskirja [11]. Rajoitettaessa ontelolaatan vääntöä tulee palkin taipumarajojen määrittelyssä ottaa huomioon ontelolaattatyyppi, ontelolaatan punostus, käytetyn betonin lujuus, ontelolaatan pituus ja ontelolaatasta tukevan palkin pituus. Lyhyt ontelolaatta sietää vähemmän tukien epätasaista painumaa kuin pitkä, samoin ontelolaatan korkeuden lisääntyminen heikentää ontelolaatan kykyä sietää epätasaista tukien painumaa.



Kuva 5.1: Ontelolaatan vääntyminen epätasaisesti painuvien tukien vuoksi. L_s ontelolaatan pituus, L_b palkin pituus, θ ontelolaatan pään kiertymä, w palkin taipuma.



Kuva 5.2: Koetuloksiin perustuvat 200 ja 400 mm korkean ontelolaatan vääntömomentit kiertymän funktiona. Kiertymä [mrad/m] on ilmoitettu ontelolaatan pituusmetriä kohden [9, 10, 11]. Ontelolaatan betoni C50/60 ja ontelolaatoissa 7 kpl 12,5 mm punoksia. Ontelolaatan suurin vääntökestävyys saavutetaan, kun ontelolaatan kiertymä saavuttaa kuvaajassa esitetyn maksimiarvon.



Kuva 5.3: Tapauksia, joissa tuen taipumasta aiheutuu ontelolaatalle vääntörasituksia [11].

Kuvassa 5.2 on esitetty pelkästään vääntörasitettujen 200 ja 400 mm korkeiden ontelolaattojen vääntömomentin ja kiertymän välinen yhteys, jota voidaan käyttää palkille saumavalujen kovettumisen jälkeen sallittavan maksimitaipuman karkeaan arviointiin.

Ontelolaatan tukeutuessa epätasaisesti taipuville tuille voidaan alustavassa mitoituksessa palkin suurin sallittu taipuma saumavalujen kovettumisen jälkeen pyrkiä arvioimaan lähteen [11] perusteella. Alustavasti voidaan arvioida, että ontelolaatan uumien pystysuuntainen leikkauskestävyys ei väännön vuoksi heikkene merkittävästi, jos ontelolaattaa tukevan palkin pään kiertymäksi sallitaan enintään puolet ontelolaatan vääntökestävyyttä vastaavasta maksimikiertymästä.

Kappaleessa 7.1 on esitetty laskuesimerkki palkille saumavalujen kovettumisen jälkeen sallittavan taipumarajan arvioinnista, kun ontelolaatat tukeutuvat epätasaisesti taipuvalle tuelle.

5.2 Esimerkitapauksia, joissa ontelolaattaan kohdistuu vääntörasitus

Tällä hetkellä suunnittelussa ei pystytä tunnistamaan kaikkia niitä tapauksia, joissa ontelolaattaan voi kohdistua merkittävää vääntöä. Kuvassa 5.3 on esitetty esimerkkejä tilanteista, jotka aiheuttavat ontelolaattoihin vääntöä. Ellei tehdä tarkempia laskelmia väännön vaikutuksesta ontelolaatan leikkauskestävyyteen, voidaan vääntöä rajoittaa asettamalla ontelolaattaa tukeville palkeille normaalia tiukempi taipuman raja-arvo $L/600 \dots L/1000$ saumavalujen kovettumisen jälkeen tuleville kuormille.

Esimerkiksi seuraavissa tilanteissa ontelolaattaan muodostuu vääntöä, mutta tilanteet jäävät usein mitoituksessa huomioonottamatta:

- a) ontelolaatan toinen pää tukeutuu taipuisalle palkille ja toinen pää taipumattoman seinän päälle

- b) epämääräinen pilariruudukko, jossa ontelolaatan eri päät vääntyvät vastakkaisiin suuntiin, koska toinen ontelolaatan pää tukeutuu toispäin kiertyvän palkin päälle ja toinen ontelolaatan pää tukeutuu toispäin kiertyvän palkin päälle. Tässä maksimoidaan ontelolaatan vääntö.
- c) ison liikkuvan hyötykuorman alueet
- d) vekselipalkkien alueet
- e) reunapalkkien ja keskipalkkien väliset suuret taipumaerot
- f) kiilaavat palkkilinjat -> vinopäiset ontelolaatat
- g) muut vastaavat tilanteet, joissa ontelolaatan päiden välillä muodostuu vääntymäero.

6 Esimerkkejä ongelmista palkin, ontelolaatan ja raudoitetun pintabetonin yhteistoiminnan suunnittelussa ja toteutuksessa

- Pintabetonia voidaan hyödyntää sekä ontelolaatan taivutuskestävyyden parantamiseen että ontelolaatan pään leikkauskestävyyden parantamiseen tämän teknisen ohjeen mukaisesti. Hankkeen osapuolilla voi olla erilainen käsitys siitä, mihin rakenteellista pintabetonia hyödynnetään.
- Työmaatoteuttajat eivät välttämättä pidä ontelolaatan ja palkin päällä olevaa pintabetonia kantavan rakenteen osana, vaan mieltävät, että pintabetonin tilalle voidaan laittaa ”matalan lujuuden tasausbetonia” tai jopa kipsitasoitetta, jonka ainoa tehtävä on saada tarpeeksi sileä alusta lattian pintamateriaalille.
- Punostaja voi olettaa virheellisesti ontelolaatan ja palkin päällä olevan pintabetonin erirakenteelliseksi, ja käsittelee pintabetonia vain pysyvänä kuormana, jonka kimmokerroin on nolla. Tällöin punostaja ei ota pintabetonin rakenteellista toimintaa lainkaan huomioon palkin, ontelolaatan ja pintabetonin muodostaman liittorakenteen Betoninormikortti 18 EC:n mukaisessa tarkastelussa. Pintabetonin kimmokertoimen olettaminen nollassa ja muuttaminen vain pysyväksi kuormaksi johtaa aina virheelliseen ja epävarmalla puolella olevaan tulokseen ontelolaatan pään leikkauskestävyyttä tarkasteltaessa. Tämän vuoksi palkin ja ontelolaatan päällä oleva raudoittamaton tai raudoitettu pintabetoni on aina oletettava rakenteelliseksi, ellei liittovaikutuksen muodostumista ole erikseen luotettavasti estetty (ks. esim. seuraava kohta).
- Lattialämmityksellä varustetuissa välipohjissa ontelolaatan ja pintabetonin välissä on usein lämmöneriste, jolloin pintabetonin raudoitusta ei voida hyödyntää ontelolaatan pään leikkauskestävyyden parantamiseen.
- Rakenteellista pintabetonia ei voida hyödyntää ontelolaatan pään leikkauskestävyyden parantamiseen, jos muuratut väliseinät muurataan suoraan ontelolaatan päältä ja pintabetoni valetaan vasta väliseinien muuraamisen jälkeen.
- Päärakennesuunnittelija merkitsee suunnitelmiinsa ontelolaatan pintabetoniin ”konstruktiivisen raudoitusverkon” hillitsemään pintabetonin halkeilua. Päärakennesuunnittelija ei ole ajatellut, että raudoitusverkkoa hyödynnettäisiin ontelolaatan pään leikkauskestävyyden parantamiseksi, mutta ontelolaatan punossuunnittelija päättää hyödyntää ko. raudoitusverkkoa. Palkkien suunnittelijalle ei välity mitään kautta tietoa siitä, että pintabetonin raudoitusverkkoa hyödynnetään -> palkin ylälaipan yläpintaan ei suunnitella minkäänlaista vaarnoitusta.

- Pintabetonin valualueet ja/tai sahatut kutistumissaumat toteutetaan niin, ettei pinta-betonin raudoitusta voida luotettavasti toteuttaa palkkikaistoilla.
- Ontelolaataston liikuntasäama on toteutettu niin, että pintabetonissa on liikuntasäama ja ontelolaatat tukeutuvat liikuntasäamalaakerin välityksellä palkin alalaipalle / leualle. Mikäli tätä ei suunnittelussa erikseen huomioida, menee ontelolaatan leikkauskestävyyden tarkistus epävarmalle puolelle. Ontelolaatan pään leikkauskestävyyttä tarkistettaessa rakenne tutkitaan kuten reunapalkilla niin että vain palkin kanssa samaan liikuntasäamalohkoon kuuluva ontelolaatta ja sen pintabetoni otetaan rakenteen poikileikkauksessa huomioon. Palkin alalaipalle/leualle toiselta liikuntasäamalohkolta tuleva kuormitus otetaan huomioon viivakuormana palkille. Palkin kanssa samaan liikuntasäamalohkoon kuuluvan ontelolaatan pään poikittainen leikkausrasitus tulee kaksinkertaiseksi, jos palkin kummallakin puolella on samanpituiset ja samalla tavalla kuormitetut ontelolaatat. Mikäli pintabetoni on raudoitettu, tulee kiinnittää erityistä huomioita pintabetonin raudoituksen ankkurointiin palkin päällä.

7 Laskentaesimerkit

7.1 Esimerkki: palkin leikkausvaarujen mitoitus yksinkertaistetulla menettelyllä, tapa 1

Haetaan leikkausvaarujen mitat otaksumalla niitä rasittavaksi vuoksi pintabetonin täysi kestävyys.

Esimerkissä otaksutaan yksinkertaisuuden vuoksi leikkausrasitus tasan jakautuneeksi. Oletetaan lähtötiedot:

$$\text{Palkin jänneväli} \quad L = 7,2 \text{ m} \quad (7.1)$$

$$\text{Palkin leveys} \quad b_b = 256 \text{ mm} \quad (7.2)$$

$$\text{Saumabetonin leveys} \quad b_j = 70 \text{ mm} \quad (7.3)$$

$$\text{Pintabetonin paksuus} \quad h_{c,top} = 80 \text{ mm} \quad (7.4)$$

$$\text{Pintabetonin (C25/30) mitoituslujuus} \quad f_{cd} = 0,85 \frac{25}{1,5} \text{ MPa} = 14,2 \text{ MPa} \quad (7.5)$$

$$\text{Pintabetonin raud. pinta-ala } 6 \# 200 \quad A_{sv} = \frac{\pi \cdot 6^2}{4 \cdot 200} \text{ mm}^2/\text{mm} = 141 \text{ mm}^2/\text{m} \quad (7.6)$$

$$\text{raud. laskentalujuus (B500B)} \quad f_{yd} = \frac{500}{1,15} \text{ MPa} = 435 \text{ MPa} \quad (7.7)$$

Näistä voidaan (kaavalla 3.2 selityksineen) laskea kestävyysien mitoitusarvot:

$$\text{Pintabetonin leikkaus-} \quad V_{Rd,left} = A_{sv} f_{yd} = 61,5 \text{ N/mm} \quad (7.8)$$

$$\text{kestävyys} \quad V_{Rd,right} = A_{sv} f_{yd} = 61,5 \text{ N/mm} \quad (7.9)$$

$$\text{Pintabetonin puristuskestävyys} \quad N_{c,Rd} = (b_b + 2b_j) h_{c,top} f_{cd} = 448,8 \text{ kN} \quad (7.10)$$

$$\text{Vaadittava kestävyys yht.} \quad V_{Rd} = V_{Rd,left} + V_{Rd,right} + \frac{N_{c,Rd}}{L/4} = 372,3 \text{ N/mm} \quad (7.11)$$

Valitaan silmukkaliitin $\phi = 12 \text{ mm}$, $\alpha = 5^\circ$, $\beta = 0^\circ$. Tällöin

$$A_s = 2 \frac{\pi \phi^2}{4} = 226,2 \text{ mm}^2 \quad (7.12)$$

ja yhden liittimen kestävyys mitoitusarvo (kaava 4.1)

$$P_{Rd} = \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{1 + \sin^2 \alpha}} \cos \beta = 98 \text{ kN} \quad (7.13)$$

Silmukkaliittimien maksimietäisyydeksi saadaan

$$s = \frac{P_{Rd}}{V_{Rd}} = 263,2 \text{ mm} \quad (7.14)$$

-> valitaan silmukkaliittimet T12k250 ja tarkastetaan vielä kaavojen 4.2-4.4 aiheuttamat vaatimukset liittimien geometrialle ja betonipeitepaksuudelle:

$$r \geq 7,5\phi = 90 \text{ mm} \quad (7.15)$$

$$l \geq 4r = 360 \text{ mm} \quad (7.16)$$

$$c \geq 3\phi = 3 \cdot 12 = 36 \text{ mm} \quad (7.17)$$

7.2 Esimerkki: palkin leikkausvaarujen mitoitus yksinkertaistetulla menettelyllä, tapa 2

Tarkastellaan edellistä esimerkkiä, mutta lasketaan leikkausliitosta rasittava leikkausvuororakenneteorialla kuitenkin yksinkertaistettuna siten, että palkin uumat ja saumabetoni raudoitteineen on jätetty pois tarkasteluista. Näin voidaan menetellä, jos koko poikkileikkauksen neutraaliakseli on jokseenkin palkin laippojen keskikohdilla. Lisäksi oletetaan, että pintabetonin kovettumisen jälkeen ainoa lisäkuorma on hyötykuorma. Mahdollinen muu pysyvä kuorma tulee ottaa huomioon tarpeen mukaan. Edelleen esimerkissä vaarnat mitoitetaan vain 18 EC mukaiselle liittovaikutukselle, muita mahdollisia vaarvoja rasittavia ilmiöitä ei tarkastella.

Oletetaan (edellisten lisäksi) lähtötiedot:

$$\text{Ontelolaatan jänneväli} \quad L_i = 8 \text{ m} \quad (7.18)$$

$$\text{Hyötykuorma} \quad q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2 \quad (7.19)$$

$$\text{Taivutusmomentin mitoitusarvo} \quad M_{q,Ed} = \frac{1}{8} 1,5 q_k L_i L^2 = 194,4 \text{ kNm} \quad (7.20)$$

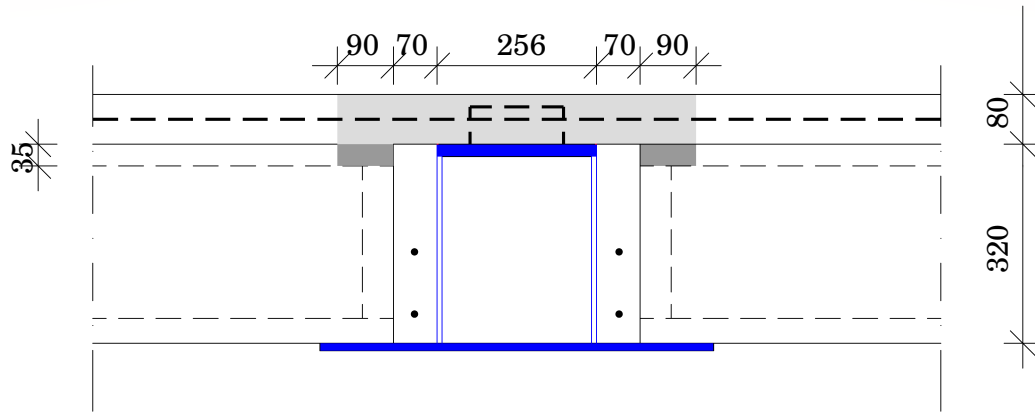
Palkki WQ 320x8 - 20x240 - 12x636. Poikkileikkaus nähdään kuvassa 7.1.

Betoninormikortti 18 EC:n mukainen betonin tehollinen leveys

$$b_{cd} = k_{cd} L = 0,00125 \cdot 7200 \text{ [mm]} = 90 \text{ [mm]} \quad (7.21)$$

Pintabetonin kovettumisen jälkeen pintabetoni, ontelolaatan yläpinta ja WQ-palkin ylälaippa toimivat liittorakenteena puristuspuolella. Lasketaan puristuspuolen painopiste.

	z_c [mm]	A [mm ²]	E [MPa]	EA [N]	$z_c \cdot EA$ [Nmm]
WQ-palkin ylälaippa	90	5120	210000	$1,08 \cdot 10^8$	$9,7 \cdot 10^{10}$
OL:n yläpinta	97,5	6300	35000	$2,21 \cdot 10^8$	$2,15 \cdot 10^{10}$
Pintabetoni	40	46080	31000	$1,43 \cdot 10^9$	$5,71 \cdot 10^{10}$
Yhteensä				$2,72 \cdot 10^9$	$1,75 \cdot 10^{11}$



Kuva 7.1: Poikkileikkauksen mitat esimerkkiä varten.

Puristuspuolen painopiste
$$pp = \frac{1,75 \cdot 10^{11}}{2,72 \cdot 10^9} = 64,3 \text{ mm} \quad (7.22)$$

Sisäinen momenttivarsi
$$z = \frac{12}{2} + 320 + (80 - 64,3) = 341,7 \text{ [mm]} \quad (7.23)$$

Normaalivoiman mitoitusarvo jänteen keskellä
$$N_{C,Ed} = \frac{M_{q,Ed}}{z} = 568,9 \text{ kN} \quad (7.24)$$

Normaalivoiman mitoitusarvo betonipoikkileikkauksessa jänteen keskellä
$$N_{c,conc,Ed} = \left[1 - \frac{1,08 \cdot 10^9}{2,72 \cdot 10^9} \right] N_{C,Ed} = 343 \text{ kN} \quad (7.25)$$

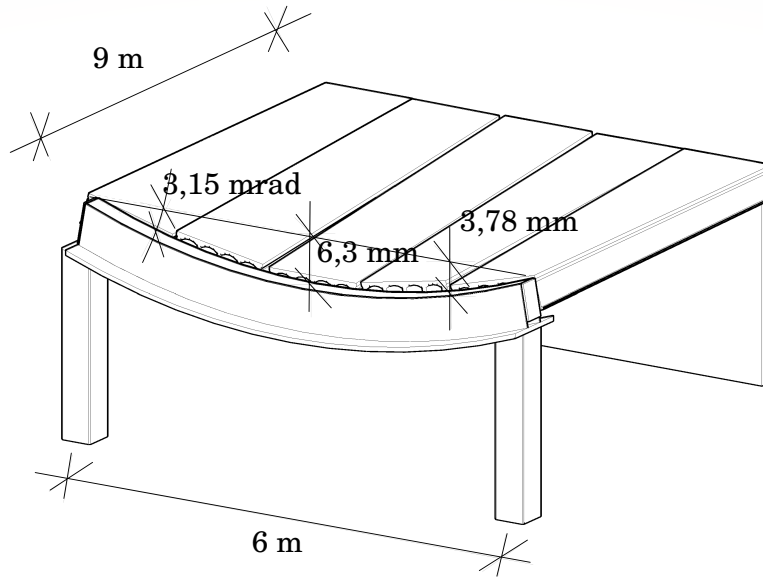
Leikkausvuo palkin ylälaipan ja pintabetonin välillä
$$V_{Ed} = \frac{N_{c,conc,Ed}}{L/4} = 190,6 \text{ N/mm} \quad (7.26)$$

Silmukkaliittimien maksimijako
$$s = \frac{P_{Rd}}{V_{Ed}} = 514,1 \text{ mm} \quad (7.27)$$

7.3 Esimerkki: Palkille sallittavan maksimitaipuman arviointi ontelolaatan saumavalujen kovettumisen jälkeen, kun ontelolaatta tukeutuu epätasaisesti taipuville tuille

Tarkastellaan tilannetta, että palkin toinen pää tukeutuu käytännöllisesti katsoen jäykän seinän päälle ja toinen pää taipuisalle palkille. Palkin pituus $L_b = 6$ metriä ja 400 mm korkean ontelolaatan pituus $L_s = 9$ metriä. Kuvan 5.2 perusteella palkin sallituksi maksimikiertymäksi tuella voidaan arvioida enintään 0,35 mrad/m (joka on puolet 400 mm korkean ontelolaatan vääntökestävyyttä vastaavasta kiertymästä 0,70 mrad/m):

Tarkastellaan palkin reunimmaista ontelolaatta. Toinen pää ei tuennan vuoksi kierry, joten



Kuva 7.2: Esimerkin rakenteen mitat ja siirtymäsuureita.

palkille tukeutuvan pään suurimmaksi sallittavaksi kiertymäksi saadaan:

$$\theta = 9 \text{ m} \cdot 0,35 \text{ mrad/m} = 3,15 \text{ mrad} \quad (7.28)$$

Ontelolaatan leveyden päässä tuelta (1200 mm) palkin taipuma voi olla enintään:

$$w_1 = 3,15 \text{ mrad} \cdot 1200 \text{ mm} = 3,78 \text{ mm} \quad (7.29)$$

Tätä vastaava taipuma palkin jänteen keskellä on:

$$w_{max} = 6,30 \text{ mm} \approx \frac{L}{950} \quad (7.30)$$

Edellä mainittuja kiertymiä ja vastaavia palkin pystysiirtymiä on hahmoteltu kuvassa 7.2.

Kirjallisuutta

- [1] SFS-EN 1168 + A3. *Betonivalmisosat. Ontelolaatat.*, 2012.
- [2] SFS 7016. *Esijännitetyiltä ontelolaatoilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot*, 2008.
- [3] Betoninormikortti 18 EC. *Palkkiin tuetun ontelolaatan suunnittelu*, 2012.
- [4] Matti Pajari. *VTT PUBLICATIONS 228. Shear resistance of prestressed hollow core slabs on flexible supports*. VTT, 1995.
- [5] Matti Leskelä. *Behaviour and Design of Steel-Concrete Composite Structures*. Peikko Group, 2017.
- [6] SFS-EN 1994-1-1. *Eurocode 4: Betoni-teräs liittorakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.*, 2006.
- [7] SFS-EN 1992-1-1. *Eurocode 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.*, 2005.
- [8] SFS-ENV 1994-1-1. *Eurocode 4: Betoni-teräs liittorakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.*, 1995.
- [9] Matti Pajari. *VTT RESEARCH NOTES 2273, Pure torsion tests on single hollow core slabs*. VTT, 2004.
- [10] H. Broo, K. Lundgren, and B. Engström. Shear and torsion interaction in prestressed hollow core units. *Magazine of Concrete Research*, 175:521–533, 2005.
- [11] Helen Broo. *Shear and Torsion in Concrete Structures Non-Linear Finite Element Analysis in Design and Assessment*. Väitöskirja, Chalmersin yliopisto, Göteborg, Ruotsi, 2008.

Lisäohje Betoninormikortin 18EC mukaiseen mitoitukseen

Ontelolaatan pään leikkaus- kestävyyden parantaminen joustavalla tuella

