

NORMIKORTTI N:o 18

Palkkeihin tuetun ontelolaataston suunnittelu

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO
2. SOVELTAMISALA
3. MURTORAJATILA
4. KÄYTTÖRAJATILA
5. SUUNNITTELUN YLEISOHJEET JA RAKENTEELLISET OHJEET
6. TAUSTA-ASIAKIRJAT JA VIITTAUKSET

LIITE A: Yksikköleikkausvuon $v_{\ell 1}^1$ ja $v_{\ell 2}^1$ laskeminen

LIITE B: Ontelolaattojen uuman vaakasuora leikkautumisala $b_{hc}/A_{V\ell}$, onteloiden lisätäytöstä aiheutuva vaakasuoran leikkausjännityksen pienennysluku β_f ja tehollinen esijännitysvoiman aiheuttama puristusjännitys kriittisessä leikkauksessa

LIITE C: Laattojen uuman vaakasuoraan poikittaiseen leikkausvoimaan vaikuttavat tekijät

LIITE D: Laskentaesimerkki

1. JOHDANTO

1.1 Palkeille tuettujen ontelolaattojen suunnittelun erityispiirteet

Palkin ja laatan yhteistoiminta aiheuttaa palkin ja laatan päiden muodostaman liittorakenteen deformatiivisessa laattojen päihin lisärasituksia, joiden vaikutuksesta palkin leikkausvoiman maksimin alueilla olevien laattojen leikkauskestävyys pienenee niin paljon, että ilmiöstä muodostuu määräävä näiden laattojen murtuessa ensimmäisinä. Laataston kantokyky on se, minkä ensimmäisinä murtuvat laatat saavuttavat.

Ontelolaattoja on alun perin mitoitettu erillisinä yhteen suuntaan kantavina ja yksinkertaisesti tuettuina rakenneosina, joiden todellisen tuennan ei katsottu vaikuttavan kestävyysasteeseen. Tuet oletettiin niin jäykiksi, että laatan tukipinnan eri kohtien painumaerot ovat nollija. Tällainen tuki on määritelty painumattomaksi, esimerkkinä tuenta seinän päälle.

Koska välipohjan palkkien ja ontelolaattojen yhteistoiminta vaikuttaa laattojen leikkauskestävyysasteeseen, kyseistä rakennetta tulee tarkastella kokonaisuutena, missä laataston kantavuus määräytyy ensimmäisenä murtuvan osan kestävyysasteen perusteella.

Palkin ja siihen liittyvien laattojen päiden toiminta liittorakenteena on osittaista siten, että kuorman kasvaessa palkin sivuilla olevien liittosten ominaisuudet muuttuvat vaihteittain ja liittovaikutuksen tehokkuus heikkenee. Tämä otetaan mitoitusmallissa huomioon käyttämällä laattojen päistä palkille muodostuvan puristuslaipan mitoitusleveydelle erikseen määriteltyä arvoa, joka on paljon pienempi kuin täydelliseen yhteistoimintaan perustuva leveys esimerkiksi Eurocode 4:ssä.

Ontelolaattojen ja palkin välisten liittokkien rakennekohtaiset ominaisuudet vaikuttavat em. mitoitusleveyteen, mutta sen lisäksi mitoitusleveys riippuu käytetyn laatan tyyppistä, koska laatan poikkileikkausmuoto vaikuttaa siihen kuinka paljon laatan ylä- ja alalaippa liukuvat toistensa suhteen laatan päähän kohdistuvasta poikittaisesta vaakasuorasta leikkausvoimasta. Näiden syiden vuoksi mitoituksessa tarvittavat tiedot esitetään palkkikohtaisesti ja laattatyypikohtaisesti.

1.2 Erillisen suunnittelun velvoittavuus

Ontelolaattojen suunnittelua koskevan standardin SFS-EN-1168+A2 Betonivalmisteosat, ontelolaatat kohdan 4.3.3.2.2.1 mukaan laattojen tukeutuessa taipuvaan tukeen, esimerkiksi palkeille, tulee tästä aiheutuvien poikkisuuntaisten leikkausjännitysten leikkauskestävyyttä vähentävä vaikutus ottaa huomioon ontelolaattojen mitoituksessa. Erityispiirteiden huomioon ottaminen voi tapahtua tämän normikortin tai muiden vastaavien, samanlaiseen luotettavaan taustatietoon pohjautuvien ohjeiden mukaisesti.

1.3 Määritelmiä

Liittopalkki: Ontelolaattojen päiden toimiessa niitä tukevan palkin puristuslaippana kyseinen kokonaisuus toimii liittopalkkina.

Leikkausliitos: Palkin ja sen tukeman laattarakenteen välillä oleva liitos, jossa vaikuttaa osien välistä yhteistoimintaa ylläpitäviä palkin akselin suuntaisia leikkausvoimia. Laattojen uumien läpi kulkevassa vaakasuorassa leikkauksessa vaikuttaa leikkausvoima, joka on laatan suuntaan nähden poikittainen.

Leikkausvuo: Liitoksen vaakasuora (palkin suuntainen) leikkausvoima rakenteen pituusyksiköllä.

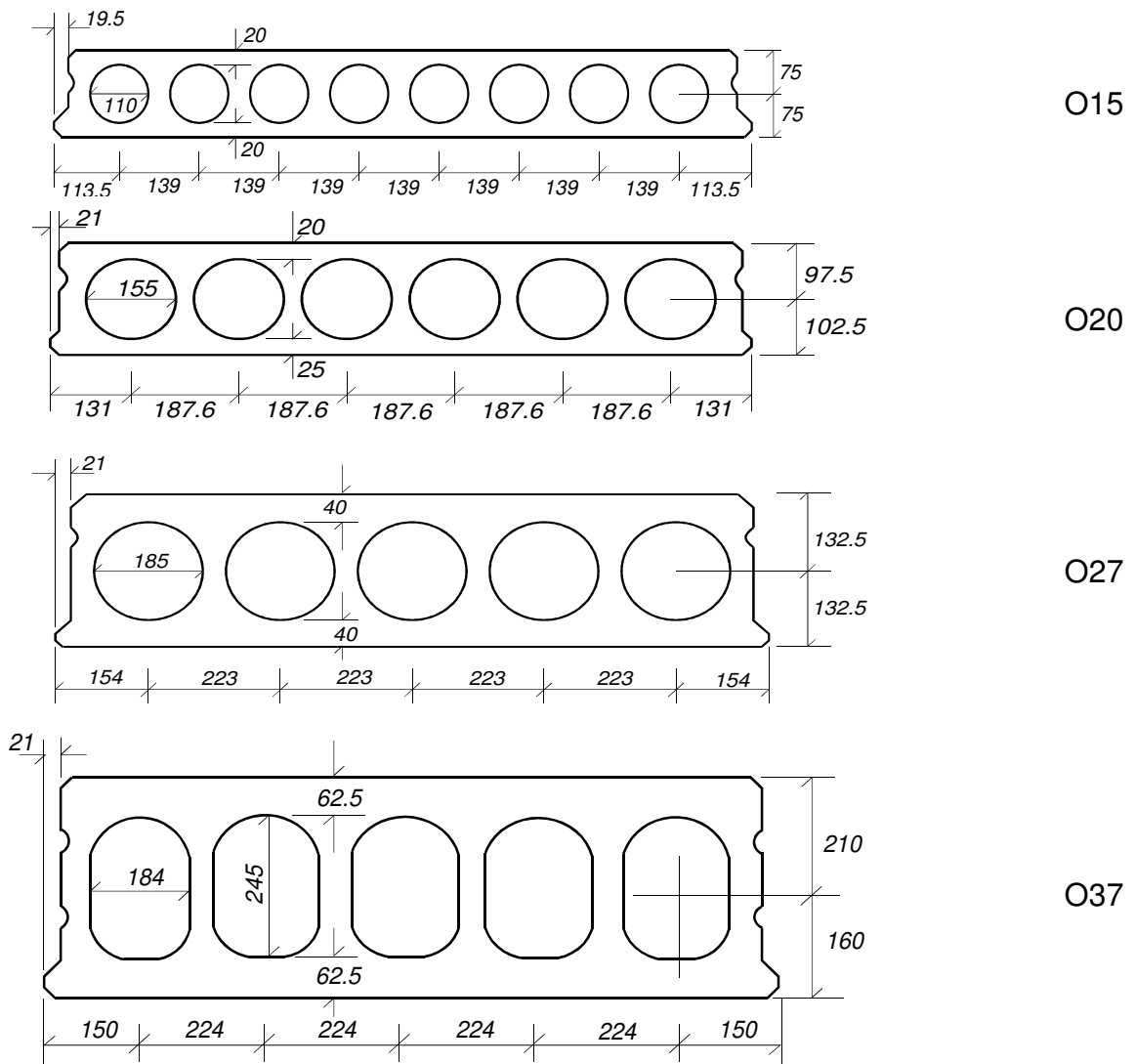
Yksikköleikkausvuo: Yksikön suuruisesta liittopalkin leikkausvoimasta aiheutuva leikkausvuo täyden yhteistoiminnan teorian mukaan laskettuna.

Matalapalkki, sisäkkäinen rakenne: Palkki, jonka korkeudesta suurin osa jää laattarakenteen korkeuden sisään. Laatat tukeutuvat palkin leualle tai alalaipalle.

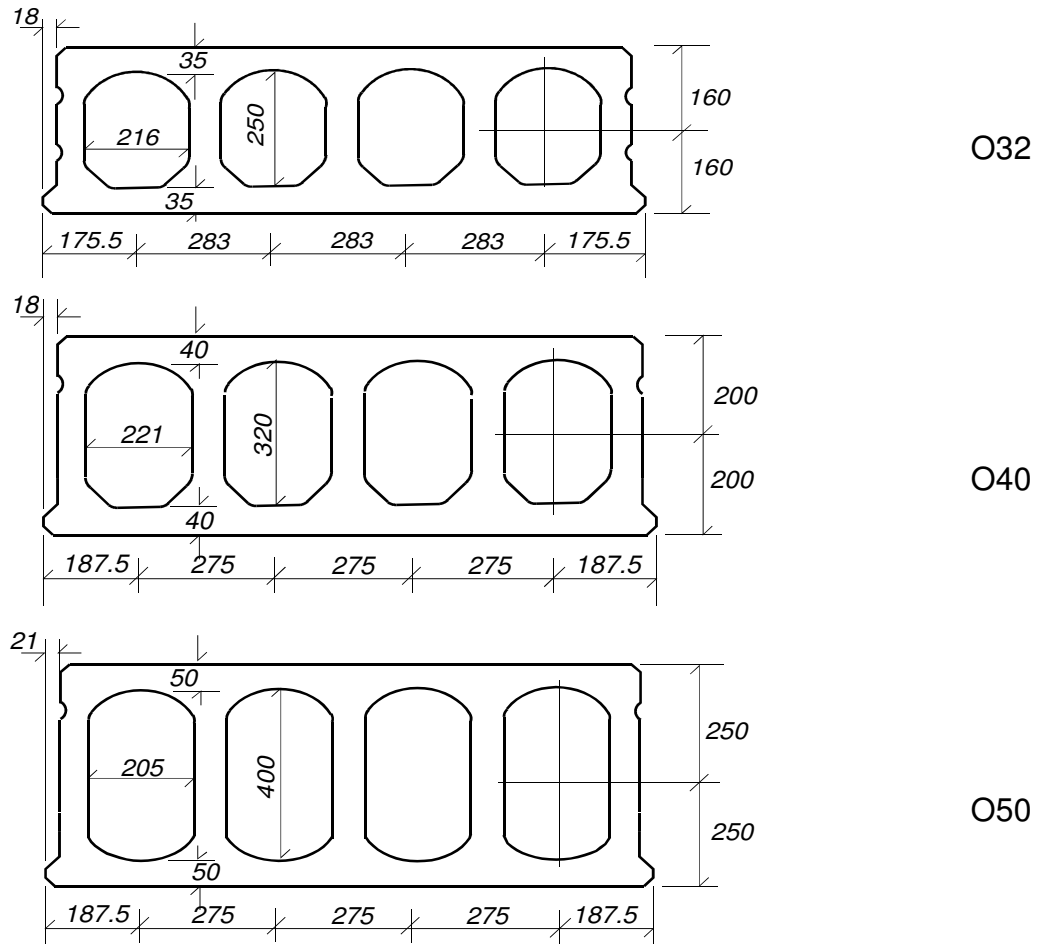
Päällekkäinen palkkirakenne: Palkki, jossa laatat tukeutuvat palkin yläpintaan. Palkin ja laattojen päiden väliin jäävässä täyttövalussa on mekaaninen leikkausliitos palkkiin.

1. rakennusvaihe: Laataston valmistuksen vaihe, jolloin ontelolaatat on asennettu ja saumattu ja saumat ovat kovettuneet, jolloin palkit toimivat ensi kertaa liittorakenteisina.

2. rakennusvaihe: Laataston valmistuksen vaihe, jolloin laatastoon on lisätty pintabetoni ja se on kovettunut, jolloin palkit toimivat lopullisessa muodossaan liittorakenteisina hyötykuormille.



Kuva 1/1 Esimerkkejä laattatyypeistä, 8-, 6- ja 5-onteloiset laatat. Mitoissa esiintyy valmistajakohtaisia eroja



Kuva 2/1 Esimerkkejä 4-onteloisista laattatyypeistä. Mitoissa on valmistajakohtaisia eroja

2. SOVELTAMISALA

(1)P Tämä normikortti koskee laatastorakenteita, joissa ontelolaatat tukeutuvat palkkeihin siten että laatan ja palkin välinen risteyskulma on vähintään 45° . Mikäli laatan ja palkin välinen risteyskulma on alle 45° , asia tutkitaan erikseen.

(2)P Nämä suunnitteluohjeet koskevat rakenteita, joissa palkit mitoitetaan kantamaan yksinään ilman liittovaikuksen tuomaa lisäjäykkyyttä koko kuormitus tai palkit mitoitetaan murtorajatilassa yhdessä ontelolaattojen kanssa toimivana liittorakenteena olettaen puristuslaipalle **enintään** sama mitoitussleveys, jota käytetään ontelolaattojen kestävyystarkastelussa.

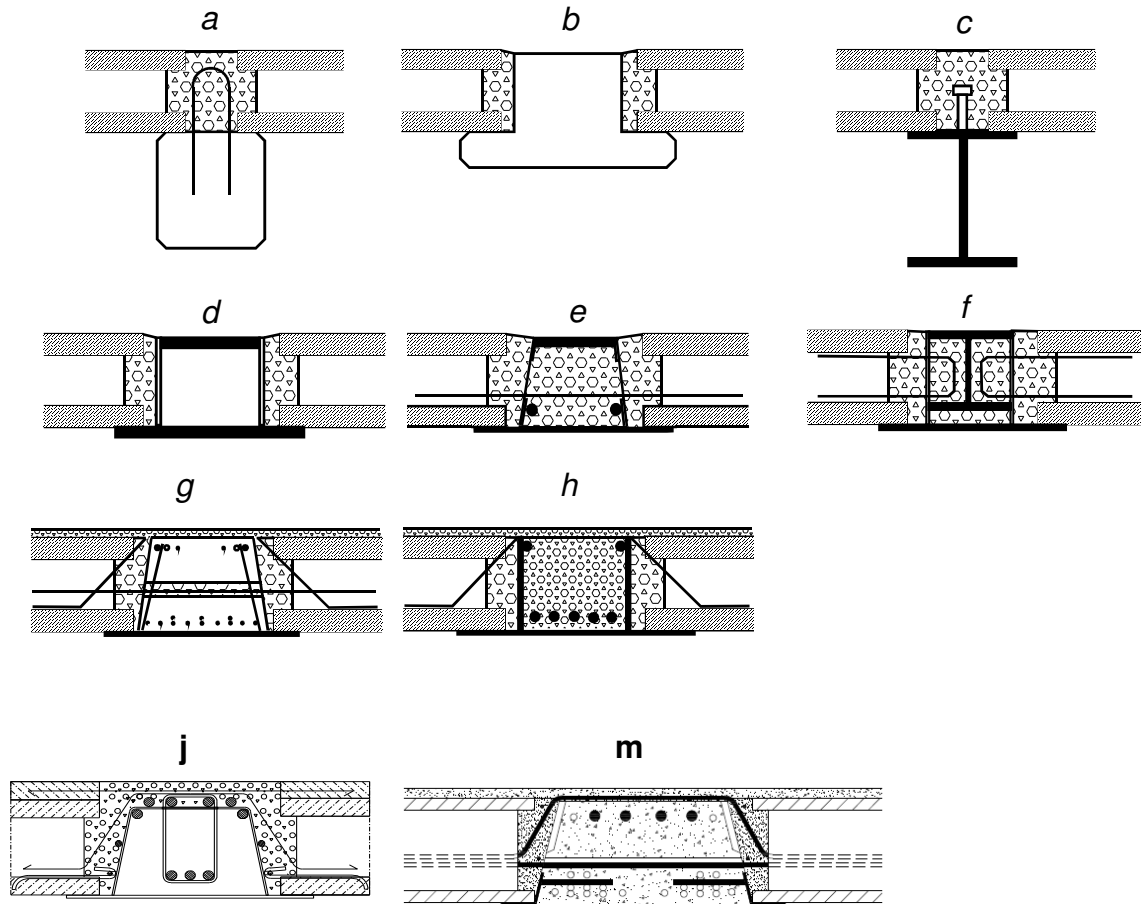
(3) Laattojen päällä voi olla raudoitettu tai raudoittamaton rakenteellinen pintabetoni. Pintabetonin raudoituksen hyväksikäyttäminen palkkirakenteen taivutuskestävyyden osoittamisessa ei kuulu tämän normikortin soveltamisalaan.

(4)P Laattojen tukipalkkien tyypit esitetään kuvassa 1/2. Laattojen ripustumiseen liittyviä palkkikohtaisia asioita ei käsitellä tässä normikortissa.

(5)P Tässä normikortissa esitettävää mitoitusmenetelmää tulee käyttää sellaisenaan, tausta-asiakirjoissa [1, 3 ja 8] esitettyjen perusteiden mukaisesti. Menetelmään kuuluvat parametrit on sovitettu koetuloksiin ja sen vuoksi niitä ei saa korvata muista menetelmistä peräisin olevilla ominaisuuksilla. Näitä ovat mm. liittopalkin teholliset osat (kuva 1/A), puristuslaipan mitoitussleveys, betonin materiaaliominaisuudet ja laatan kestävyuden parantamiseen liittyvät hyväksytyt menetelmät.

(6)P Luettelo soveltamisalaan kuuluvista laattoja kannattavista palkeista on taulukossa 1/2.

(7) Muiden kuin tässä normikortissa mainittujen rakenteiden mitoittaminen samalla menetelmällä voidaan suorittaa, kun menetelmän sisältämät mitoitusparametrit määritetään näille rakenteille laatastokokeen perusteella tai muulla yhtä luotettavalla tavalla. Ellei tällaista määrittystä tehdä, mitoittamisessa tulee käyttää taulukossa 1/A ja siihen liittyvissä ohjeissa palkeille a - c osoitettuja parametrejä.



Kuva 1/2 Normikortin soveltamisalaan kuuluvat rakennetyypit

Taulukko 1/2 Normikortin soveltamisalueeseen kuuluvat palkkityypit

Tuotenimi		Palkin kuvaus
Betonipalkki	a	Laatta suorakaidepalkin päällä, lisäehdot, ks. kuva 5/3
Betonileukapalkki	b	Jännitetty tai teräsbetoninen leukapalkki1 **) ks. uuman määrittely
Teräspalkki	c	Laatta teräksisen levypalkin päällä, lisäehdot, ks. kuva 5/3
WHQ-palkki	d	Sileäuumainen teräsleukapalkki
Deltapalkki	e	Patentoitu vinouumainen teräслиittopalkki
MEK-palkki	f	Patentoitu teräслиittopalkki
LBL ja LB-palkki	g	Patentoitu vinouumainen jännitetty liittopalkki
Kvatropalkki	h	Patentoitu teräслиittopalkki
A-palkki	j	Patentoitu vinouumainen teräслиittopalkki
Betonileukapalkki	k	Jännitetty leukapalkki2 *) ks. uuman määrittely
BM-palkki	m	Vinouumainen teräsleukainen jännebetonipalkki

*) Betonileukapalkki2 = täysin sileä betoniума tai vaarnat uuman yläosassa, enintään $h_{hc}/2$ korkeat, missä h_{hc} on ontelolaatan korkeus

**) Betonileukapalkki1 = vaarnattu uuma, muut kuin leukapalkin 2 mukaiset vaarnat

3. MURTORAJATILA

(1) Materiaalien osavarmuuslukujen perusarvoina käytetään SFS-EN-1992-1-1 taulukon 2.1N, SFS 7016 kohdan 5.2, SFS-EN-1993-1-1 kohdan 6.1(1) ja SFS-EN-1994-1-1 kohdan 2.4.1.2 mukaisia arvoja.

3.1 Ontelolaatan kestävyden osoittaminen

(1)P Ontelolaatat mitoitetaan niin, että murtorajatilassa niillä on riittävä varmuus taivutuskestävyyden saavuttamisen ja laatan pään leikkauskestävyyden saavuttamisen suhteen.

(2) Taivutuskestävyyden riittävyys osoitetaan kuten jäykille tuille tuetuissa laatoissa.

(3) Jännepunosten tartunnan riittävyys osoitetaan kohdan 3.8 mukaisesti niissä laatoissa, joissa niitä tukevan palkin taivutusmuodonmuutokset voivat aiheuttaa tartunnan heikkenemistä.

(4)P Uuman leikkauskestävyyden riittävyys laatan päässä osoitetaan ottamalla huomioon jäykälle tuelle tuetun laatan päässä esiintyvien rasitusten lisäksi palkin ja laattojen yhteistoiminnasta aiheutuvat lisärasitukset laattojen todellisen kuormitus-historian mukaisesti.

(5) Leikkauskestävyyden osoittaminen suoritetaan kohdassa 3.2 esitettävän mekaanisen mallin avulla, tai käyttämällä muuta laatan pään todellista toimintatapaa luotettavasti kuvaavaa mallia.

3.2 Laatan pään murtumisen mekaaninen malli

(1) Laatan päässä esiintyviin eri rasituksiin viitataan joko vaakasuorina, laatan suuntaan nähden poikittaisina vaikutuksina, jotka ovat palkin suuntaan nähden pituussuuntaisia, tai laatan suuntaisina vaikutuksina:

- Liittorakenteena toimivan palkin leikkausvuosta aiheutuu laatan uumakannaksiin vaakasuora poikittainen leikkausvoima, jota ei esiinny jäykille tuille tuetuissa laatoissa. Sen aiheuttamat laatan uuman poikittaiset leikkausjännitykset ovat τ_{vl} .
- Laatan päässä esiintyvät muut jännityskomponentit ovat laatan suuntaisia ja ne ovat samat kuin jäykille tuille tuetuissa laatoissa: jännevoiman aiheuttama puristusjännitys σ_{cp} ja laatan leikkausvoimasta aiheutuvat laatan pituussuuntaiset leikkausjännitykset τ_{hc} .

(2) Laatan leikkausmurtuminen tapahtuu, kun laatan uuman murtoehto toteutuu. Murtoehto on uuman päävetojännitysehto ja laatan murtuessa päävetojännitys on uuman mitoitusvetolujuuden suuruinen.

(3) Päävetojännitys σ_I lasketaan tasojännitystilasta muunnettuna jännityksenä:

$$\sigma_I \approx \frac{\sigma_{cp} + \sigma_{cM}}{2} + \sqrt{\frac{(\sigma_{cp} + \sigma_{cM})^2}{4} + (\tau_{hc} + \tau_{cp})^2 + (\beta_r \tau_{vl})^2}$$

ja uuman murtoehto on $\sigma_I = f_{ctd,hc}$

missä

$f_{ctd,hc}$ on ontelolaatan uuman mitoitusvetolujuus

σ_{cp} on ontelolaatan uuman kriittisen leikkauksen kohdalla vaikuttava jännevoiman aiheuttama betonipoikkileikkauksen puristusjännitys (< 0) uuman leikkauskestävyyden kannalta mitoittavassa kohdassa,

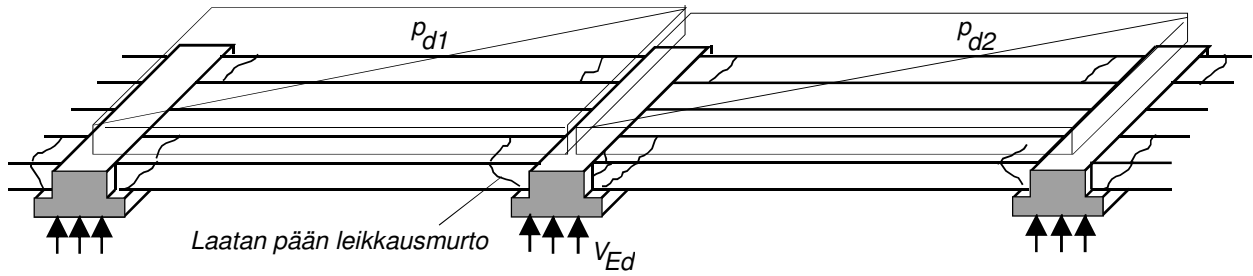
σ_{cM} on ontelolaatan taivutusmomentista aiheutuva normaalijännitys uuman leikkauskestävyyden kannalta mitoittavassa kohdassa,

τ_{cp} on jännevoiman kehittymismatkan alueella jännevoiman muutoksesta aiheutuva leikkausjännitys uuman leikkauskestävyyden kannalta mitoittavassa kohdassa

τ_{hc} on ontelolaatan leikkausvoimasta aiheutuva laatan suuntainen leikkausjännitys laatan uuman kriittisen leikkauksen kohdalla,

$\beta_r \tau_{vl}$ on palkin liittovaikutuksen aiheuttama tehollinen vaakasuora poikittainen leikkausjännitys ontelolaatan uumassa kriittisen leikkauksen kohdalla, τ_{vl} on nimellinen maksimijännitys ja $\beta_r \leq 1$ on pienennysluku sellaisia tapauksia varten, missä laatan päätä vahvistetaan luotettavalla tavalla (kertoimen β_r eri vaihtoehdot esitetään kohdissa 3.3 .. 3.5).

Jännitykset σ_{cp} ja τ_{cp} lasketaan SFS-EN-1168+A2 kohdan 4.3.3.2.2.1 1. vaihtoehdon mukaisesti.



Kuva 1/3 Leikkausmurto palkin tuen viereisissä ontelolaattojen päissä

3.3 Uuman pääjännityksen komponentit

3.3.1 Leikkausjännitykset τ_{hc} ja τ_{vl}

- (1) Leikkausjännitys $\tau_{hc} = \tau_{hc,1} + \tau_{hc,2}$ on laattaelementissä kaikista sen kuormista aiheutuva suurin laatan suuntainen uuman leikkausjännitys, joka lasketaan kaavoista

$$\tau_{hc,1} = \frac{V_{hc,1,Ed} S_{hc}}{I_{hc} b_{w,hc}}; b_{w,hc} = \sum b_{w,i} \quad (1)$$

$$\tau_{hc,2} = \frac{V_{hc,2,Ed} S_{hc+tc}}{I_{hc+tc} b_{w,hc}}$$

missä

- $V_{hc,1,Ed}$ on laattaelementin leikkausvoiman mitoitusarvo kriittisessä poikki-leikkauksessa omasta painosta ja vaiheen 1 kuormista,
- S_{hc} on laattapoikkileikkauksen painopisteakselin yläpuolisen osan staattinen momentti painopisteakselin suhteen,
- I_{hc} on laattapoikkileikkauksen jäyhyysmomentti,
- $V_{hc,2,Ed}$ on laattaelementin leikkausvoiman mitoitusarvo kriittisessä poikki-leikkauksessa vaiheen 2 kuormista,
- S_{hc+tc} on laattapoikkileikkauksen ja pintabetonin yhteisen painopisteakselin yläpuolisen osan staattinen momentti painopisteakselin suhteen,
- I_{hc+tc} on laattapoikkileikkauksen ja pintabetonin yhteinen jäyhyysmomentti,
- $b_{w,i}$ on yhden uumakannaksen leveys laattapoikkileikkauksessa,
- $b_{w,hc}$ on uumakannaksien kokonaisleveys laattapoikkileikkauksessa.

- (2) Leikkausjännitys τ_{vl} on laataston osien yhteisvaikutuksesta aiheutuva laatta-elementin uuman vaakasuora poikittainen leikkausjännitys kaikista laataston kuormista, joiden vaikutus on alkanut liittovaikutuksen muodostumisen jälkeen. Se lasketaan kaavasta:

$$\tau_{vl} = \frac{3F_{w,l,Ed}}{2A_{we,1}} \beta_f; A_{we,1} = (h_{hc} - h_{ct}) b_{w,i} \quad (2)$$

missä

- $F_{w,\ell,Ed}$ on yhden uumakannaksen vaakasuoran poikittaisen leikkausvoiman mitoitusarvo,
 $A_{we,1}$ on yhden uumakannaksen tehollinen leikkautumisala,
 h_{hc} on laattaelementin poikkileikkauksen korkeus,
 h_{ct} on uumakannaksen levymäisen osan korkeus
 β_f on yli 50 mm olevasta onteloiden lisätäytöstä aiheutuva pienennysluku.

(3) Suhde $F_{w,\ell,Ed}/A_{we,1}$ lasketaan kaavasta

$$\frac{F_{w,\ell,Ed}}{A_{we,1}} = \frac{v_{\ell w} b_{hc}}{A_{V\ell}}; A_{V\ell} = \sum A_{we,1} = (h_{hc} - h_{ct}) \sum b_{w,i} \quad (3)$$

missä

- $v_{\ell w}$ on liittovaikutuksesta aiheutuva palkin leikkausvuon mitoitusarvo yhdellä puolen palkkia,
 b_{hc} on laattaelementin nimellisleveys.

3.3.2 Jännevoiman aiheuttama laattapoikkileikkauksen puristusjännitys σ_{cp} kriittisen leikkauksen kohdalla

(1) Puristusjännityksen σ_{cp} suuruus riippuu laatan poikkileikkauksesta, jännevälistä ja jännevoiman kehittymispituudesta ja se lasketaan SFS-EN-1992-1-1 kohdan 8.10.2.2 mukaan σ_{cp} määritetään uuman leikkauskestävyyden kannalta kriittisellä korkeudella y_{cr} kriittisessä leikkauksessa x_{cr} , missä jännevoima ei ole vielä kokonaan siirtynyt betonille.

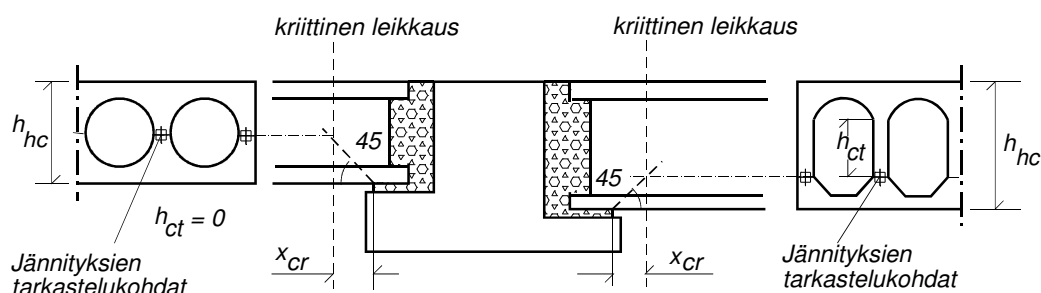
(2) Kriittisen leikkauksen paikka laatan päästä mitattuna riippuu laatan tukena toimivan palkin osan ominaisuuksista, mutta käytännössä tällä vaihtelulla ei ole merkittävää vaikutusta lopulliseen murtoehtoon ja palkkityypistä riippumatta x_{cr} voidaan määrittellä kuvan 2/3 osoittamalla tavalla.

(3) Puristusjännityksen σ_{cp} suuruus kriittisessä kohdassa esitetään liitteen B taulukossa 2/B eri laatta-poikkileikkauksille yhtä jännepunosta kohden,

$\sigma_{cp} < \frac{P}{A_{hc}} - \frac{Pe_p y_{cr}}{I_{hc}}$. P on jännevoiman täysi arvo, kun jännityshäviöt ovat tapahtuneet.

3.3.3 Kriittisen leikkauksen sijainti

(1) Kriittinen leikkaus, missä määrääviä leikkausjännityksiä tarkastellaan, sijaitsee etäisyydellä x_{cr} ontelolaatan tuen reunasta. Tässä normikortissa esitettyyn menetelmään liittyvät parametrit on määritetty laatan tuen reunasta 45°:en kulmassa kulkevan suoran ja jännityksien tarkastelukohdan leikkauspisteessä olevassa kriittisessä leikkauksessa. Tämän normikortin mukaisessa tarkastelussa sovelletaan ontelolaattastandardin SFS-EN-1168 kohdan 4.3.3.2.2.1 mukaisen 35°:en kulman sijasta 45°:en kulmaa. Kriittisen leikkauksen sijainti esitetään kuvassa 2/3.



Kuva 2/3 Kriittisen leikkauksen ja jännityksien tarkastelukohdan sijainti ontelolaatan päässä, $x_{cr} = (h_{hc} - h_{ct})/2$

3.4 Laatan uumaan poikittaisen leikkausvoiman aiheuttava palkin leikkausvuon mitoitusarvo v_{lw}

(1)P Leikkausvuon mitoitusarvoa laskettaessa otetaan huomioon kaikki liittovaikutuksen syntymisen jälkeen vaikuttavat laattojen ja palkin kuormat. Näihin kuuluvat laattojen päälle tulevan pintabetonin paino, eriaikaisesta asentamisesta tai väliaikaisesta tukemisesta aiheutuvat kuormat, jotka saattavat laattojen omanpainon tai osan siitä liittovaikutuksen piiriin sekä kaikki hyötykuormat.

(2)P Leikkausvuon oletetaan välittyvän kokonaan ontelolaattojen uuman leikkausvoimiksi, ellei voida luotettavasti osoittaa, että osa siitä välittyy suoraan laattojen yläosan kautta palkkiin.

(3) Leikkausvuon mitoitusarvo voidaan laskea eri vaikutuksien aiheuttamina osina, jotka lasketaan yhteen.

(4) Palkkiin suoraan välittyvä leikkausvuon voidaan erottaa leikkausvuon kokonaisarvosta käyttämällä hyötykuorman aiheuttaman poikittaisen leikkausvoiman laskemisessa pienennyskerrointa β_t .

(5) Leikkausvuon mitoitusarvo lasketaan kaavoista:

$$v_{lw} = \beta_b \left(v_{l1}^1 V_{B,1,Ed} + \beta_t v_{l2}^1 V_{B,2,Ed} \right)$$

$$V_{B,1,Ed} = \gamma_g \left(V_{B,top} + \alpha_F V_{B,Rprop} + \sum V_{B,1,imp} \right) \quad (4)$$

$$V_{B,2,Ed} = \gamma_g (1 - \alpha_F) V_{B,Rprop} + \sum \gamma_f V_{B,2,imp} + \gamma_q V_{B,q}$$

missä

- $\beta_b \leq 1$ on rakennetyyppikerroin kohdan 3.5.3 mukaisesti,
 $v_{\ell 1}^1$ on ensimmäisen vaiheen yksikköleikkausvuo,
 $v_{\ell 2}^1$ on toisen vaiheen yksikköleikkausvuo,
 α_F on 1, kun väliaikaiset tuet poistetaan ennen pintavalua ja 0 kun väliaikaiset tuet poistetaan vasta pintabetonin kovettumisen jälkeen,
 $V_{B,top}$ on pintabetonista aiheutuva palkin leikkausvoiman ominaisarvo,
 $V_{B,Rprop}$ on mahdollisten väliaikaisten tukien reaktioita R_{prop} vastaavan kuormituksen aiheuttama palkin leikkausvoiman ominaisarvo,
 $V_{B,1,imp}$ on palkin leikkausvoiman ominaisarvo vaiheessa 1 syntyvistä laattojen erilliskuormista ja palkilla suoraan olevista kuormista,
 $V_{B,2,imp}$ on palkin leikkausvoiman ominaisarvo vaiheessa 2 syntyvistä laattojen erilliskuormista ja palkilla suoraan olevista kuormista,
 $V_{B,q}$ on laataston hyötykuormasta aiheutuva palkin leikkausvoiman ominaisarvo,
 γ_f on γ_g tai γ_q kuormien $V_{B,2,imp}$ tyyppin mukaisesti,
 β_t on kohdan 3.5.2 mukainen pienennysluku.

- (6) Palkin leikkausvoiman ominaisarvot lasketaan palkin momentin nollakohdassa. Yksikköleikkausvuon $v_{\ell 1}^1$ ja $v_{\ell 2}^1$ arvojen laskemismenettely esitetään liitteessä A.

3.5 Pienennyslukujen β_f , β_t ja β_b suuruudet

(1)P Laattojen kestävyyksien mitoitusmalliin sisältyy nimellispituudeltaan 50 mm olevien tulppien vaikutus suoraan ja vain tätä pitempien tulppien vaikutus katsotaan kestävyyttä parantavaksi.

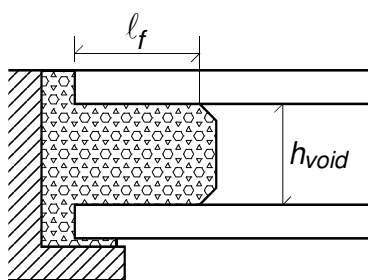
3.5.1 Onteloiden lisätäytöstä aiheutuva pienennysluku β_f

(1)P Onteloiden lisätäytöllä tarkoitetaan täyttöpituuksia, jotka ovat suurempia kuin 50 mm peruspituus.

(2) Jos täytön kokonaispituus on l_f , leikkausjännityksen τ_{ve} maksimipienennys saadaan, kun $l_f = l_{f0} = h_{void} =$ ontelon korkeus. Tätä vastaava pienennysluku on β_{f0} ja raja-arvojen välillä voidaan interpoloida suoraviivaisesti:

$$\beta_f = 1 - (1 - \beta_{f0}) \frac{l_f - 50}{l_{f0} - 50}, \text{ kuitenkin } \beta_f \geq \beta_{f0} \quad (5)$$

missä pituus l_f tarkoittaa kuvan 4/3 mukaista tehollista täyttöä, joka on yleensä pienempi kuin täytön rajoittimena toimivan tulpan ulottuma laatan päästä. Kerroin $\beta_{f0} = 0,7$ laattatyyppistä riippumatta (taulukko 2/B).



Kuva 4/3 Tehollinen ontelon täyttöpituus l_f

(3) Tähän normikorttiin ei sisälly pitempien täyttöjen kuin l_{f0} vaikutuksien osoittamisen mallia ja tällaisen vaikutuksen osoittamisen tulee tapahtua kokeellisesti tai muulla vähintään yhtä luotettavalla tavalla.

3.5.2 Pintabetonin vaikutus laatan kestävyyteen, pienennysluku β_t

(1) Pintabetonin vaikutuksien tarkastelussa tulee ottaa huomioon, että:

- Pintalaatta lisää liittovaikutuksesta aiheutuvaa palkin leikkausvuota, koska tehollinen laatan yläkuoren paksuus kasvaa. Samalla leikkausvuosta aiheutuva laatan uuman jännitys τ_{vl} kasvaa, jos koko lisääntyneen leikkausvuon annetaan välittyä laatan uumaan.
- Raudoittamalla pintalaatta palkin yli niin, että tämä raudoitus välittää osan leikkausvuosta suoraan palkin yläosaan, laatan uumalle välittyvä osuus pienenee ja tämä vaikutus otetaan huomioon käyttämällä pienennyslukua β_t , joka on pintalaatan raudoitussuhteen funktio.

(2)P Rakenteellinen pintalaatta, jolla on riittävä tartunta ontelolaatan kanssa ja jonka tehollinen paksuus on vähintään 40 mm, voi välittää palkille enintään leikkautumis-pintansa kestävyden $F_{tc,l,Rk}$ mukaisen voiman pituusyksikölle ja tämä on osa palkin ja laattojen päiden välisen leikkausliitoksen kestävydestä $F_{w,l,Rk} + F_{tc,l,Rk}$, kun

$F_{w,l,Rk}$ on uumakannaksien nimellinen leikkauskestävyys palkin pituusyksikölle vaakasuoran leikkautumisen suhteen.

$F_{tc,l,Rk}$ on pintabetonin leikkauskestävyys palkin pituusyksikölle palkin kyljen ja laatan pään välisessä pystyleikkauksessa.

(3) Pienennysluku β_t osoittaa laatan uumalle jäävää leikkausvuon osuutta

$$\beta_t = \frac{F_{w,l,Rk}}{F_{w,l,Rk} + F_{tc,l,Rk}} \quad (6)$$

(4) Kestävyiden osat voidaan laskea kaavoista:

$$F_{w,l,Rk} = \frac{2 A_{vl} f_{ctk,hc}}{3 b_{hc} \beta_f} \quad (7)$$

$$F_{tc,l,Rk} = A_{sv} f_{sk}, \text{ kuitenkin} \quad (8)$$

$$F_{tc,l,Rk} \leq 0,15 h_{c,top} f_{ck,tc}$$

missä

$A_{v\ell}$	on kaavan (3) mukainen pinta-ala,
$f_{ctk,hc}$	on ontelolaattabetonin ominaisvetolujuus,
A_{sv}	on pintabetonin laatan suuntaisen raudoituksen ala palkin yksikkö-pituudelle,
$h_{c,top}$	on pintabetonin paksuus,
f_{sk}	on raudoituksen ominaislujuus,
$f_{ck,tc}$	on pintabetonin ominaislujuus (lieriölujuus).

Kaavoissa (6) ... (8) käytetään aina ominaisarvoja, koska osavarmuusluvulla pienennettyjä mitoitusarvoja käytettäessä tulos on epävarmalla puolella.

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

3.5.3 Rakennetyypin vaikutus, pienennysluku β_b

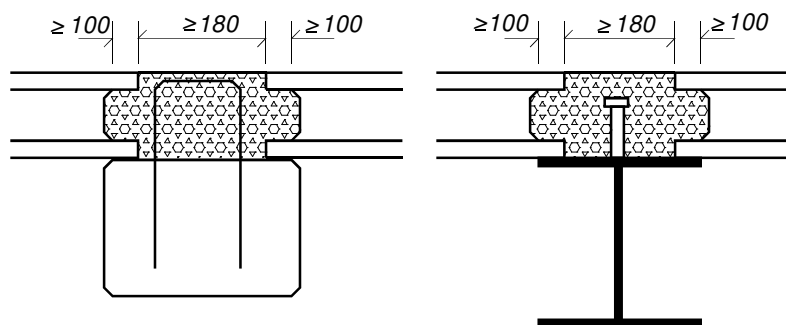
(1)P Rakennetyypin vaikutus voidaan ottaa huomioon laskettaessa palkin leikkausvuosta aiheutuvia rasituksia.

(2) Tavanomaisissa matalarakenneratkaisuissa, jotka ovat sisäkkäisiä ja joissa laatat tukeutuvat palkin vedetyille pinnoille, $\beta_b = 1$.

(3) Kun ontelolaatat tukeutuvat palkin yläpintaan siten, että laattojen päiden väliin jäävä betonivalu voidaan liittää palkin poikkileikkauksen toimivaksi osaksi, $\beta_b = 0,8$, muutoin $\beta_b = 1$.

(4) Laattojen päiden väliin jäävä betonivalu voidaan olettaa toimivaksi palkin osaksi, kun:

- laattojen päiden väliin jäävän valun leveys on vähintään 180 mm kuvan 5/3 mukaisesti,
- palkin ollessa betonia sen yläpinnan tulee olla karhennettu SFS-EN-1992-1-1 kohdan 6.2.5 (2) mukaiseksi, jolloin palkin ja lisäosan välinen liitos toimii SFS-EN-1992-1-1 kohdan mukaisena työsaumana,
- palkin ja sen lisävalun väliseen liitokseen mitoitetaan mekaaniset liittimet (tartuntahaat tai pulttiliittimet) kestäämään puristuslaipan koko plastinen voima,
- Ontelotäytön tehollinen pituus ℓ_f on vähintään 100 mm.



Kuva 5/3 Palkin yläpintaan tukeutuvat ontelolaatat ja toimivan betonivalun mitat

3.6 Ontelolaatan uumabetonin vetolujuuden mitoitusarvo $f_{ctd,hc}$

(1) Mitoitusarvo on

$$f_{ctd,hc,r} = \frac{f_{ctk,hc}}{1,35}; f_{ctk,hc} = 0,21f_{ck,hc}^{2/3} \quad (9)$$

3.7 Ontelolaatan uuman murtoehdon dimensioton muoto

(1) Lauseessa 3.2(3) oleva päävetojännitysheito voidaan esittää dimensiottomassa muodossa käyttämällä murtoehtofunktiota F_{fail} , jonka avulla esitettävä ontelolaattojen kestävyden mitoitusheito on

$$F_{fail} = \left(\frac{\tau_{cp} + \tau_{hc}}{f_{ctd,hc,r}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{vl}}{f_{ctd,hc,r}} \right)^2 - \frac{\sigma_{cp} + \sigma_{cM}}{f_{ctd,hc,r}} \leq 1 \quad (10)$$

missä jännitykset τ_{hc} ja τ_{vl} lasketaan kaavoista (1) ... (4) ottaen huomioon pienennyslukujen β_f ja β_t vaikutus kaavojen (5) ja (6) mukaisesti.

3.8 Laattojen jännepunosten tartunta

(1)P Laatan alapinnan pituussuuntaisen halkeilun aiheuttama punosten tartunta-kestävyyden pieneneminen otetaan huomioon niissä laatoissa, jotka sijaitsevat palkin maksimimomentin vaikutusalueella.

(2) Täksi alueeksi katsotaan väli, missä laattojen saumauksen kovettumisen jälkeen vaikuttavista mitoituskuormista aiheutuvasta palkin momentista laatan tukipinnalle syntyvä poikittainen vetojännitys $\sigma_{t,hc,Ed}$ ylittää mitoitusvetolujuuden $f_{ctd,hc}$. Vetojännitys lasketaan kaavasta

$$\sigma_{t,hc,Ed} = E_{hc} \left(\frac{M_{tc,Ed}}{(EI)_{com,1}} y_{b1} + \frac{M_{q,Ed}}{(EI)_{com,2}} y_{b2} \right) \quad (11)$$

missä

E_{hc} on ontelolaattabetonin kimmomoduuli,

$(EI)_{com,1}$ on 1. vaiheen liittorakenteen taivutusjäykkyys, liitteen A mukaisesti,

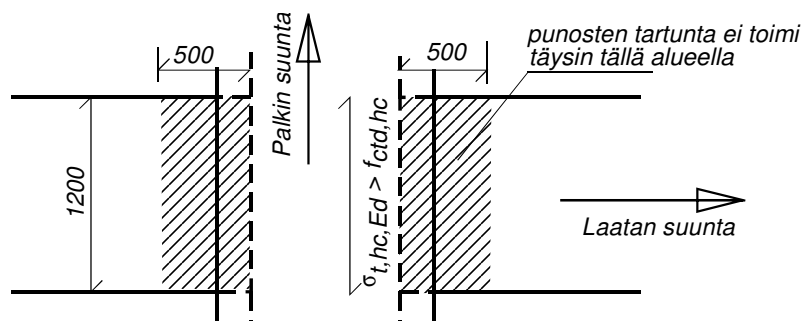
- $(EI)_{com,2}$ on 2. vaiheen liittorakenteen taivutusjäykkyys, liitteen A mukaisesti,
- y_{b1} on etäisyys 1. vaiheen liittopoikkileikkauksen painopisteakselilta laatan tukipinnan tasolle,
- y_{b2} on etäisyys 2. vaiheen liittopoikkileikkauksen painopisteakselilta laatan tukipinnan tasolle,
- $M_{tc,Ed}$ on pintabetonin painon, vaiheen 1 muiden pysyvien kuormien ja mahdollisen väliaikaisten tukien poiston aiheuttama palkin mitoitusmomentti,
- $M_{q,Ed}$ on laatan hyötykuorman, vaiheen 2 pysyvien kuormien, palkille suoraan vaikuttavien kuormien ja mahdollisen väliaikaisten tukien poiston aiheuttama palkin mitoitusmomentti.

Väliaikaisten tukien poiston vaikutus lasketaan mukaan momenttiin $M_{tc,Ed}$ tai $M_{q,Ed}$ sen mukaan, missä vaiheessa tämä vaikutus muodostuu.

- (3) Niissä laatoissa, joiden kohdalla $\sigma_{t,hc,Ed} > f_{ctd,hc}$, toimimattomien punosten määrä oletetaan taulukon 1/3 mukaiseksi.
- (4) Laatan pohjan pituussuuntaisen halkeilun aiheuttama tartuntakestävyiden pieneneminen otetaan huomioon olettamalla, että toimimattomissa punoksissa tartunta alkaa laatan päästä mitattuna 500 mm etäisyydeltä. Muut punokset ovat täysin toimivia ja niissä oletetaan olevan täysi tartuntalujuus.
- (5) Alapinnastaan halkeilleissa laatoissa ankkurointikestävyiden riittävyys ja ankkuroinnin vaikutus leikkauskestävyyteen osoitetaan toimivaa punosmäärää käyttäen kuten jäykälle tuelle tuetuissa laatoissa.

Taulukko 1/3 Laatan päässä 500 mm matkalla toimimattomien punosten määrä laatoissa, joiden kohdalla $\sigma_{t,hc,Ed} > f_{ctd,hc}$ (kuva 6/3)

Punoksia/uumakannas	1	2	3
Toimimattomat punokset/laatta, kpl	1		
Toimimattomat punokset/uumakannas, kpl	-	0,5	0,5



Kuva 6/3 Ontelolaatan pään toimivien punosten määrittely, kun $\sigma_{t,hc,Ed} > f_{ctd,hc}$

4. KÄYTTÖRAJATILA

(1)P Punosten korroosiosuojan riittävyys varmistetaan rajoittamalla punoksien kohdalla olevien halkeamien leveyksien suuruutta SFS-EN 1992-1-1 vaatimuksien mukaisesti (SFS-EN 1992-1-1 kansallinen liite, taulukko 7.1(FI)).

(2) Halkeamaleveyttä w_k vastaavana laatan tukipinnan venymänä ε_{cr} käytetään arvoa

$$\varepsilon_{cr} = (3w_k + 0,1) \times 10^{-3}$$

missä w_k on millimetrejä. Venymän ε_{cr} ja w_k vastaavuus esitetään taulukossa 1/4.

Taulukko 1/4: Laatan tukipinnan suurimman sallitun venymän ε_{cr} ja punoksen kohdalla olevan sallitun halkeaman leveyden w_k oletusvastaavuus.

$\varepsilon_{cr} \times 10^3$	w_k [mm]
0,4	0,1
0,7	0,2
1,0	0,3
1,3	0,4

(3) Laatan tukipinnan venymän $\varepsilon_{t,hc,Ek}$ mitoitusehto on (ks. kuva 1/4)

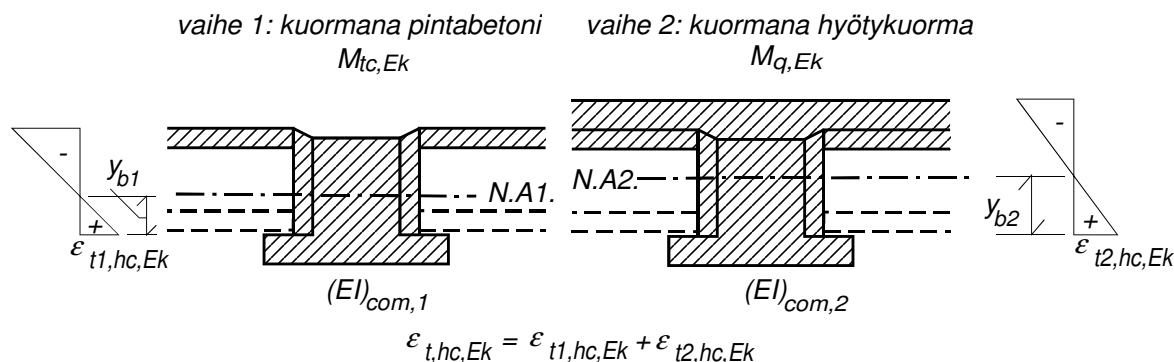
$$\varepsilon_{t,hc,Ek} = \varepsilon_{t1,hc,Ek} + \varepsilon_{t2,hc,Ek} = \frac{M_{tc,Ek}}{(EI)_{com,1}} y_{b1} + \frac{M_{q,Ek}}{(EI)_{com,2}} y_{b2} \leq \varepsilon_{cr} \quad (12)$$

missä $(EI)_{com,1}$ ja y_{b1} sekä $(EI)_{com,2}$ ja y_{b2} ovat samat kuin kohdassa 3.8(2) ja

$M_{tc,Ek}$ on pintabetonista, vaiheeseen 1 kuuluvista muista pysyvistä kuormista ja mahdollisesta väliaikaisten tukien poistosta aiheutuvan ominaiskuorman aiheuttama palkin suurin momentti,

$M_{q,Ek}$ on laatan hyötykuormasta, vaiheeseen 2 kuuluvista pysyvistä kuormista, palkille suoraan vaikuttavista kuormista ja mahdollisesta väliaikaisten tukien poistosta aiheutuvan ominaiskuorman tuottama palkin suurin momentti.

Väliaikaisten tukien poiston vaikutus lasketaan mukaan momenttiin $M_{tc,Ek}$ tai $M_{q,Ek}$ sen mukaan, missä vaiheessa tämä vaikutus muodostuu.



Kuva 1/4 Laatan tukipinnan venymän $\epsilon_{t,hc,Ek}$ tarkastelu

5 SUUNNITTELUN YLEISOHJEET JA RAKENTEELLISET OHJEET

(1)P Ontelolaattojen taivutuskestävyyden kannalta tarpeetonta ylipunostamista tulee välttää ylisuuresta jännevoimasta aiheutuvan haitallisen pitkäaikaiskäyrityksen vuoksi.

(2) Mitoitusleveyden kerroin k_{cd} on kalibroitu laattojen murtorajatilan perusteella ja sen perusteella arvioidut käyttörajatilan taivutusjäykkyydet voivat olla todellista pienempiä ja taipumat todellista suurempia. Palkin mitoituksessa voidaan tämän vuoksi käyttää palkin todellisia jäykkyyksiä.

(3) Jos laattojen ja palkin väliset liitokset ovat oleellisesti erilaiset kuin kertoimien k_{cd} määrittelyssä on oletettu, kyseisiä kertoimien arvoja voidaan käyttää vain, jos laattojen varmuus murtumisen suhteen ei pienene. Liitoksen vaarnat tulee sijoittaa lähelle laatan keskikorkeutta. Vaikutusta kestävyysarvioon liitteen C avulla.

(4)P Laattojen tai palkin rakennusaikaisen tuennan vaikutukset liittovaikutuksen aikaisten rasitusten lisääntymisessä tulee ottaa huomioon suunnittelussa.

(5)P Palkkien tai laattojen työnaikaisesta tukemisesta tulee olla maininta palkin asennuspiirustuksessa. Palkkeja tai laattoja ei työn aikana saa tukea asennus-suunnitelmasta poikkeavasti ilman suunnittelijan lupaa.

(6) Onteloiden täyttövalun peruspituus on 50 mm ja sitä ei katsota laatan pään vahvistamiseksi. Tätä suuremmat täyttöpituudet voidaan ottaa huomioon kestävyyttä parantavana. Täyttövalun lujuuden tulee olla vähintään C25/30. Laattojen päitä vahvistettaessa täytetään elementin kaikki ontelot samanlaiseen pituuteen.

(7) Pintabetonin pienin laattojen suuntainen rauditus, jonka katsotaan lisäävän laattojen kestävyyttä on $130 \text{ mm}^2/\text{m}$. Tästä riippumatta pintabetonissa tulee olla vähintään SFS-EN-1992-1-1 kohdan 9.2.1.1 (1) mukainen minimirauditus.

(8) Reiät, joiden laatan päästä oleva lähin reuna on kauempana kuin $3k_{cd}L_0$, eivät vaikuta laattojen ja palkin väliseen oletettuun yhteistoimintaan, mutta vaikuttavat laatan taivutus- ja halkeilukestävyysarvoon.

(9) Jos laatan päätä lähinnä oleva reiän reuna on lähempänä kuin $h_{hc} - h_{ct}$ laatan päästä ja reikä katkaisee ontelolaatan uumakannaksia, leikkausvuon mitoitusarvoa suurennetaan arvoon $v_{lw,op}$

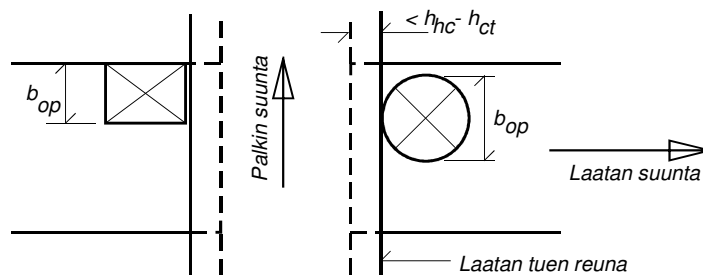
$$v_{\ell w,op} = v_{\ell w} \frac{L_0}{L_0 - 2b_{op}} \quad (13)$$

missä

$v_{\ell w}$ on leikkausvuon mitoitusarvo laatastossa, missä ei ole reikää,

b_{op} on reiän sivumitta palkin suunnassa, ks. kuva 1/5

L_0 on palkin momentin nollakohtien väli.



Kuva 1/5 Laatan pään lähellä olevat reiät, jotka vaikuttavat leikkausvuon suuruuteen

(10) Osalle laatan pintaa keskittyneen kuorman F aiheuttama laatan tukireaktio lasketaan lausekkeesta (kuva 2/5)

$$V_{hc,F} = \frac{L_{hc} - L_F}{L_{hc}} \frac{b_{hc}}{b_{ev}} F; \quad b_{ev} = b_F + 2(h_{c,top} + h_{cf}) + L_F \left(1 - \frac{L_F}{L_{hc}}\right), \quad (14)$$

kuitenkin aina $b_{ev} \geq b_{hc}$

missä

b_F on kuormitetun pinnan leveys,

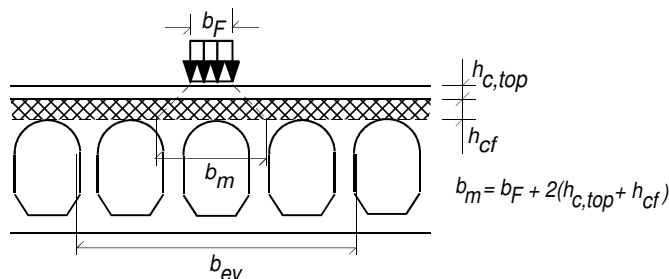
L_F on kuorman F keskipisteen etäisyys laatan tarkasteltavasta tuesta,

L_{hc} on laatan jännemitta,

b_{hc} on laattaelementin nimellisleveys (1200 mm),

h_{cf} on laatan yläkuoren pienin paksuus,

$h_{c,top}$ on pintabetonin paksuus.



Kuva 2/5 Pistekuorman jakaantuminen laatan tukireaktion laskemista varten

(11) Palkkeihin suositellaan tehtäväksi pysyvän kuorman taipumaa vastaava esikorotus.

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

5.1 Palkin mitoitus murtorajatilassa

(1) Palkki voidaan mitoittaa joko

(a) kohtaa 2(2)P noudattaen liittorakenteena kimmoteorian mukaan laskemalla palkkirakenteen kokonaismuodonmuutoskertymä ennen liittovaikutuksen alkamista ja vaiheen 1 ja 2 mukaisissa liittorakenteissa. Vetopuolella teräksen jännitys ei saa tällöin ylittää myötörajaa f_{yd} eikä puristuspuolella betonin jännitys puristuslujuutta f_{cd} .

tai

(b) tarkistamalla palkin taivutuskestävyys plastisuusteorian mukaan ilman liittovaikutusta palkin ja ontelolaataston välillä.

(2) Plastisuusteorian mukaista taivutuskestävyyttä laskettaessa tulee palkin alapinnan venymän ε_t (%) ja yläreunan puristuman ε_c (%) murtorajatilassa täyttää käyritymäehto

$$\frac{\varepsilon_c + \varepsilon_t}{h} \leq 2,7 \frac{\%}{m}$$

missä

ε_c on palkin yläpinnan puristuma murtorajatilan kuormasta,

ε_t on palkin alapinnan venymä murtorajatilan kuormasta,

h on palkin korkeus [m].

5.2 Ontelolaattojen tukipinta

(1)P Ontelolaatoille järjestetään riittävä tukipinta. Tällaiseksi tukipinnaksi voidaan katsoa standardin SFS-EN-1992-1-1 kohdan 10.9.5 mukaan määritetty tukipinnan nimellispiiteus.

(2) Jos laatan tukipintaa ei ole mitoitettu laatan täydelle tukireaktiolle, vaan osan tukireaktiosta oletetaan siirtyvän holvautumalla, tällaisen tukipinnan katsotaan täyttävän laattojen standardin SFS-EN-1992-1-1 kohdan 10.9.5 mukaiset tukipintavaatimukset, kun SFS-EN-1992-1-1 kohdan 6.2.2 (6) kertoimen β arvona käytetään arvoa 1 ja tukipinnan laskennallisena leveytenä laatan leikkauskestävyyttä laskettaessa käytetään arvoa 0.

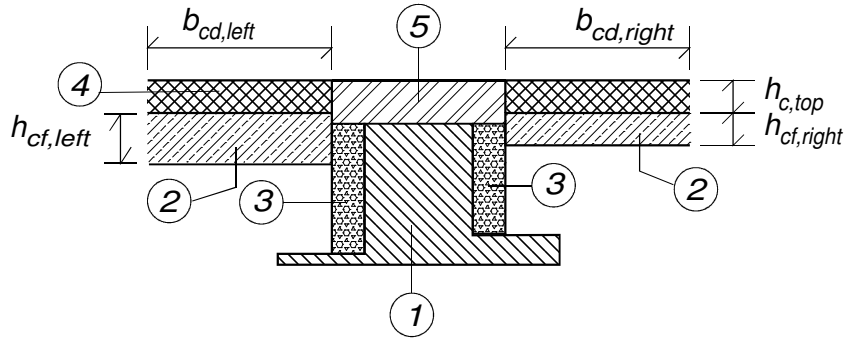
(3) Palkin sivupinnan ollessa vino voidaan tukipinnan leveytenä käyttää todellista leveyttä.

6 TAUSTA-ASIAKIRJAT JA VIITTAUKSET

- [1] M. Pajari (ed.), Design recommendations for hollow core slabs supported on beams. Technical Research Centre of Finland, Espoo. Internal Report RTE37-IR-2, 1995
- [2] M. Pajari ja L. Yang, Shear capacity of hollow core slabs on flexible supports. VTT Research Notes 1587, VTT Espoo 1994
- [3] M. Pajari, Shear resistance of prestressed hollow core slabs on flexible supports. VTT Publications 228. VTT Espoo 1995
- [4] M. V. Leskelä ja M. Pajari, Reduction of the Vertical Shear Resistance in Hollow-Core Slabs when Supported on Beams. Proceedings, Concrete 95 Conference, Vol. 1, Brisbane 1995, 559-568
- [5] M. Pajari ja H. Koukkari, Shear Resistance of PHC Slabs Supported on Beams I: Tests. ASCE Journal of Structural Engineering, September 1998, 1050-1061
- [6] M. Pajari, Shear Resistance of PHC Slabs Supported on Beams II: Analysis. ASCE Journal of Structural Engineering, September 1998, 1062-1073
- [7] fib bulletin 6, Special design considerations for precast prestressed hollow core floors. fib 2000
- [8] M.V. Leskelä, Design of Hollow Core Slabs Supported on Beams According to Finnish Code of Practice. Report RTL 0068E, University of Oulu, Engineering Mechanics Laboratory, Oulu 2003
- [9] VTT:n kokeet

LIITE A: Yksikköleikkausvuon $v^1_{\ell 1}$ ja $v^1_{\ell 2}$ laskeminen

A.1 Teholliset poikkileikkausosat yksikköleikkausvuon laskemisessa



Kuva 1/A Ontelolaattojen ja niitä kannattavan palkin muodostaman liittopoikkileikkauksen teholliset osat

Yksikköleikkausvuo lasketaan vaiheen 1 ja 2 arvoina ottaen huomioon mekaaniseen malliin liittyvät teholliset poikkileikkausosat kuvan 1/A mukaisesti. Vaiheen 1 liittopoikkileikkaus käsittää osat 1 – 3 ja vaiheen 2 lopullinen poikkileikkaus osat 1 – 4 tai 1 – 5:

- 1) Palkin runko käsittää varsinaisen elementtipalkin ja siihen kiinteästi liittyvät täyttöbetoniosat. Palkin rungon taivutusjäykkyyden tarkasteluperusteet palkkityypeittäin esitetään tämän liitteen kohdassa A.4 taulukossa 2/A.
- 2) Ontelolaatan yläkuoret, joiden kokonaisala on $b_{cd,left}h_{cf,left} + b_{cd,right}h_{cf,right}$, (reunapalkki: $b_{cd,left}$ tai $b_{cd,right} = 0$) tai (keskipalkki: $b_{cd,left} > 0$ ja $b_{cd,right} > 0$). Yläkuorien paksuutena käytetään mitoitusarvoa $h_{cf,d} = h_{cf,nom} + \frac{h_{hc}}{80}$, missä $h_{cf,nom}$ on laatan yläkuoren nimellispaksuus ja $h_{hc}/80$ on yläkuoren paksuuden keskimääräinen vaihtelu. Jos laattojen tuotannossa vaihtelu on suurempi, mitoituksessa on $h_{cf,d}$:n suuruutena käytettävä todellista kannasten paksuuden keskiarvoa.
- 3) Laatan pään ja palkin kyljen väliset saumavalut, joiden korkeus lasketaan laatan tukipinnalta palkin rungon yläpintaan. Nämä osat otetaan mukaan aina palkin rungon taivutusjäykkyyteen riippumatta niiden todellisesta kiinnittymisestä, koska leveyksiä $b_{cd,left/right}$ kokeista johdettaessa ne ovat olleet mukana kaikissa tapauksissa. Liittopalkin taivutusjäykkyyttä laskettaessa niitä tarkastellaan halkeilleena.
- 4) Pintabetoni laatan yläkuoren päältä tulee aina laskea mukaan vaiheen 2 liittopoikkileikkaukseen, ellei sen tartuntaa ontelolaattaan ole erikseen estetty, jolloin asetetaan $h_{c,top} = 0$.
- 5) Pintabetoni palkin rungon päällä välittää osan leikkausvuosta suoraan palkin yläosaan jos sillä on toimiva leikkausliitos palkin kanssa. Tämä osa tulee ottaa mukaan teholliseen poikkileikkaukseen vain, jos voidaan osoittaa, että sillä on riittävä leikkausliitos palkin kanssa ontelolaatan murtorajatilaan saakka.

Osien (2) ja (4) leveydet $b_{cd,left/right}$ ovat parametrejä, joiden perusarvot ovat toisaalta laattatyyppiin sidottuja ja toisaalta palkin rakennetyyppiin sidottuja parametrejä, jotka

on määritetty kokeellisesti tai yhtä luotettavalla tavalla analyttisesti. Taulukossa 1/A esitetään voimassa olevat hyväksytyt arvot muodossa $k_{cd} = b_{cd}/L_0$.

A.2 Lausekkeet yksikköleikkausvuon $v_{\ell i}^1$ laskemiseksi

Yksikköleikkausvuo on rakennetyypille ominainen poikkileikkausvakio. Se lasketaan erikseen vasemmalla (left) ja oikealla (right) puolen palkkia arvoina $v_{\ell i}^{1\text{ left/right}}$:

$$v_{\ell i}^{1\text{ left/right}} = \frac{(EA)_{cf,d,i}^{\text{left/right}} e_{o,cf,i}^{\text{left/right}}}{(EI)_{com,d,i}}, \quad i = \text{vaihe 1 tai vaihe 2}$$

$$(EA)_{cf,d,1}^{\text{left/right}} = E_{hc} b_{cd, \text{left/right}} h_{cf,d, \text{left/right}}, \quad E_{hc} = 22000 \left(\frac{f_{ck, hc} + 8 \text{ MPa}}{10 \text{ MPa}} \right)^{0,3}$$

$$(EA)_{cf,d,2}^{\text{left/right}} = (EA)_{cf,d,1}^{\text{left/right}} + E_{c,tc} b_{cd, \text{left/right}} h_{c, top}, \quad E_{c,tc} = 22000 \left(\frac{f_{ck, tc} + 8 \text{ MPa}}{10 \text{ MPa}} \right)^{0,3}$$

missä

E_{hc} on ontelolaattabetonin kimmokerroin,

$E_{c,tc}$ on pintabetonin kimmokerroin,

$(EA)_{cf,d,i}$ on vaiheen $i = 1$ tai 2 liittopoikkileikkauksen puristuslaipan aksiaalijäykkyys,

$(EI)_{com,d,i}$ on tehollisen liittopoikkileikkauksen taivutusjäykkyys vaiheessa i ottaen huomioon kuvan 1/A mukaiset puristuslaipat (2) ja (4) palkin molemmilta puolilta,

$e_{o,cf,i}^{\text{left/right}}$ on vaiheen $i = 1$ tai 2 liittopoikkileikkauksen painopisteen ja vasemmalla tai oikealla puolen olevan puristuslaipan painopisteen välinen etäisyys kuvan 2/A mukaisesti,

$f_{ck, hc}$ on ontelolaattabetonin ominaislujuus,

$f_{ck, tc}$ on pintabetonin ominaislujuus.

A.3 Liittopoikkileikkauksen taivutusjäykkyyden $(EI)_{com,d,i}$ laskeminen

Vaiheen $i = 1$ ja 2 liittopoikkileikkauksen taivutusjäykkyydet lasketaan ottaen huomioon teholliset osat kuvan 1/A mukaisesti yleisen Steinerin säännön mukaisesti:

$$S_{a,j} = a_j (EA)_j; \quad e_a = \frac{\sum_j S_{a,j}}{\sum_j (EA)_j}$$

$$(EI)_{com,d,i} = \sum_j (EI)_j + \sum_j (a_j - e_a)^2 (EA)_j$$

missä $j = 1 \dots 3$ vaiheen 1 liittopoikkileikkausta käsiteltäessä ja $j = 1 \dots 5$ vaiheen 2 liittopoikkileikkausta käsiteltäessä.

Kaavoissa

a_j	on osan j painopisteen sijainti tunnetun referenssiviivan suhteen,
$(EA)_j$	on osan j aksiaalijäykkyys $= E_j A_j$,
A_j	on osan j poikkileikkauksen ala,
E_j	on osan j kimmokerroin,
$(EI)_j$	on osan j taivutusjäykkyys oman painopisteakselinsa suhteen $= E_j I_j$,
I_j	on osan j jäyhyysmomentti oman painopisteakselinsa suhteen,
$S_{a,j}$	on osan j staattinen momentti referenssiviivan suhteen,
e_a	on liittopoikkileikkauksen painopisteakselin sijainti referenssiviivan suhteen.

Referenssiviivana voi toimia poikkileikkauksen ala- tai yläpinta. Koska alapinnan asema vaiheen 1 ja 2 poikkileikkauksessa on sama, kannattaa referenssiviivana käyttää alapintaa.

A.4 Ontelolaatan yläkuoresta muodostuvan puristuslaipan mitoitusleveys $b_{cd,left/right}$

Kuvassa 1/A näkyvät leveydet $b_{cd,left}$ ja $b_{cd,right}$ ovat vain ontelolaatan mitoitusta varten määritellyjä parametrejä, joiden suuruus on verrannollinen palkin momenttipinnan nollakohtien väliin L_0 :

$$b_{cd,left/right} = k_{cd,left/right} L_0$$

missä kertoimet $k_{cd,left/right}$ ovat palkkityypistä ja vasemmalla sekä oikealla puolella olevasta ontelolaattatyyppistä riippuvia lukuja, jotka esitetään taulukossa 1/A.

Taulukko 1/A Yhdellä puolen palkkia olevan puristuslaipan mitoitusleveyden kerroin k_{cd} palkkityypin (kuva 1/2 ja taulukko 1/2) ja laattatyyppin (kuvat 1/1 ja 2/1) mukaisesti

Laatta	h_{nc} mm	Palkit a-c	Palkki d	Palkki e	Palkki f	Palkki g	Palkki h	Palkki j	Palkki k	Palkki m
O15	150	0,0261	0,0101	0,0208	0,0172	0,0138	0,0210	0,0128	0,0146	0,0167
O20	200	0,0261	0,0101	0,0208	0,0172	0,0138	0,0210	0,0128	0,0146	0,0167
O27	265	0,0289	0,0114	0,0231	0,0192	0,0155	0,0233	0,0144	0,0164	0,0186
O32	320	0,0313	0,0125	0,0214	0,0208	0,0169	0,0253	0,0157	0,0178	0,0202
O37	370	0,0335	0,0134	0,0198	0,0223	0,0181	0,0271	0,0169	0,0191	0,0216
O40	400	0,0348	0,0140	0,0188	0,0232	0,0189	0,0281	0,0176	0,0199	0,0225
O50	500	0,0635	0,0324	0,0281	0,0438	0,0364	0,0522	0,0341	0,0335	0,0426

a) betonisuorakaidepalkki, b) betonileukapalkki1, c) teräspalkki, d) WHQ, e) Delta, f) MEK, g) LBL ja LB, h) Kvatro, j) A-palkki, k) betonileukapalkki2, m) BM-palkki

Puristuslaipan mitoitusleveyden kerroin k_{cd} on määritetty eri palkkityypeille olettaen palkin runkoon liittyvä betoni jäykkyystarkasteluja varten joko ehyeksi tai haljenneeksi taulukon 2/A mukaisesti. Muissa kuin tässä taulukossa erikseen määritellyissä tapauksissa palkin runkoon kuuluvaa betonia käsitellään haljenneena, jos palkki on jännittämätön ja halkeilemattomana jos palkki on jännitetty.

Taulukko 2/A Palkin runkoon kiinteästi liittyvän betonin tarkastelu jäykkyyksiä laskettaessa. Poikkileikkauksien erittely on kuvan 1/2 mukainen.

Tuotenimi		Betonin tarkastelutapa jäykkyyksiä laskettaessa
Betonipalkki	a	Halkeilematon
Betonileukapalkki1	b	Halkeilematon
Teräspalkki	c	Halkeilematon
WHQ-palkki	d	-
Deltapalkki	e	Haljennut
MEK-palkki	f	Haljennut
LBL ja LB-palkki	g	Halkeilematon
Kvatropalkki	h	Haljennut
A-palkki	j	Haljennut
Betonileukapalkki2	k	Halkeilematon

LIITE B: Ontelolaattojen uuman vaakasuora leikkautumisala $b_{hc}/A_{V\ell}$, onteloiden lisätäytöstä aiheutuva vaakasuoran leikkausjännityksen pienennysluku β_f ja tehollinen esijännitysvoiman aiheuttama puristusjännitys kriittisessä leikkauksessa

Taulukon 1/B laatimisessa käytetyt arvot vaakasuoralle leikkautumisalalle $A_{V\ell}$ ja laattaelementin uuman kokonaispaksuudelle $b_{w,hc}$ ovat ohjeellisia ja likimääräisiä ja niitä voidaan käyttää esisuunnittelussa. Mitoitusohjelmissa eri valmistajien laattatyypeille voidaan määritellä tarkemmat arvot.

Taulukko 1/B Ontelolaattojen suunnitteluparametrejä kuvien 1/1 ja 2/1 mukaisille laattapoikkileikkauksille

Laattatyyppi	n_{void}	h_{hc} [mm]	b_{void} [mm]	$b_{w,hc}$ [mm]	$b_{hc}/A_{V\ell}$ [1/mm]	h_{ct} [mm]	$h_{ct,nom}$ [mm]
O15	8	150	110	280	0,0286	0	20
O20	6	200	155	230	0,0261	0	22
O27	5	265	185	235	0,0193	0	40
O32	4	320	216	296	0,0203	120	35
O37	5	370	184	240	0,0200	120	62
O40	4	400	221	276	0,0183	162	40
O50	4	500	205	340	0,0150	265	50

Taulukko 2/B

Onteloiden lisätäytöstä aiheutuva vaakasuoran leikkausjännityksen $\tau_{V\ell}$ pienennyskerroin β_{f0} ja esijännityksen aiheuttama ohjeellinen betonin puristusjännitys $|\sigma_{cp}|$ yhtä punosta $\varnothing 9,3$ tai $\varnothing 12,5$ kohden uuman murtoehdon kannalta kriittisessä leikkauksessa

Laattatyyppi	O15	O20	O27	O32	O37	O40	O50
$I_{hc} \times 10^3$ [m ⁴]	0,2688	0,6307	1,5069	2,4980	4,1345	4,2922	8,6380
$S_{hc} \times 10^3$ [m ³]	2,375	4,240	7,519	9,371	14,015	13,507	19,397
A_{hc} [mm ²]	97700	118400	172300	187400	231400	207600	283700
h_{hc} [mm]	150	200	265	320	370	400	500
tukipituus [mm]	60	60	60	60	100	100	100
x_{cr} [mm]	135	160	193	167	251	216	217
y_{cr} [mm]	75	100	132	107	151	116	117
ℓ_{f0} [mm]	110	155	185	250	250	320	400
β_{f0}	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
$\sigma_{cp}/\sigma_{cp,max} \varnothing 9,3$	0,24	0,28	0,34	0,29	0,44	0,38	0,38
$\sigma_{cp}/\sigma_{cp,max} \varnothing 12,5$	0,18	0,21	0,25	0,22	0,33	0,28	0,28
$ \sigma_{cp/\varnothing 9,3} $ [MPa]	0,091	0,088	0,073	0,088	0,092	0,108	0,098
$ \sigma_{cp/\varnothing 12,5} $ [MPa]	0,120	0,117	0,097	0,116	0,123	0,143	0,136
$ \tau_{cp/\varnothing 9,3} $ [MPa]	0,036	0,023	0,005	0,022	0,002	0,027	0,035
$ \tau_{cp/\varnothing 12,5} $ [MPa]	0,048	0,031	0,007	0,029	0,003	0,036	0,047

Taulukossa 2/B esitetty laatan staattinen momentti S_{hc} on korkeuden y_{cr} yläpuolisen osan staattinen momentti laatan painopisteakselin suhteen.

Puristusjännityksen σ_{cp} ja halkaisujännityksen τ_{cp} arvot taulukossa 2/B perustuvat alkujännitykseen $\sigma_{p0} = 1000$ MPa, 20 % jännityshäviöihin ja jännevoiman osavarmuuslukuun $\gamma_{p,fav} = 0,9$ kriittisellä korkeudella y_{cr} laatan alapinnasta sekä jännityksen kehittymismatkan yläarvolla $l_{pt2} = 570$ mm ($\varnothing 9,3$) ja $l_{pt2} = 770$ mm ($\varnothing 12,5$). Taulukossa on esitetty kriittisen kohdan etäisyys x_{cr} laatan päästä nimellisellä tukipituudella.

LIITE C: Laattojen uuman vaakasuoraan poikittaiseen leikkausvoimaan vaikuttavat tekijät

Ontelolaatan uuman vaakasuoran poikittaisen leikkausjännityksen $\tau_{V\ell}$ suuruus riippuu laatan pään poikittaisesta leikkautumisesta. Rakennemallina tälle leikkautumiselle käytetään liittopalkkia, jonka osana laattojen päät ovat. Mallissa otetaan huomioon liittopalkin taivutusjäykkyys ja palkin puristuslaippana toimivan laatan yläkuoren sijainti palkkiin nähden. Laatan yläkuoren mitoitusleveys on palkin ja laattojen välisen liitoksen ominaisuuksista riippuva parametri. Pienennyslukuja β_f ja β_t

käytetään ottamaan huomioon laatan pään vahvistamisessa käytetyn onteloiden lisätätön vaikutus ja palkin yli raudoitetun pintabetonin vaikutus.

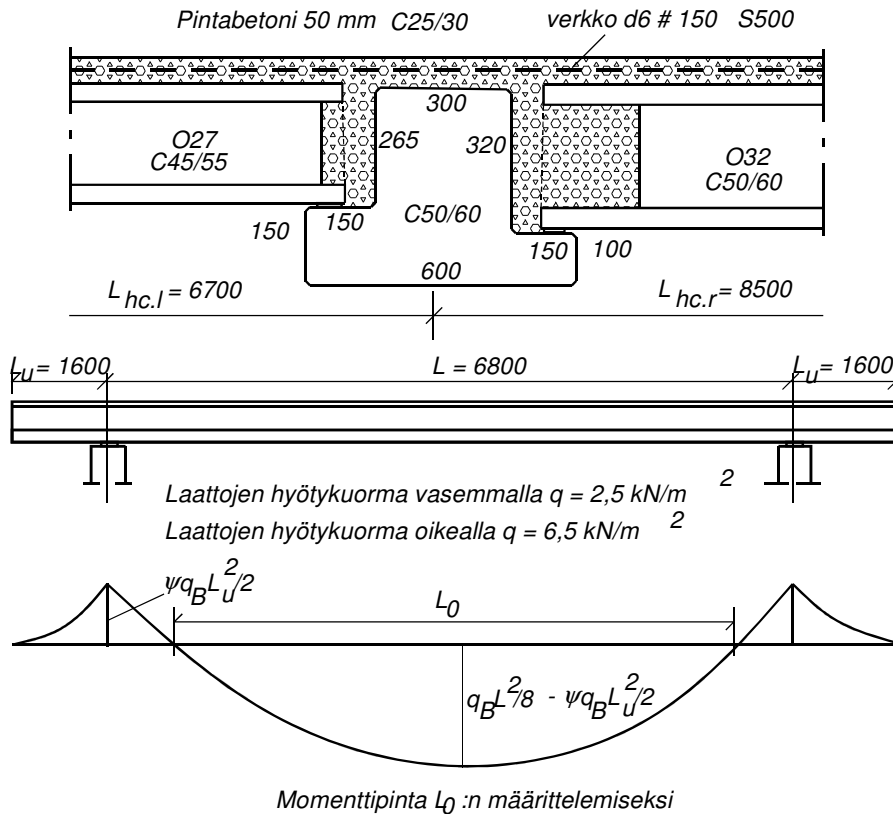
Yleissääntö on, että kaikki tekijät, jotka pienentävät laatan pään vaakasuoraa leikkautumista, pienentävät leikkausjännitystä τ_{vl} ja parantavat laatan kestävyyttä.

Taulukossa 1/C esitetään yhteenveto tunnetuista ominaisuuksista ja niiden vaikutuksesta palkeille tuettujen ontelolaattojen leikkauskestävyyteen.

Taulukko 1/C Tekijöitä jotka vaikuttavat palkeille tuettujen ontelolaattojen leikkauskestävyyteen

Ominaisuus	Vaikutus leikkauskestävyyteen	Huomautus
Palkin ja laattojen päiden välisen leikkausliitoksen vahvistaminen laatan alakuoren tasossa	Pienentää kestävyyttä	
Palkin ja laattojen päiden välisen leikkausliitoksen vahvistaminen laatan yläkuoren tasossa	Parantaa kestävyyttä	Esim. pintabetonin raudoittaminen palkin yli
Leikkausliitoksen liukumisen mahdollisuus palkin päissä	Parantaa kestävyyttä	Liukumisen mahdollistaminen alapinnan tasossa
Leikkausliitoksen halkeaman avautuminen	Heikentää kestävyyttä	Halkeamat avautuvat suuremmiksi pitkissä laatoissa
Palkin suuri leikkausjäykkyys	Parantaa kestävyyttä	Tämä pitää paikkansa vain silloin kun laatan yläkuorella on hyvä liitos palkkiin
Palkin jännevälin kasvattaminen	Pienentää kestävyyttä	Leikkausliitoksen tehokkuus kasvaa aina palkin jännevälin pidentyessä, vaikka liitoksen ominaisuudet eivät muutu. Tämä on yleinen liitto-rakenteiden ominaisuus
Onteloiden täyttöpituuden kasvattaminen	Parantaa kestävyyttä	Vaikutuksen kaikkia lainalaisuuksia ei tunneta
Palkin tekeminen jatkuvaksi siten, että ontelolaatat eivät osallistu jatkuvuuden aikaan-saamiseen	Parantaa kestävyyttä	Jatkuvuuden tai kiinnitysasteen todellisen suuruuden osoittaminen ei aina ole kiistatonta, jolloin suositellaan, että $L_0 = L$
Mekaanisen liitoksen järjestäminen palkin ja laattojen välille laattojen tukeutuessa palkin alalaidalle tai leualle	Parantaa tai pienentää kestävyyttä sen mukaan, miten liitos sijoitetaan	Parantaa, jos sijainti on laatan keskikorkeuden yläpuolella. Pienentää, jos sijainti on keskikorkeuden alapuolella.
Mekaanisen liitoksen järjestäminen palkin ja laattojen liittymän välille laattojen tukeutuessa palkin yläpinnalle	Parantaa kestävyyttä	Päällekkäisessä rakenteessa leikkausliitoksen parantaminen lisää laattojen kestävyyttä palkin taivutusjäykkyyden kasvaessa.

LIITE D: LASKENTAESIMERKKI



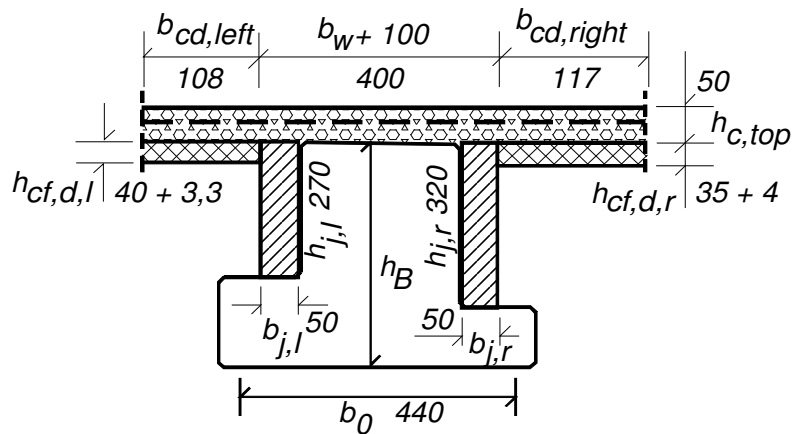
Kuva 1/I

Tarkistetaan esimerkkirakenteen ontelolaattojen murtoehto palkin vasemmalla ja oikealla puolella. Pituudet L_{hc} ovat palkkivälimittoja ja laattojen leikkausvoimat lasketaan olettaen laattojen jänneväliksi $L_{hc} - b_0$ (kuva 2/D).

1. Rakennetiedot:

- Palkin jänneväli $L = 6,8$ m, betonipoikkileikkaus on kuvan 1/D mukainen. Laattojen hyötykuormasta oletetaan 30 % pysyväksi ($\Leftrightarrow \psi = 0,3$) ja 70 % muuttuvaksi. Palkin hyötykuorma on $q_B = (q_l L_{hc,l} + q_r L_{hc,r})/2 = 36$ kN/m on kokonaan liikkuvaa.
- Palkki on jännitetty epäsymmetrinen sileäuumainen leukapalkki, betoni C50/60, $E_{c,B} = 37278$ MN/m², taivutusjäykkyys ehyen betonipoikkileikkauksen mukaan $(EI)_B = 93,9$ MNm², $(EA)_B = 6095$ MN, reunaetäisyys neutraaliakselilta alapintaan $e_{B,bot} = 176,7$ mm, yläpintaan $e_{B,top} = 243,3$ mm. Palkin korkeus $h_B = 420$ mm.
- Ulokkeet, $L_u = 1,6$ m, L_0 määräytyy vain palkin kentässä olevanhyötykuorman q_B perusteella $\Leftrightarrow L_0 = \sqrt{1 - 4\psi(L_u/L)^2} = 0,966L = 6,570$ m
- Laatat vasemmalla puolella O27, palkkiväli $L_{hc,l} = 6,7$ m, betoni C45/55, $E_{c,hc,l} = 36283$ MN/m², täyttöpituus $l_{fl} = 50$ mm, $h_{cf,nom,l} = 40$ mm, punostus $6\emptyset 12,5$.
- Laatat oikealla puolella O32, palkkiväli $L_{hc,r} = 8,5$ m, betoni C50/60, $E_{c,hc,r} = 37278$ MN/m², täyttöpituus $l_{fr} = l_{for} = 250$ mm, $h_{cf,nom,r} = 35$ mm, punostus $12\emptyset 12,5$.

- Raudoitettu pintabetoni 50 mm, C25/30, $E_{c,top} = 31476 \text{ MN/m}^2$, raudoitusverkko d6 # 150 (S500) $A_s = 189 \text{ mm}^2/\text{m}$,
 - Laataston hyötykuorma palkin vasemmalla puolella $q_l = 2,5 \text{ kN/m}^2$ ja oikealla puolella $q_r = 6,5 \text{ kN/m}^2$.
2. Puristuslaipan mitoitusleveydet (leukapalkin uumapinnat ovat sileät, ei vaarnausta), $b_{cd} = k_{cd}L_0$
 - $k_{cd,left} = 0,0164$, $k_{cd,right} = 0,0178$, $b_{cd,left} = 108 \text{ mm}$, $b_{cd,right} = 117 \text{ mm}$
 3. Puristuslaipan mitoituspaksuudet $h_{cf,d} = h_{cf,nom} + h_{cf}/80$, $h_{cf,d,l} = 43,3 \text{ mm}$, $h_{cf,d,r} = 39 \text{ mm}$
 4. Toimiva liittorakennepoikkileikkaus ontelolaattojen tarkastelua varten:



Kuva 2/D Toimiva liittopoikkileikkaus ontelolaattojen mitoitusta varten, b_0 = oletettu ontelolaattojen tukireaktioiden vaikutusviivojen väli

- Vaiheen 1 liittorakenteeseen kuuluvat kaikki muut osat, paitsi pintabetoniosat.
- Vaiheen 2 liittorakenteeseen kuuluvat kaikki kuvassa esitetyt osat.
- Molemmissa vaiheissa on eri neutraaliakselin sijainti.
- Vaiheiden 1 ja 2 taivutusjäykkyudet ja reunaetäisyydet lasketaan kaavoista (ks. huomautukset esimerkin lopussa):

$$(EA)_{hc,l} = E_{c,hc,l} b_{cd,left} h_{cf,d,l}; \quad (EA)_{hc,r} = E_{c,hc,r} b_{cd,right} h_{cf,d,r}$$

$$(EI)_{hc,l} = (EA)_{hc,l} h_{cf,d,l}^2 / 12; \quad (EI)_{hc,r} = (EA)_{hc,r} h_{cf,d,r}^2 / 12$$

$$(EA)_{j,l} = E_{c,top} b_{j,l} h_{j,l}; \quad (EA)_{j,r} = E_{c,top} b_{j,r} h_{j,r}$$

$$(EI)_{j,l} = (EA)_{j,l} h_{j,l}^2 / 12; \quad (EI)_{j,r} = (EA)_{j,r} h_{j,r}^2 / 12$$

$$(EA)_{com,1} = (EA)_B + (EA)_{hc,l} + (EA)_{hc,r} + (EA)_{j,l} + (EA)_{j,r} = 7363 \text{ MN}$$

$$S_{com,1} = (EA)_B e_{B,bot} + (EA)_{j,l} \left(h_B - \frac{h_{j,l}}{2} \right) + (EA)_{j,r} \left(h_B - \frac{h_{j,r}}{2} \right) \\ + (EA)_{hc,l} \left(h_B - \frac{h_{cf,d,l}}{2} \right) + (EA)_{hc,r} \left(h_B - \frac{h_{cf,d,r}}{2} \right) = 1468 \text{ MNm}$$

$$e_{com,1,bot} = \frac{S_{com,1}}{(EA)_{com,1}} = 199,3 \text{ mm}, \quad e_{com,1,top} = h_B - e_{com,1,bot} = 230,7 \text{ mm}$$

$$(EI)_{bot,1} = (EI)_B + (EI)_{j,l} + (EI)_{j,r} + (EI)_{hc,l} + (EI)_{hc,r} + (EA)_B e_{B,bot}^2 \\ + (EA)_{j,l} \left(h_B - \frac{h_{j,l}}{2} \right)^2 + (EA)_{j,r} \left(h_B - \frac{h_{j,r}}{2} \right)^2 + (EA)_{hc,l} \left(h_B - \frac{h_{cf,d,l}}{2} \right)^2 \\ + (EA)_{hc,r} \left(h_B - \frac{h_{cf,d,r}}{2} \right)^2 = 416,1 \text{ MNm}^2$$

$$(EI)_{com,1} = (EI)_{bot,1} - e_{com,1,bot}^2 (EA)_{com,1} = 123,6 \text{ MNm}^2$$

$$(EA)_{tc,l} = E_{c,top} b_{cd,left} h_{c,top}, \quad (EI)_{tc,l} = (EA)_{tc,l} \frac{h_{c,top}^2}{12}$$

$$(EA)_{tc,r} = E_{c,top} b_{cd,right} h_{c,top}, \quad (EI)_{tc,r} = (EA)_{tc,r} \frac{h_{c,top}^2}{12}$$

$$(EA)_{tc} = E_{c,top} h_{c,top} (b_w + b_{j,l} + b_{j,r}), \quad (EI)_{tc} = (EA)_{tc} \frac{h_{c,top}^2}{12}$$

$$(EI)_{bot,2} = (EI)_{bot,1} + (EI)_{tc,l} + (EI)_{tc,r} + (EI)_{tc} \\ + \left((EA)_{tc,l} + (EA)_{tc,r} + (EA)_{tc} \right) \left(h_B + \frac{h_{c,top}}{2} \right)^2$$

$$= 645,8 \text{ MNm}^2$$

$$S_{bot,2} = S_{bot,1} + \left((EA)_{tc,l} + (EA)_{tc,r} + (EA)_{tc} \right) \left(h_B + \frac{h_{c,top}}{2} \right) = 1975,9 \text{ MNm}$$

$$(EA)_{com,2} = (EA)_{com,1} + (EA)_{tc,l} + (EA)_{tc,r} + (EA)_{tc} = 8490 \text{ MN}$$

$$e_{com,2,bot} = \frac{S_{bot,2}}{(EA)_{com,2}} = 232,7 \text{ mm}$$

$$(EI)_{com,2} = (EI)_{bot,2} - (EA)_{com,2} e_{com,2,bot}^2 = 185,9 \text{ MNm}^2$$

$$e_{com,2,top} = h_B + h_{c,top} - e_{com,2,bot} = 247,3 \text{ mm}$$

- Puristuslaippojen painopiste-etäisyydet vaiheen 1 ja 2 neutraaliakseleilta:

$$e_{co,1,l} = e_{com,1,top} - \frac{h_{cf,d,l}}{2} = 204,0 \text{ mm}$$

$$e_{co,1,r} = e_{com,1,top} - \frac{h_{cf,d,r}}{2} = 211,2 \text{ mm}$$

$$e_{co,2,l} = e_{com,2,top} - \frac{(EA)_{tc,l} h_{c,top} / 2 + (EA)_{hc,l} (h_{c,top} + h_{cf,d,l} / 2)}{(EA)_{tc,l} + (EA)_{hc,l}} = 196,4 \text{ mm}$$

$$e_{co,2,r} = e_{com,2,top} - \frac{(EA)_{tc,r} h_{c,top} / 2 + (EA)_{hc,r} (h_{c,top} + h_{cf,d,r} / 2)}{(EA)_{tc,r} + (EA)_{hc,r}} = 200,9 \text{ mm}$$

- Yksikköleikkausvuot lasketaan erikseen vaiheessa 1 ja 2:

$$v_{l1,l}^1 = e_{co,1,l} \frac{(EA)_{hc,l}}{(EI)_{com,1}} = 0,2801 \frac{1}{\text{m}}, \quad v_{l2,l}^1 = e_{co,2,l} \frac{(EA)_{tc,l} + (EA)_{hc,l}}{(EI)_{com,2}} = 0,3767 \frac{1}{\text{m}}$$

$$v_{l1,r}^1 = e_{co,1,r} \frac{(EA)_{hc,r}}{(EI)_{com,1}} = 0,2906 \frac{1}{\text{m}}, \quad v_{l2,r}^1 = e_{co,2,r} \frac{(EA)_{tc,r} + (EA)_{hc,r}}{(EI)_{com,2}} = 0,3828 \frac{1}{\text{m}}$$

- Ontelotäyttöjen vaikutus, pienennysluku β_f :

Täyttöpituus vasemmalla puolella $\ell_{f,l} = 50$ mm, oikealla puolella $\ell_{f,r} = \ell_{f0,r} = 250$ mm $\Rightarrow \beta_{f,l} = 1, \beta_{f,r} = \beta_{f0,r} = 0,7$

- Pintabetonin vaikutus, pienennysluku $\beta_t = \frac{F_{w,\ell,Rk}}{F_{w,\ell,Rk} + F_{tc,\ell,Rk}}$

- $F_{w,\ell,Rk}$ lasketaan erikseen palkin vasemmalle ja oikealle puolelle:

$$f_{ctk,hc,l} = 0,7 \times 0,3 f_{ck,hc,l}^{2/3} = 2,66 \text{ MPa,}$$

$$A_{vl,l} / b_{hc} = 1 / 0,0193, \quad F_{w,\ell,Rk,l} = \frac{2 f_{ctk,hc,l} A_{vl,l}}{3 b_{hc} \beta_{f,l}} = 91,883 \text{ N/mm}$$

$$f_{ctk,hc,r} = 0,7 \times 0,3 f_{ck,hc,r}^{2/3} = 2,85 \text{ MPa,}$$

$$A_{vl,r} / b_{hc} = 1 / 0,0217, \quad F_{w,\ell,Rk,r} = \frac{2 f_{ctk,hc,r} A_{vl,r}}{3 b_{hc} \beta_{f,r}} = 125,252 \text{ N/mm}$$

$$F_{tc,\ell,Rk} = \frac{A_{sv} f_{sk}}{1000} = 94,25 \text{ N/mm} < F_{tc,\ell,Rk,max} = 0,125 h_{c,top} f_{ck,tc} = 172 \text{ N/mm}$$

$$\beta_{t,l} = \frac{91,883}{91,883 + 94,250} = 0,504, \quad \beta_{t,r} = \frac{125,252}{125,252 + 94,25} = 0,571$$

- Palkin leikkausvoimat:

$$V_{B,top} = \frac{1}{2}(L_{hc,l} + L_{hc,r}) \frac{L_0}{2} g_{tc} = 29,96 \text{ kN}$$

$$V_{B,Rprop} = 0, \quad \sum V_{B,1,imp}, \quad \alpha_F = 1$$

$$V_{B,1,Ed} = \gamma_g (V_{B,top} + \alpha_F V_{B,Rprop} + \sum V_{B,1,imp}) = 34,45 \text{ kN}$$

$$V_{B,q} = \frac{1}{2}(L_{hc,l} q_l + L_{hc,r} q_r) \frac{L_0}{2} = 118,26 \text{ kN}$$

$$V_{B,2,Ed} = \gamma_g (1 - \alpha_F) V_{B,Rprop} + \gamma_q V_{B,q} = 177,39 \text{ kN}$$

- Leikkausvuo palkin vasemmalla ja oikealla puolella: $v_{\ell w,l}$ ja $v_{\ell w,r}$ ($\beta_b = 1$)

$$v_{\ell w,l} = \beta_b (v_{\ell 1,l}^1 V_{B,1,Ed} + \beta_{t,l} v_{\ell 2,l}^1 V_{B,2,Ed}) = 43,3 \text{ N/mm}$$

$$v_{\ell w,r} = \beta_b (v_{\ell 1,r}^1 V_{B,1,Ed} + \beta_{t,r} v_{\ell 2,r}^1 V_{B,2,Ed}) = 48,8 \text{ N/mm}$$

- Leikkausjännitykset $\tau_{v\ell} = \frac{3}{2} \beta_t v_{\ell w} \frac{b_{hc}}{A_{v\ell}}$

$$\tau_{v\ell,l} = 1,5 \times 1 \times 43,3 \times 0,0193 = 1,254 \text{ MPa},$$

$$\tau_{v\ell,r} = 1,5 \times 0,7 \times 48,8 \times 0,0217 = 1,112 \text{ MPa}$$

- Leikkausjännitykset $\tau_{hc} = \tau_{hc,1} + \tau_{hc,2}$

$$\tau_{hc,1} = \frac{V_{hc,1,Ed} S_{hc}}{I_{hc} b_{w,hc}}, \quad \tau_{hc,2} = \frac{V_{hc,2,Ed} S_{hc+tc}}{I_{hc+tc} b_{w,hc}}, \quad b_{w,hc} = \sum b_{w,i}$$

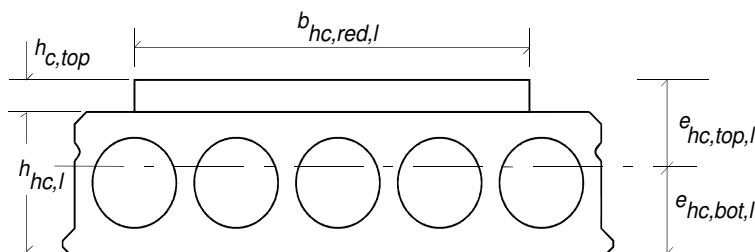
- Ontelolaatan hitausmomentit I_{hc} , I_{hc+tc} ja staattiset momentit S_{hc} , S_{hc+tc} :

$$I_{hc,l} = 1506,9 \times 10^{-6} \text{ m}^4, \quad I_{hc,r} = 2498 \times 10^{-6} \text{ m}^4, \quad A_{hc,l} = 0,1725 \text{ m}^2, \quad A_{hc,r} = 0,18742 \text{ m}^2$$

$$S_{hc,l} = 7519 \times 10^{-6} \text{ m}^3, \quad S_{hc,r} = 9371 \times 10^{-6} \text{ m}^3, \quad h_{hc,l} = 265 \text{ mm}, \quad h_{hc,r} = 320 \text{ mm}$$

$$b_{w,hc,l} = 235 \text{ mm}, \quad b_{w,hc,r} = 296 \text{ mm}, \quad b_{hc} = 1200 \text{ mm}$$

I_{hc+tc} ja S_{hc+tc} laskemista varten muunnetaan pintabetoni ja ontelolaatta 'samaa ainetta' olevaksi \Leftrightarrow pienennetään pintabetonin leveyttä, $b_{hc} \rightarrow b_{hc,red}$:



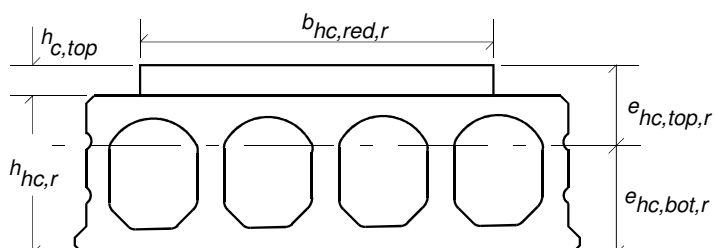
Palkin vasemman puolen laatta ja pintabetoni muutettuna ontelolaattabetonia olevaksi

$$b_{hc,red,l} = b_{hc} \frac{E_{c,top}}{E_{c,hc,l}} = 1041 \text{ mm}, \quad b_{hc,red,r} = b_{hc} \frac{E_{c,top}}{E_{c,hc,r}} = 1013 \text{ mm}$$

$$e_{hc,bot,l} = \frac{A_{hc,l}h_{hc,l} / 2 + b_{hc,red,l}h_{c,top}(h_{hc,l} + h_{c,top} / 2)}{A_{hc,l} + b_{hc,red,l}h_{c,top}} = 0,172 \text{ m}$$

$$S_{hc+tc,l} = S_{hc,l} + (h_{hc,l} - e_{hc,bot,l} + h_{c,top} / 2) b_{hc,red,l}h_{c,top} = 0,01440 \text{ m}^3$$

$$I_{hc+tc,l} = I_{hc,l} + A_{hc,l} \left(\frac{h_{hc,l}}{2} - e_{hc,bot,l} \right)^2 + b_{hc,red,l} \frac{h_{c,top}^3}{12} + b_{hc,red,l}h_{c,top} \left(h_{hc,l} - e_{hc,bot,l} + \frac{h_{c,top}}{2} \right)^2 = 0,002622 \text{ m}^2$$



Palkin oikean puolen laatta ja pintabetoni muutettuna ontelolaattabetonia olevaksi

$$e_{hc,bot,r} = \frac{A_{hc,r}h_{hc,r} / 2 + b_{hc,red,r}h_{c,top}(h_{hc,r} + h_{c,top} / 2)}{A_{hc,r} + b_{hc,red,r}h_{c,top}} = 0,199 \text{ m}$$

$$S_{hc+tc,r} = S_{hc,r} + (h_{hc,r} - e_{hc,bot,r} + h_{c,top} / 2) b_{hc,red,r}h_{c,top} = 0,01677 \text{ m}^3$$

$$I_{hc+tc,r} = I_{hc,r} + A_{hc,r} \left(\frac{h_{hc,r}}{2} - e_{hc,bot,r} \right)^2 + b_{hc,red,r} \frac{h_{c,top}^3}{12} + b_{hc,red,r}h_{c,top} \left(h_{hc,r} - e_{hc,bot,r} + \frac{h_{c,top}}{2} \right)^2 = 0,003873 \text{ m}^2$$

- Ontelolaatan leikkausvoimat jännityksien τ_{hc} laskemista varten

$$V_{hc,1l,Ed} = b_{hc} (g_{hc,l} + g_{tc}) \gamma_g \frac{(L_{hc,l} - b_0)}{2} = 22,35 \text{ kN},$$

$$V_{hc,2l,Ed} = b_{hc} q_l \gamma_q \frac{(L_{hc,l} - b_0)}{2} = 14,09 \text{ kN}$$

$$V_{hc,1r,Ed} = b_{hc} (g_{hc,r} + g_{tc}) \gamma_g \frac{(L_{hc,r} - b_0)}{2} = 29,76 \text{ kN},$$

$$V_{hc,2r,Ed} = b_{hc} q_r \gamma_q \frac{(L_{hc,r} - b_0)}{2} = 47,15 \text{ kN}$$

- Leikkausjännitykset τ_{hc} :

$$\tau_{hc,1,l} = \frac{V_{hc,1l,Ed} S_{hc,l}}{I_{hc,l} b_{w,hc,l}} = 0,475 \text{ MPa}, \quad \tau_{hc,1,r} = \frac{V_{hc,1r,Ed} S_{hc,r}}{I_{hc,r} b_{w,hc,r}} = 0,377 \text{ MPa}$$

$$\tau_{hc,2,l} = \frac{V_{hc,2l,Ed} S_{hc+tc,l}}{I_{hc+tc,l} b_{w,hc,l}} = 0,329 \text{ MPa}, \quad \tau_{hc,2,r} = \frac{V_{hc,2r,Ed} S_{hc+tc,r}}{I_{hc+tc,r} b_{w,hc,r}} = 0,690 \text{ MPa}$$

$$\tau_{hc,l} = \tau_{hc,1,l} + \tau_{hc,2,l} = 0,804 \text{ MPa}, \quad \tau_{hc,r} = \tau_{hc,1,r} + \tau_{hc,2,r} = 1,067 \text{ MPa}$$

- Ontelolaatan uuman mitoitusvetolujuus $f_{ctd,hc,r}$:

$$f_{ctd,hc,l} = \frac{f_{ctk,hc,l}}{\gamma_{c,hc}} = 1,971 \text{ MPa}, \quad f_{ctd,hc,r} = \frac{f_{ctk,hc,r}}{\gamma_{c,hc}} = 2,114 \text{ MPa}$$

CE-merkityillä ontelolaatoilla voidaan käyttää ontelolaattabetonin osavarmuuslukuna $\gamma_c = 1,35$

- Jännevoimasta aiheutuva tehollinen puristusjännitys σ_{cp} taulukon 2/B mukaan kriittisessä kohdassa:

vasemman puoleinen laatta: $x_{cr,l} = 192$ mm laatan päästä; $y_{cr,l} = 132,5$ mm laatan alapinnasta; punostus $6\emptyset 12,5$ ja

oikean puolen laatta: $x_{cr,r} = 167$ mm laatan päästä; $y_{cr,r} = 107$ mm laatan alapinnasta; punostus $12\emptyset 12,5$

$$|\sigma_{cp,l}| = 6 \times 0,097 = 0,582 \text{ MPa}, \quad |\sigma_{cp,r}| = 12 \times 0,116 = 1,392 \text{ MPa}$$

(Käytetyn punostuksen ja jännevoiman määrittelee pääsäännön mukaan laatan taivutuskestävyys. Tätä suurempi punostus aiheuttaa turhaa käyristymistä ylöspäin, jota hyötykuorma ei pysty estämään.)

- Jännevoimasta aiheutuva halkaisujännitys τ_{cp} kriittisessä leikkauksessa: punostus vasemman puolen laatoissa $6\emptyset 12,5$ ja oikean puolen laatoissa $12\emptyset 12,5$ (τ_{cp} taulukon 2/B mukaan)

$$\tau_{cp,l} = 6 \times 0,007 = 0,042 \text{ MPa}, \quad \tau_{cp,r} = 12 \times 0,029 = 0,348 \text{ MPa}$$

Edellä olevat jännitykset on laskettu ilman jännevoiman osavarmuusluvulla $\gamma_{p,fav} = 0,9$ ja kehittymismatkan pituuden yläarvolla l_{pt2} .

- Taivutusmomentista aiheutuva vetojännitys σ_{cM} kriittisessä kohdassa:

Vasemman puoleinen laatta:

$$M_{hc,1,l,Ed} = b_{hc}(g_{hc,l} + g_{tc})\gamma_g(L_{hc,l} - b_0 - x_l)\frac{x_l}{2} = 3,5 \text{ kNm}$$

$$M_{hc,2,l,Ed} = b_{hc}q_l\gamma_q(L_{hc,l} - b_0 - x_l)\frac{x_l}{2} = 2,22 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{cM,l} = \frac{M_{hc,1,l,Ed}(0,5h_{hc,l} - y_{cr,l})}{I_{hc,l}} + \frac{M_{hc,2,l,Ed}(e_{hc,bot,l} - y_{cr,l})}{I_{hc+tc,l}} = 0,04 \text{ MPa}$$

Oikean puoleinen laatta:

$$M_{hc,1,r,Ed} = b_{hc}(g_{hc,r} + g_{tc})\gamma_g(L_{hc,r} - b_0 - x_r)\frac{x_r}{2} = 4,0 \text{ kNm}$$

$$M_{hc,2,r,Ed} = b_{hc}q_r\gamma_q(L_{hc,r} - b_0 - x_r)\frac{x_r}{2} = 6,35 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{cM,r} = \frac{M_{hc,1,r,Ed}(0,5h_{hc,r} - y_{cr,r})}{I_{hc,r}} + \frac{M_{hc,2,r,Ed}(e_{hc,bot,r} - y_{cr,r})}{I_{hc+tc,r}} = 0,17 \text{ MPa}$$

□ Murtoehdon tarkistus:

$$F_{fail,l} = \left(\frac{\tau_{vl,l}}{f_{ctd,hc,rl}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{hc,l} + \tau_{cp,l}}{f_{ctd,hc,rl}} \right)^2 + \frac{\sigma_{cp,l} + \sigma_{cM,l}}{f_{ctd,hc,rl}} = 0,314 < 1 \text{ OK}$$

$$F_{fail,r} = \left(\frac{\tau_{vl,r}}{f_{ctd,hc,rr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{hc,r} + \tau_{cp,r}}{f_{ctd,hc,rr}} \right)^2 + \frac{\sigma_{cp,r} + \sigma_{cM,r}}{f_{ctd,hc,rr}} = 0,141 < 1 \text{ OK}$$

Päävetojännitys:

$$\sigma_{1,l} = \frac{\sigma_{cp,l} + \sigma_{cM,l}}{2} + \sqrt{\frac{(\sigma_{cp,l} + \sigma_{cM,l})^2}{4} + (\tau_{hc,l} + \tau_{cp,l})^2 + \tau_{vl,l}^2}$$

$$= 1,265 \text{ MPa} < f_{ctd,hc,r} = 1,971 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1,r} = \frac{\sigma_{cp,r} + \sigma_{cM,r}}{2} + \sqrt{\frac{(\sigma_{cp,r} + \sigma_{cM,r})^2}{4} + (\tau_{hc,r} + \tau_{cp,r})^2 + \tau_{vl,r}^2}$$

$$= 1,284 \text{ MPa} < f_{ctd,hc,r} = 2,114 \text{ MPa}$$

□ Huomautuksia suoritetusta laskennasta:

Palkin taivutusjäykkyys laskettiin halkeilemattomana betonipoikkileikkauksen mukaisesti ottamatta huomioon palkin raudoitusta. Tämä on varmallalla puolen oleva arvio. Liittopoikkileikkauksien taivutusjäykkyyttä laskettaessa saumavaluja käsiteltiin myös halkeilemattomana, koska sillä ei ole merkittävää vaikutusta yksikköleikkauksuon suuruuksiin. Kuitenkin pääsäännön mukaan näitä saumavaluja voidaan tarkastella halkeilleena.

NIMELLISARVOILLA

Taulukko 2/B

Onteloiden lisätäytöstä aiheutuva vaakasuoran leikkausjännityksen τ_{ve} pienennyskerroin β_{f0} ja esijännityksen aiheuttama ohjeellinen betonin puristusjännitys $|\sigma_{cp}|$ yhtä punosta $\varnothing 9,3$ tai $\varnothing 12,5$ kohden uuman murtoehdon kannalta kriittisessä leikkauksessa

Laattatyyppi	O15	O20	O27	O32	O37	O40	O50
$I_{hc} \times 10^3$ [m ⁴]	0,2688	0,6307	1,5069	2,4980	4,1345	4,2922	8,6380
$S_{hc} \times 10^3$ [m ³]	2,375	4,240	7,519	9,371	14,015	13,507	19,397
A_{hc} [mm ²]	97700	118400	172300	187400	231400	207600	283700
h_{hc} [mm]	150	200	265	320	370	400	500
tukipituus [mm]	60	60	60	60	100	100	100
x_{cr} [mm]	135	160	193	167	251	216	217
y_{cr} [mm]	75	100	132	107	151	116	117
l_{f0} [mm]	110	155	185	250	250	320	400
β_{f0}	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
$\sigma_{cp}/\sigma_{cp,max} \varnothing 9,3$	0,28	0,34	0,40	0,35	0,53	0,45	0,46
$\sigma_{cp}/\sigma_{cp,max} \varnothing 12,5$	0,21	0,25	0,30	0,26	0,39	0,34	0,34
$ \sigma_{cp/\varnothing 9,3} $ [MPa]	0,12	0,117	0,100	0,117	0,123	0,144	0,131
$ \sigma_{cp/\varnothing 12,5} $ [MPa]	0,160	0,156	0,129	0,155	0,163	0,191	0,171
$ \tau_{cp/\varnothing 9,3} $ [MPa]	0,048	0,031	0,007	0,029	0,003	0,036	0,047
$ \tau_{cp/\varnothing 12,5} $ [MPa]	0,064	0,041	0,009	0,038	0,004	0,048	0,062

Taulukossa 2/B esitetty laatan staattinen momentti S_{hc} on korkeuden y_{cr} yläpuolisen osan staattinen momentti laatan painopiste akselin suhteen.

Puristusjännityksen σ_{cp} ja halkaisujännityksen τ_{cp} arvot taulukossa 2/B perustuvat alkujännitykseen $\sigma_{P0} = 1000$ MPa, 20 % jännityshäviöihin ja ilman jännittämisen osavarmuuslukua kriittisellä korkeudella y_{cr} laatan alapinnasta sekä jännityksen kehittymismatkan perusarvolla $l_{pt} = 477$ mm ($\varnothing 9,3$) ja $l_{pt} = 641$ mm ($\varnothing 12,5$). Taulukossa on esitetty kriittisen kohdan etäisyys x_{cr} laatan päästä nimellisellä tukipituudella.

Jännevoiman aiheuttama puristusjännitys lisää uuman leikkauskestävyyttä, mutta halkaisujännitys puolestaan alentaa sitä. Jännevoiman kehittymismatka l_{pt} vaikuttaa kumpaankin suureeseen; lyhyt kehittymismatka johtaa kriittisessä kohdassa suurempaan puristusjännitykseen ja suurempaan halkaisujännitykseen. Laskennassa käytettävä jännevoiman osavarmuusluku ($\gamma_{p,fav} = 0,9$ tai $\gamma_{p,unfav} = 1,2$) sekä jännevoiman kehittymismatkan pituus (ala-arvo $l_{pt1} = 0,8l_{pt}$ tai yläarvo $l_{pt2} = 1,2l_{pt}$) on valittava siten, että saavutetaan leikkauskestävyyden kannalta määräävin tapaus.

Yleensä jännevoiman vaikutus on edullinen, joten laskennassa käytettävä jännevoiman osavarmuusluku $\gamma_{p,fav} = 0,9$ ja jännevoiman kehittymismatkan yläarvo l_{pt2} . Ontelolaatalla O50 suurimmilla punosmäärillä voi jännevoiman vaikutus voi halkaisujännitysten seurauksena olla myös epäedullinen.