

Uutta tietoa raudoitusten limijatkosten lujuudesta ja muodonmuutoskyvystä

Jukka Haavisto, DI, Tampereen yliopisto
jukka.haavisto@tuni.fi

Anssi Laaksonen, TkT, professori,
Tampereen yliopisto
anssi.laaksonen@tuni.fi

Toisen sukupolven Eurokoodien betonirakenteiden mitoitus käytännöllämpötilassa koskeva osa (prEN 1992-1-1 D7) uudistaa betonirakenteiden mitoitus. Raudoitteiden ankkurointipituudet ja limijatkokset on yksi aihealueista, johon on uudistuksen myötä tulossa oleellisia muutoksia. Muutosten yhteydessä on todettu olevan tarve saada lisää kokeellisia tutkimustuloksia. Tässä artikkelissa esitetty Tampereen yliopistossa toteutettu laaja koeohjelma on suunniteltu yhteistyössä Eurokoodin betoniosan uudistusta koordinoivan työryhmän (CEN/TC250/SC2/WG1) ja kansainvälisen betonijärjestön fib (International Federation for Structural Concrete) tieteellisen ryhmän "TG2-5 Bond and material models" kanssa.

1. Tausta

Harjaterästen kuljetuksen ja raudoitus-työn sujuvuuden varmistamiseksi rakenteisiin asennettavia harjateräksiä joudutaan usein jatkamaan. Yksinkertaisin tapa tehdä raudoitetankojen välinen liitos on niin sanottu limijatkos, jossa kaksi raudoitetankoa limitetään riittävältä pituudeltaan siten, että raudoiteteräksessä vaikuttavat voimat pystyvät välittymään harjateräksen ja betonin välisen tartunnan avulla tangolta toiselle.

Jos taivutettu rakenne murtuu vetorasetussa tangossa olevan limijatkoksen takia, tapahtuu murto betonipeitteen lohkeamismurtona tai puhtaana tartuntamurtona. Tapah- tuvaan murtotapaan vaikuttavat oleellisesti tankoja ympäröivän betonipeitteen paksuus ja

limijatkoksen pituus. Mikäli limijatkos (tai ankkurointi) joudutaan sijoittamaan lähelle poik- kileikkausta, jossa rakenteen murtorajatilassa vetoterästen venymä ylittää myötövenymän, tulee limijatkoksen suunnitteluun kiinnittää erityistä huomiota. Riittävän muodonmuu- tos- kyvyn aikaansaamiseksi ei välttämättä riitä, että limijatkos on mitoitettu pelkästään välittämään terästen myötövoimaa vastaavan rasituksen, vaan jatkoksella tulee olla myös riit- tävä muodonmuutoskyky teräksen myötörajan saavuttamisen jälkeen. Tällainen tilanne voi muodostua esimerkiksi momenttirasitusten jakautuessa jatkuvassa palkissa uudelleen, tai esimerkiksi maanjäristysmitoituksessa, joka ei ole tosin Suomen olosuhteissa käytännössä tarkasteltava tilanne.

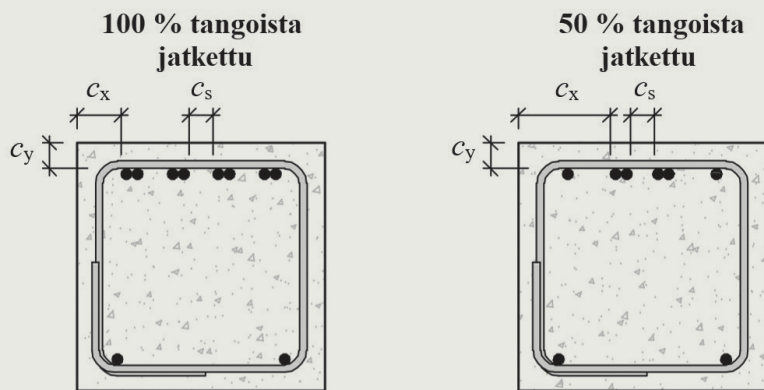
Limijatkosten mitoitus uudistuu tuoreim- man Eurokoodiluonnoksen perusteella täysin, sillä mitoituksessa ollaan luopumassa monille suunnittelijoille tutuista α -kertoimista. Tilalle tuleva mekaaninen malli sisältää muuttujia suuren määrän koetuloksia sisältävästä tie- tokannasta.

Uudistusta valmistelemissä työryhmissä on noussut esiin tarve saada vielä lisää kokeel- lista näyttöä limijatkosten kestävyyksistä ja etenkin limijatkospituuden vaikutuksesta rakenteen plastiseen muodonmuutoskykyyn, mitä tarvitaan esimerkiksi rasitusten uudel- leen jakautumisen yhteydessä. Suomea näissä työryhmissä edustaa professori *Anssi Laakso- nen*, jonka vetämänä on Tampereen yliopis- tossa toteutettu laaja limijatkoksen toimintaa

1 Koepalkin vedetyn pinnan raudoitus.



1



2 Koekappaleiden poikkileikkaukset.

selvittävä kokeellinen tutkimushanke. Tutkimus on rahoitettu betonirakenteiden suunnittelun kehittämisen tukemiseksi tarkoitetusta Betoniteollisuus ry:n Elementtivaliokunnan, SBK-säätiö sr:n, Suomen Betoniyhdistys ry:n ja Talonrakennusteollisuus ry:n Tampereen yliopiston Rakennetun ympäristön tiedekunnan Betoni- ja siltarakenteiden tutkimusryhmälle lahjoittamasta apurahasta.

Tutkimuksen tuloksia esitetään 14.–16.6.2021 etäyhteyksin järjestettävässä *fib* Symposium 2021:ssä. Tämä artikkeli on kirjoitettu pääosin konferenssijulkaisussa olevan artikkelin [1] pohjalta, mikä keskittyy limijatkosten lujuuteen. Tuloksista on juuri valmistumassa myös artikkeli kansainväliseen lehteen, mikä käsittelee enemmän muodonmuutoskykyä.

2. Kokeellinen tutkimus

Yleistä

Tutkimuksessa koekuormitettiin yhteensä 40 teräsbetonipalkkia, joissa muutettiin limijatkospituutta, raudoitustankojen halkaisijaa ja limijatkettujen tankojen osuutta. Palkkien koekuormitukset toteutettiin nelipistetaivutuksena, jossa limijatkokset oli sijoitettu jännevälin keskelle. Tällöin limijatkosta rasitti ulkoisen kuorman aiheuttama taivutusmomentti ilman leikkausvoimaa.

Koekappaleet

Neliöpoikkileikkauksen omaavissa palkeissa oli neljä raudoitettankoa ($f_R = 0,08–0,09$), jonka myötä palkkien geometrinen raudoitussuhde oli noin $\rho = 0,007$. Osassa palkeista kaikki neljä tankoa oli limijatkettu samassa poikkileikkauksessa, osassa palkeista pelkästään kaksi sisempää tankoa. Lisäksi jokaisesta tutkittavasta tankokoosta valmistettiin ja testattiin myös niin sanottu referenssipalkki, jossa ei ollut lainkaan limijatkoksia. Tutkitut tangot olivat 12, 16, 20 ja 25 mm. Palkkien sivumitta

ja jänneväli vaihteli käytetyn tangon mukaan siten, että kaikilla palkeilla dimensiot suhteessa harjateräksen halkaisijaan olivat käytännössä samat. Tosin suojabetonipaksuutena kaikilla palkeilla käytettiin vakioarvoa $c = 20$ mm, joka vastaa limijatkoksen kestävyys kannalta hyvin mitoittavaa tilannetta.

Palkkien poikittaisraudoitteena käytettiin umpihakoja, joiden jakoväli oli vakio koko palkin matkalla. Kuitenkin siten, että limijatkoksen ensimmäinen haka asetettiin enimmillään 50 mm etäisyydelle limijatkoksen päästä. Tällöin hakajako limijatkoksessa poikkiesi osassa koekappaleista hieman muista osista palkkia. Poikittaisraudoituksen määrä oli jokaisessa palkkikoossa keskenään suunnitelleen vakio suhteessa palkin leikkausvoimarasitukseen taivutusmomenttikestävyyttä vastaavassa tilanteessa.

Palkit valettiin pumppuvaluna neljässä 10 palkin erässä käyttäen betonia, joka vastasi keskimäärin lujuusluokkaa C30/37, ja jossa maksimiraekoko oli 16 mm. Palkkien raudoitteina käytettiin B500B-luokan harjateräksiä. Palkkien valu tehtiin siten, että limijatkokset olivat lähinnä muotin pohjaa, tällöin limijatketuille tangoille voitiin otaksua hyvät tartuntaolosuhteet. Palkkien muotit purettiin 14 vuorokauden ikäisenä, johon asti palkkien yläpinta oli myös suojattuna muovikalvolla.

Koekuormituksia varten valetut palkit käännettiin 180 astetta ympäri, jolloin limijatkokset sijaitsivat taivutuskokeessa yläpinnassa, joka mahdollisti tutkittavan alueen paremman seurannan. Palkkien kuormitushetkellä betoni oli saavuttanut vähintään 28 vuorokauden iän. Kuormitushetken betonin puristuslujuus ja halkaisuvetolujuus määritettiin valulieriöistä ja koekuormitettujen palkkien vähiten rasitetuimmista osista poratuista rakennekoekappaleista.

Koekappaleet, joissa mukana oli limijatkettuja tankoja nimettiin tunnuksin Bxx-yy-zzz ja referenssikoekappaleet tunnuksin Bxx-REF, joissa

- xx on tangon halkaisija
- yy on limijatkoksen suhteellinen pituus (l_b/ϕ)
- zzz on limijatkettujen tankojen osuus (050→50%; 100→100%)

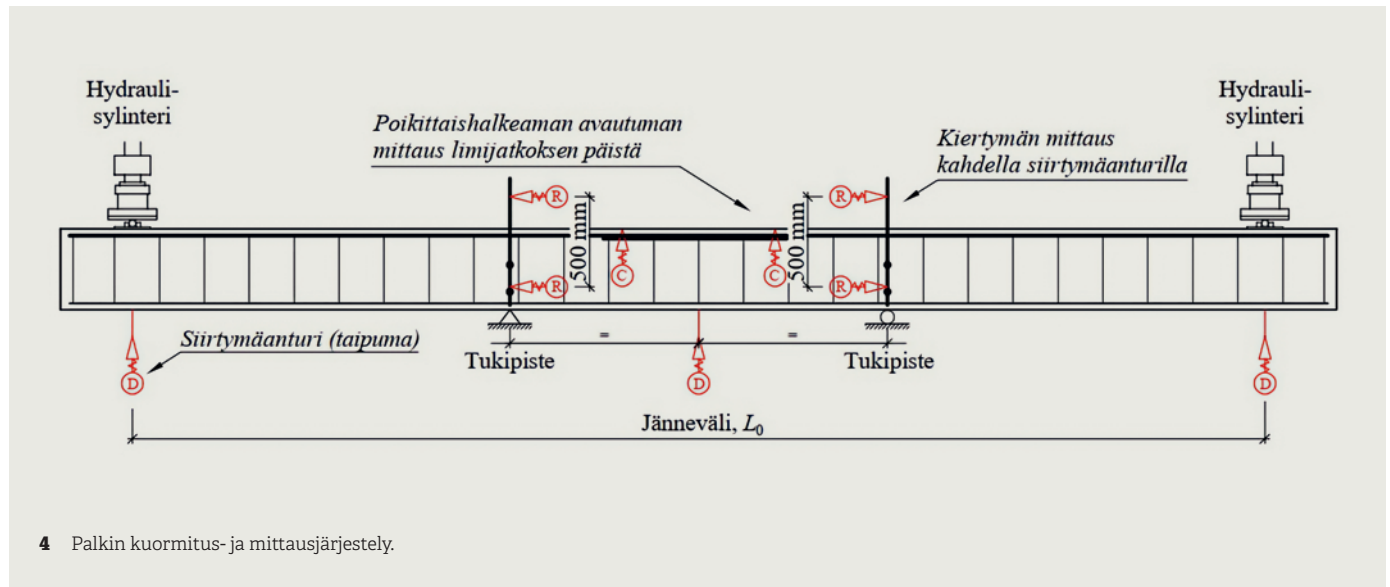
Kuormitus- ja mittausjärjestelyt

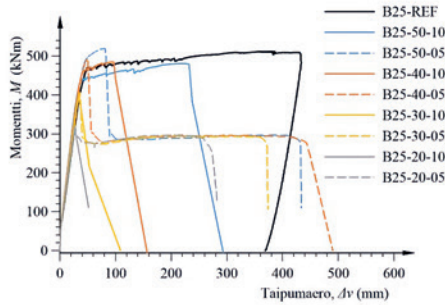
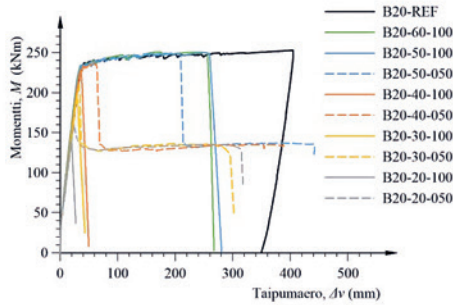
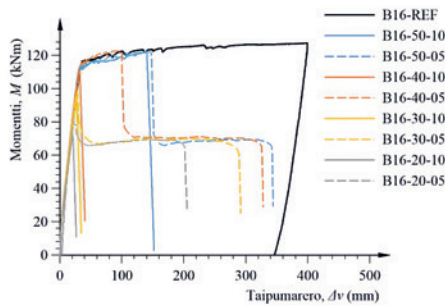
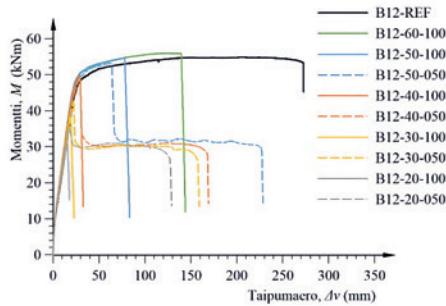
Palkkien koekuormitukset toteutettiin kahdella siirtymäohjatulla hydraulisylinterillä, jotka kuormittivat koekappaleita palkkien päistä. Kuormitusta ei lopetettu vielä limijatkoksen murruttua, vaan sitä jatkettiin edelleen, jotta voitiin tehdä havaintoja myös palkkien jälkikirittisestä käyttäytymisestä.

Voimamittauksen lisäksi palkin muodonmuutoksia mitattiin usealla eri menetelmällä ja useasta eri kohtaa. Oleellisimpina näistä mainittakoon palkin taipuman mittaus kolmesta mittauskohdasta, palkin kiertymän mittaus tukipisteistä ja limijatkettujen terästen muodonmuutosten mittaukset tankoihin asennettujen venymäliuskojen avulla. Palkin mittaus- ja kuormitusjärjestelyjä on esitetty kuvassa 4.

3. Koetulokset

Kaikilla koekappaleilla, joilla kuormituksen loppuvaiheessa saavutettiin limijatkoksen murtuminen, tapahtui se betonipeitteen lohkeamisena. Tämä oli koekappaleissa käytetyn betonipeite-pääteräs-suhteen (c/ϕ) perusteella murtotapana odotettu, sillä limijatkoksen murtotavan on todettu vaihtuvan tartuntamurrokseksi vasta, kun $c/\phi > 3.5$. Referenssipalkeilla koekuormitus päätettiin, kun saavutettiin taivutusmurto tai kuormituksissa käytettyjen hydraulisylinterien maksimi-iskunpituus (400 mm). Myös niissä koekappaleissa,





joissa kuormitus lopetettiin iskunpituuden saavuttamisen takia, oli havaittavissa palkin puristuspinnan selvää murtumista. Siirtymäohjatun kuormituksen luonteen ja alhaisen taiputusraudoitussuhteen takia selkeää ulkoisen kuorman romahtamista ei kaikilla referenssipalkeilla kuitenkaan havaittu.

Kaikissa koekappaleissa taipumat olivat suuria, koska raudoitussuhde taiputukselle oli alhainen. Plastisen kiertymän osalta raudoitussuhde on siinä suuruusluokassa, että sillä saadaan rakennosalle suurimmat plastiset kiertymät. Näin jatkosalueen plastiset kiertymät saatiin suuriksi ja tankojen venymät lähelle teräksen murtovenymää. Korkeammalla raudoitussuhteella taipumat ja venymät olisivat pienempiä.

Palkin pääteräksiä ympäröivä sulkuraudoitus vähentää poikkileikkauksen poikittaista laajenemista (nk. *confinement*-vaikutus, laajenemista estävä raudoite / sulkuraudoite), ja sillä on siten suotuinen vaikutus limijatkoksen kestävyys. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että kaikilla tutkituilla limijatkoksen pituuksilla 50 % ja 100 % jatkettujen palkkien murtoarvot olivat hyvin lähellä toisiaan. Sulkuraudoituksen vaikutus limijatkoksen kapasiteettiin vaikutti näiden välillä olevan siten samankaltainen, vaikka 50 % jatketuissa palkeissa hakateräksen pystyosan etäisyys lähimpään limijatkettuun teräkseen oli huomattavasti suurempi ja hakateräksen on todettu toimivan tehokkaammin, jos limijatkos on lähellä haan "jalkaa". Tulosten samankaltaisuus johtui mahdollisesti siitä, että jatkettujen terästen keskinäinen etäisyys oli kaikissa tutkituissa koekappaleissa verrattain matala, jolloin murtopinta lävisti kaikki alapinnan limijatkokset.

Myöskään palkin sitkeydessä ei 50 % ja 100 % jatkettujen palkkien välillä ollut mak-

simikuorman kohdalla säännönmukaista eroavaisuutta. Limijatkoksen murtumisen jälkeen 50 % jatketuilla koekappaleilla oli havaittavissa niin sanottua jälkikriittistä kestävyyttä poikkileikkauksen jatkuvien terästen edelleen säilyessä toimivina. Jälkikriittisessä vaiheessa kuormankantokyky oli suuruudeltaan hieman yli puolet poikkileikkauksen puhdasta taiputumomenttikapasiteettia vastaavasta kuormasta. Tämä on selvästi havaittavissa myös koekappaleiden momentti-taipuma -kuvaajista (kuva 5).

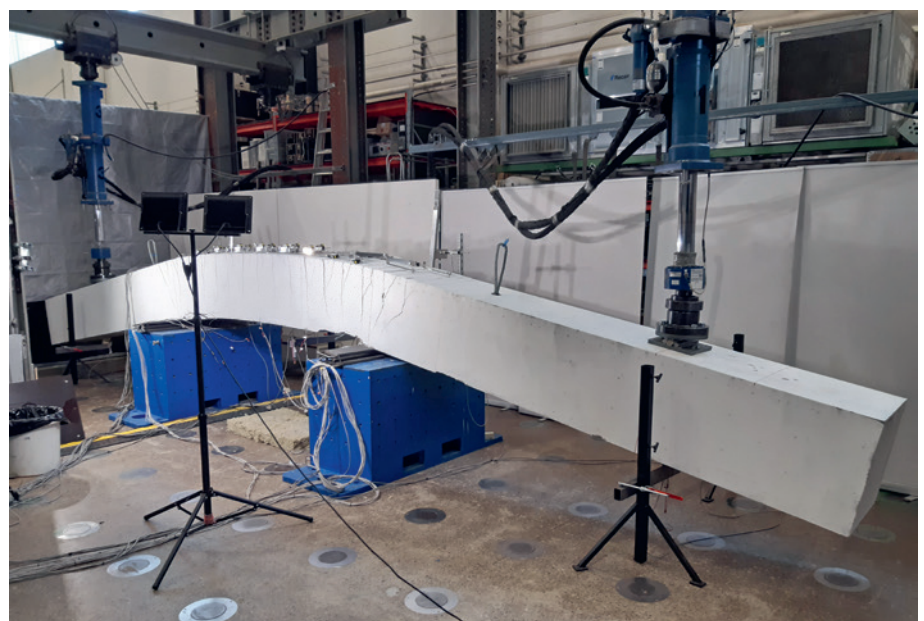
Tutkimuksen koekappaleilla luokkaa 40φ oleva limijatkos oli riittävä siihen, että terästen myötöä vastaava voima pystyi välittymään limijatkoksessa teräkseltä toiselle. Limijatkoksen pidentäminen vielä tästä lisäsi lähes kaikissa tapauksissa palkkien sitkeyttä. Ainoastaan 20 mm teräksen limijatkosten kesken 50φ

5 Koekappaleiden momentti-taipuma kuvaajat. Taipuma-arvot kuvaajissa on määritetty kuormapisteestä mitattujen taipumien ja keskipisteen taipuman erotuksena.

6 Referenssipalkeilla ylettiin suuriin taipuma-arvoihin, kuvassa B25-REF kuormituksen loppuvaiheessa.

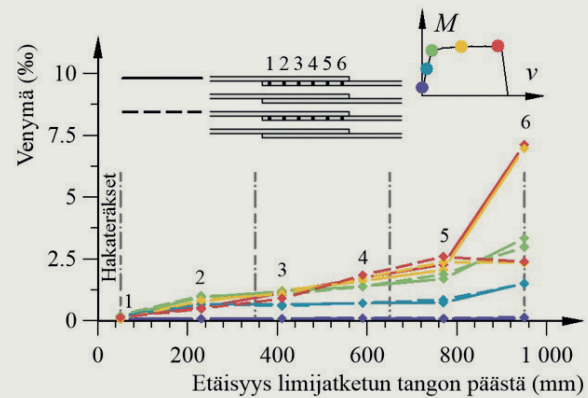
ja 60φ välillä ei sitkeydessä ollut eroja. Molemissa näissä palkeissa palkin puristuspuoli oli selvästi lohkeillut ennen lopullista murtoa, joten näiden osalta poikkileikkauksen kapasiteetti taiputukselle oli jo selvästi saavutettu.

Referenssipalkit olivat kaikissa tapauksissa selvästi limijatkettuja koekappaleita sitkeämpiä. Pisimmillä limijatkoksilla tähän osaltaan vaikuttaa se, että limijatkoksen kohdalla palkin jäykkyys on kaksikertaisen teräsmäärän takia selvästi suurempi, eikä limijatkoksen keskiosissa teräkset saavuttaneet myötöä kuormituksen aikana (kuva 7). Tämän takia plastiset muodonmuutokset tapahtuivat limijatketuissa palkeissa referenssipalkkeja kapeammalla alueella, jolloin palkin taipuma murtohetkellä jäi referenssipalkkeja matalammaksi. Tämä näkyy selvästi myös palkkien halkeamakar-toissa (kuva 8).

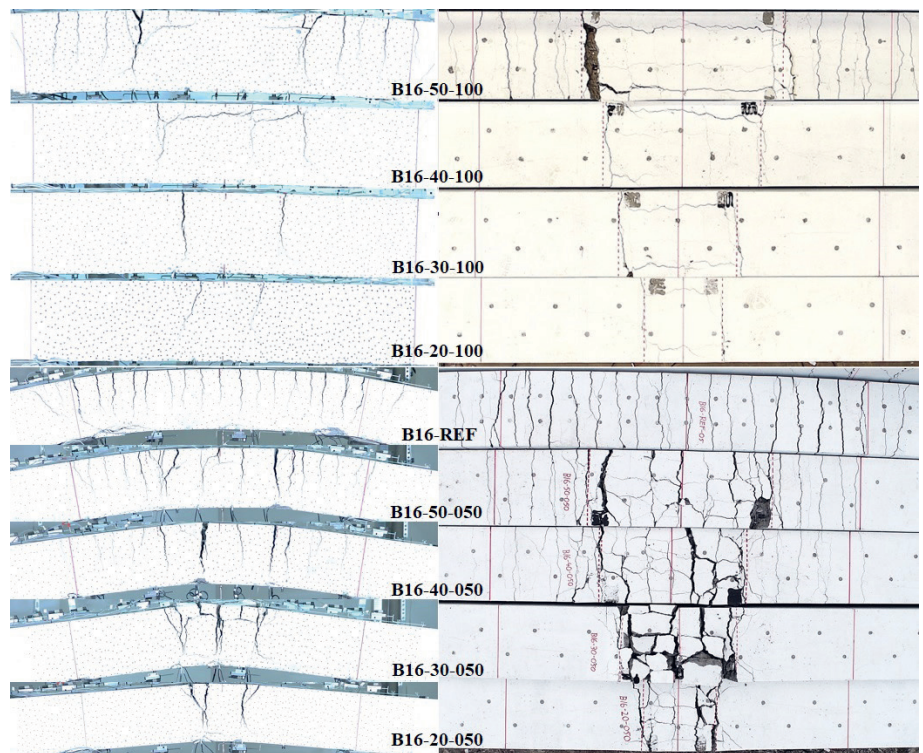


6

7 Limijatketuista tangoista mitatut venymät kuormituskoheen eri vaiheissa (koekappale B20-50-100).



8 Koekuormitusten jälkeiset halkeamakartat koekappaleilla, joissa tankona käytettiin 16 mm harjateräksiä. Kuvan vasemmalla puolella palkin sivupinta, oikealla puolella palkin vetopinta.



4. Limijatkospituuden määrittäminen eri malleilla

Nykyinen Eurokoodi (EN 1992-1-1:2004) [2]

Nykyisessä Eurokoodissa limijatkospituus määritetään monivaiheisesti. Aluksi betonin vetolujuuden kautta päädytään betonin tartuntalujuuteen f_b , josta edelleen tietyn halkaisijan omaavassa tangossa vaikuttavan teräsjännityksen kautta ankkurointipituuden perusarvoon $l_{b,reqd}$. Lopuksi määritetään limijatkoksen pituuden mitoitusarvo l_0 , jossa otetaan huomioon limijatkoksen kapasiteettiin vaikuttavat eri parametrit, kuten sulkuraudoitus, usealla nk. α -kertoimella.

Nykyisen Eurokoodin mukainen malli limijatkospituuden määrittämiseen voidaan esittää tutkittujen palkkien osalta ja tutkimukseen soveltuvasti (ominais-/mitoitusarvojen sijaan mitatut suureet) seuraavalla tavalla:

$$\frac{L_b}{\phi} = \alpha_2 \alpha_3 \frac{\gamma_c \cdot \sigma_s}{1.8 \cdot (f_{cm} - 8[MPa])^{\frac{2}{3}}}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \left(\frac{c_{min}}{\phi} - 1 \right), \quad 0.7 \leq \alpha_2 \leq 1.0$$

$$\alpha_3 = 1 - K \left(\frac{n_{st} \cdot \phi_{st}^2}{\phi^2} - \frac{\sigma_s}{f_{ym}} \right), \quad 0.7 \leq \alpha_3 \leq 1.0$$

, jossa

γ_c on betonimateriaalin osavarmuusluku

σ_s on teräksen jännitys

f_{cm} on betonin puristuslujuus

c_{min} on minimiarvo c_y :n, c_x :n ja $c_s/2$:n väliltä (kuva 2)

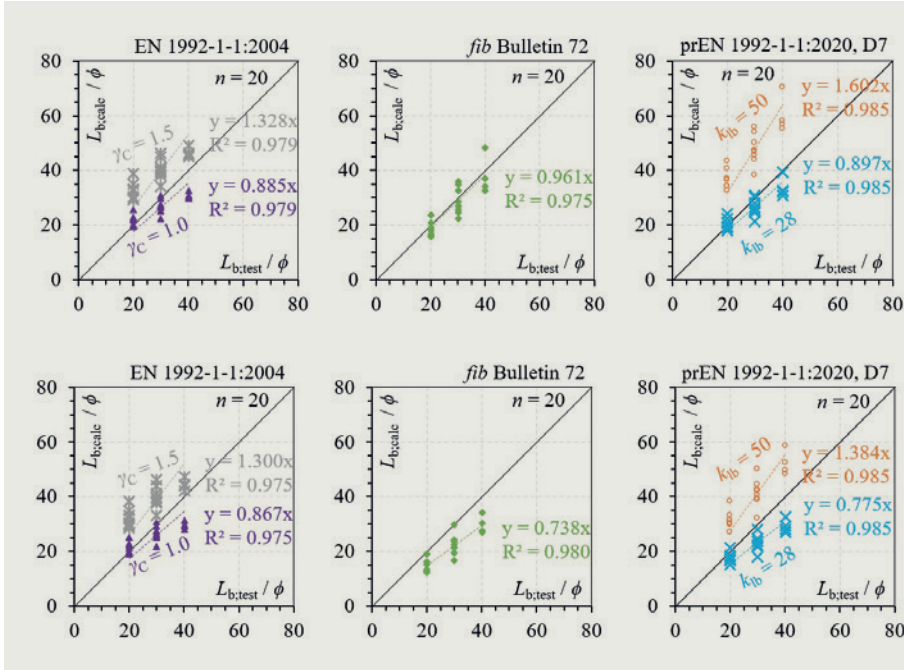
K on kerroin sulkuraudoituksen vaikutukselle (confinement)

n_{st} on hakaterästen lukumäärä

ϕ_{st} on hakateräksen halkaisija

f_{ym} on teräksen vetolujuus

Sulkuraudoituksen vaikutukseen on edellä otettu huomioon koko limijatkoksen pituudella oleva poikittaisraudoituksen määrä. Eurokoodissa mukaan otetaan poikittaisteräkset vain limijatkoksen molemmista päistä limijatkoksen kolmannespituuden matkalta. Kaikilla tämän tutkimuksen koekappaleilla ei myöskään täyty edellytetty poikittaisraudoituksen minimimäärä. Näillä ei kuitenkaan ole oleellista vaikutusta tämän tutkimuksen koekappaleiden limijatkospituuden analysoinnissa. Edellä esitettyssä kaavassa on limijatkettujen tankojen osuuden huomioon ottava kerroin asetettu $\alpha_6 = 1.5$ myös 100 % jatketuille palkeille, vaikka limijatkosten sijoittelu ei kaikilta osin täytä Eurokoodin asettamia vaatimuksia.



9 Koetulosten ja laskennallisten limijatkosten pituuksien välinen yhteys, kun sulkuraidoitteen vaikutusta ei ole otettu laskennassa huomioon.

10 Koetulosten ja laskennallisten limijatkosten pituuksien välinen yhteys, kun sulkuraidoitteen vaikutus on otettu laskennassa huomioon.

fib Bulletin 72 [3]

Kansainvälinen betonijärjestö *Fédération internationale du béton (fib)* julkaisee Bulletin-sarjassa erilaisia teknisiä asiakirjoja, kuten mallikoodeja (Model Code), suunnitteluoppaita ja teknisiä raportteja. *fib Bulletin 72* on taustadokumentti *fib Model Code 2010*:lle tartunnan ja ankuroinnin osalta. Dokumentissa on esitetty yli 800 koetulosta sisältävän tietokannan perusteella muodostettu malli limijatkospituuden määrittämiseen. Mallin perusteella tutkimuksen koekappaleille voidaan limijatkospituus määrittää seuraavasti:

$$\frac{L_{b,prEC2}}{\phi} = k_{lb} \left(\frac{\sigma_s}{435} \right)^{n_\sigma} \left(\frac{25}{f_{cm}} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\phi}{20} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{1.5\phi}{c_{d,conf}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$c_{d,conf} = c_{min} + 30\phi \cdot k_{conf} \cdot K_{tr} \leq 3.75\phi$$

, jossa

k_{lb} on suunnittelutilanteesta riippuva kalibrointikerroin (suunnitteluarvo: $k_{lb} = 50$; keskiarvo: $k_{lb} = 28$)

$n_\sigma = 1.0$, kun $\sigma_s \leq 435$ MPa

$n_\sigma = 1.5$, kun $\sigma_s > 435$ MPa

k_{conf} on kerroin sulkuraidoituksen vaikutukselle (confinement)

muuskerrointa $\gamma_c = 1.5$ ja tulevan Eurokoodin osalta kalibrointikerrointa $k_{lb} = 50$. Suunnitteluarvojen vertailun osalta tulee ottaa huomioon se, että varmuus tulee kohdentumaan tulevan Eurokoodin mukaisessa laskennassa eri tavoin kuin nykyisessä Eurokoodissa. Lisäksi suunnittelussa materiaalilujuuksina käytetään keskimääräisten ljuuksien sijaan ominaislujuuksia. Myös tämän vaikutus on erilainen tulevan ja nykyisen Eurokoodin välillä. Näin ollen suunnitteluarvojen suora vertailu toisiinsa koetulosten perusteella ei ole yksiselitteistä.

Kaikki kolme mallia toimivat hyvin suhteessa koetuloksiin, kun sulkuraidoituksen vaikutusta ei otettu laskennassa huomioon. *fib Bulletin 72*-malli vastasi näistä keskimääräisesti parhaiten koetuloksia, joskin hajonta tulosten välillä oli hieman muita malleja suurempi. Mitatuilla geometria- ja ljuussuureilla laskien Eurokoodien mallien kautta lasketut tulokset olivat keskimäärin hieman epävarmalla puolella. Tulevan eurokoodin malli olisi vastannut tämän tutkimuksen koetuloksia parhaiten, jos kalibrointikertoimenä olisi käytetty $k_{lb} = 31$.

Kun laskennassa mukaan otettiin sulkuraidoituksen vaikutus, jäivät *fib Bulletin 72*:n ja tulevan Eurokoodin mallien kautta lasketut limijatkospituudet selvästi epävarmalle puolelle. Nykyisen Eurokoodin laskentatavassa tutkimuksessa käytetyillä poikittaisteräsmäärillä ei todettu olevan suurta vaikutusta laskennasta saatavaan tulokseen. Jokaisessa tutkitussa mallissa on limijatkettujen pääterästen ja poikittaisterästen keskinäisten sijoittelun suhteen rajoituksia, jonka kautta määrittyy voiko sulkuraidoituksen vaikutusta

$$\frac{L_b}{\phi} = \left(\frac{\sigma_s}{54} \right)^{1.82} \left(\frac{f_{cm}}{25} \right)^{-0.45} \left(\frac{25}{\phi} \right)^{-0.36} \left(\left(\frac{c_{min}}{\phi} \right)^{0.25} \left(\frac{c_{max}}{c_{min}} \right)^{0.1} + k_m K_{tr} \right)^{-1.82}$$

$$K_{tr} = \frac{\pi \cdot \phi_{st}^2}{2 \cdot s_{st} \cdot \phi \cdot n_s} \leq 0.05$$

, jossa

c_{max} on maksimiarvo c_x :n ja c_z :n väliltä (kuva 1)

k_m on kerroin sulkuraidoituksen vaikutukselle (confinement)

s_{st} on hakajako limijatkoksessa

n_s on limijatkosten lukumäärä poikileikkauksessa

Muut kaavan termit on esitetty edellä EN 1992-1-1:2004 mallin yhteydessä.

Tuleva Eurokoodi (prEN 1992-1-1:2020, D7) [4]

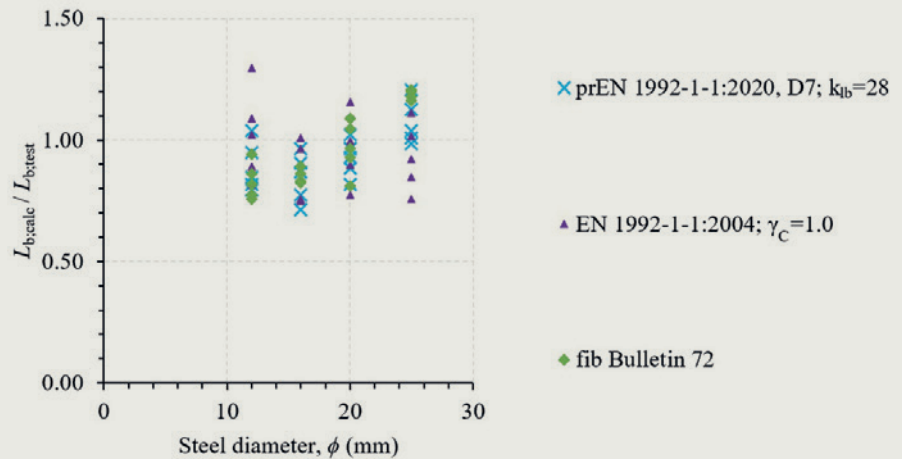
Tulevassa Eurokoodissa *fib Bulletin 72* mallia on yksinkertaistettu ja johdettu paremmin suunnitteluun soveltuvaksi. Tulevan Eurokoodin malli voidaan esittää tutkituille koekappaleille ja mitatuille suureille seuraavasti:

Muut kaavan termit on esitetty edellä kuvattujen mallien yhteydessä.

5. Koetulosten ja mallien vertailu

Koetuloksia verrattiin edellisessä kappaleessa esitettyjen kolmen eri mallin perusteella saataviin limijatkospituuksiin. Vertailu tehtiin niille koekappaleille, joissa limijatkos petti ennen palkin vetoterästen myötölujuuden saavuttamista tai heti sen jälkeen. Analyysi tehtiin palkin poikittaisraidoituksen tuoman sulkuraidoituksen vaikutuksen kanssa ja ilman sitä. Eurokoodien malleissa laskettiin keskiarvotulosten lisäksi myös limijatkospituuden suunnitteluarvot siten, että kaavoissa käytettiin mitattuja suureita, mutta nykyisen Eurokoodin osalta käytettiin betonin osavar-

11 Koetulosten ja laskennallisten limijatkosten pituuksien välinen yhteys harjateräksen halkaisijan suhteen.



hyödyntää laskennassa. Tämän tutkimuksen koekappaleissa terästen sijoittelu oli monessa tapauksessa hyvin lähellä näitä raja-arvoja. Tämän myötä tulokset antoivat viitteitä siitä, että sulkuraidoituksen sijoitteluvaatimukset *fib* Bulletin 72:ssa ja tulevassa Eurokoodissa vaatisivat täsmentämistä.

Koetuloksista oli havaittavissa trendi, että nykyisen ja tulevan Eurokoodin osalta suuremmilla teräsjännyksillä laskennallisen ja testatun limijatkospituuden suhde laskee. Samoin hienoinen trendi oli havaittavissa sen osalta, että *fib* Bulletin 72:n ja tulevan Eurokoodin mallit olivat konservatiivisimmillaan suurilla harjateräksillä.

6. Yhteenveto

Tehdyn tutkimuksen kautta saatiin hyödyllistä tietoa limijatkettujen tankojen toiminnasta osana palkkirakennetta.

Tarkasteltaessa limijatkoksen määrittämiseen liittyviä malleja tulosten todettiin vastaavan koetuloksia varsin hyvin. Tuloksissa oli kuitenkin viitteitä siitä, että sulkuraidoitteiden vaikutuksen hyödyntämistä koskevat rajoitukset raudoitteiden sijoitteluun eivät olisi *fib* Bulletin 72:n ja tulevan Eurokoodin osalta riittäviä. Toki on otettava huomioon, että koekappalemäärä standardin mallien muuttamiseksi on pieni, mutta yhdessä laajemmin tutkimuksia kokoavan datapankin perusteella muutostarpeita on.

Lisäksi saatiin tietoa tulevan eurokoodin draftin mallissa olevasta kalibrointikertomesta ja sen toiminnasta limijatkoksessa. Ankkuroinnin osalta on lisäksi muita mitoitustilanteita, kuten ankkurointi tuelle, ankkurointi vetovoimapinnan mukaan ja ankkurointi detaljeissa. Näiden mitoituksessa on otettava huomioon myös muita tekijöitä ankkurointipituuden määrittämiseksi. Ankkurointipituuden ja limijatkoksen pituuden vertaaminen sellai-

senaan voi näin ollen johtaa harhaan, vaikka tulevan eurokoodin luonnos määrittelee näiden välillä perusarvoksi saman pituuden ilman aiempia α -kertoimia.

Tutkimustulosten analysointi on edelleen käynnissä ja tutkimuksesta julkaistaan myöhemmin vielä myös vertaisarvioitu journal-artikkeli, joka keskittyy limijatkoksen plastiseen kiertymäkykyyn. Lisäksi koekuormituksista on valmistumassa Heikki Alhon laatima diplomityö [5].

Lähdeviittaukset

- Haavisto, J. & Laaksonen, A. Test results and comparison to code equations on lap splice strength of reinforcement in RC beams. Proceedings of the *fib* Symposium 2021. 10 pp.
- SFS-EN 1992-1-1 + AC. 2005. Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto.
- fib* Bulletin 72 (2014). Bond and anchorage of embedded reinforcement: Background to the *fib* Model Code for Concrete Structure 2010. Fédération Internationale du Béton (*fib*), Lausanne, Switzerland.
- prEN 1992-1-1:2020 D7. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules – Rules for buildings, bridges and civil engineering structures.
- Alho, H. Limijatkospituuden vaikutus teräsbetonipalkin momentikestävyyteen ja kiertymäkykyyn, diplomityö, julkaistaan 06/2021.

Lisätietoja

Betoni- ja siltarakenteiden tutkimusryhmä, Tampereen yliopisto
<https://research.tuni.fi/betonirakenteet/>
etunimi.sukunimi@tuni.fi

Summary in English

The design of the lap splices undergoes a major change during revisions of the 2nd generation Eurocode prEN1992-1-1 D7 [4]. Questions have arisen for example about the equal strength and sufficiently ductile behavior of anchorage and lap splices. As a result, there is a need for more experimental evidence for the behaviour of the lap splices.

The effect of the lap length on the ductility and on the capacity of RC beams was studied in wide experimental campaign in Tampere University by research group of Concrete and Bridge Structures. A total of 40 beams were tested in which the rebar size, the lap length and the proportion of the lapped bars were varied.

As a result of the campaign, information was obtained on the behavior of the laps - especially regarding the lap strength (the first part of the study), which is the main topic in this article, and regarding the plastic rotation capacity of the lap splice (the later part of the study), for which analysis is currently in progress. More detailed information and analysis can be found from *fib* Symposium 2021 conference article [1] and from upcoming journal article and Master thesis [5].