Deltapalkki-ontelolaatta rakenteen palokoesarja

Koetulos: Deltapalkki ei tarvitse erillistä palosuojausta

Peikko Group teetti marraskuussa 2009 neljä palokoetta sisältävän koesarjan Deltapalkki-ontelolaatta rakenteelle Ruotsin Boråsissa SP:n teknisen tutkimuskeskuksen palolaboratoriossa. Koesarja todisti Deltapalkin ainutlaatuiset ominaisuudet, erityisesti käytettäessä ontelolaattojen kanssa.

Simo Peltonen, Peikko Group Oy
Carsten Munk Plum, ES-Consult A/S, Tanska

Johdanto

Palokokeiden ensijainen tavoite oli osoittaa palosuojaamattoman Deltapalkin ja ontelolaattojen välisen kuormansiirron toimivuus palotilanteessa. Koesarja osoitti, että palosuojaamattoman Deltapalkin ja ontelolaattojen välinen liitosalue pystyy välittämään kaikki kuormat laatastolta Deltapalkille. Deltapalkin ja tyypillisen ontelolaatan välinen kuormansiirtokyky palossa on palonkestoajasta riippuen vähintään 35% (REI60+), 29% (REI120+) tai 19% (REI180) ontelolaatan normaalilämpötilan ominaisleikkauskestävyydestä. Palonkestoajan perässä oleva "+"-merkki tarkoittaa, että ko. kokeeseen sisältyi myös standardien mukainen jäähtymisaika. Koesarjan toissijainen tavoite oli teettää EN-standardien mukainen palokoe, jonka tuloksia voidaan käyttää viranomaishyväksynnöissä. Tanska valikoitui koejärjestelyn suunnittelu- ja koekappaleiden valmistusmaaksi tarvelähtöisesti. Koejärjestelyn suunnittelu tapahtui suomalaisten, tanskalaisten ja ruotsalaisten asiantuntijoiden yhteistyönä.

Koekappaleet

Palokokeen koekappaleen keskipalkit olivat 3915 mm:n pituisia Deltapalkkeja (D26-400), reunapalkit olivat saman pituisia Deltapalkkeja(DR26-230). Deltapalkkien välissä oli 2350 mm:n pituiset ontelolaatat, katso **kuva 1**. Deltapalkkien ja ja ontelolaattojen poikkileikkaukset on esitetty **kuvissa 2, 3 ja 4**.

Kaikkien kolmen Deltapalkin käyttöasteet suunniteltiin samalle tasolle, jotta koekappaleen siirtymät palokokeen aikana olisivat tasaiset. Deltapalkeissa käytetty teräs oli EN 10025-2:n mukaista rakenneterästä S355J2+N. Paloteräkset olivat SFS 1215:n mukaista A500HW harjaterästä.

Ontelolaattojen tyyppi oli Xtrumax EX27, Spæncom/Consolis. Ontelolaattojen betonin ominaissylinterilujuus oli fck = 50 MPa.

Ontelolaattojen pituudet olivat 2430 mm. Ontelolaattojen ontelot valettiin täyteen betonia 50 mm:n syvyydeltä keskipalkin puoleisissa ontelolaatan päissä ja 270 mm:n syvyydelta reunapalkin puoleisissa päissä. Keskipalkin

puolella käytetty tulpan syvyys on ns. normaalitulppa, jota käytetään yleisesti ontelolaatoissa.

Oleellista on, että koekappaleen vaakasuuntainen lämpölaajeneminen on rajoitettu samalla tavalla kuin oikeassa rakenteessa. Raudoituksena käytettiin samantyyppistä raudoitusta kuin tavanomaisissa ontelolaattatasoissa. Poikittaisraudoituksena Deltapalkin uumien läpi käytettiin ø12 harjaterästä, joka ankkuroitiin ontelolaattojen saumoihin. Deltapalkin ja ontelolaattojen päiden välissä ei käytetty palkin suuntaista raudoitusta. Deltapalkkien päät kytkettiin yhteen paikallavaletuilla teräsbetonipalkeilla, joiden ainut tarkoitus oli vastustaa ontelolaattojen lämpölaajenemista, kuten tapahtuu oikeassa rakenteessakin.

Koekappaleiden kulmissa käytettiin raudoitusta sitomaan reuna Deltapalkit ja paikallavaletut teräsbetonipalkit yhteen.

Koekappaleita säilytettiin kuivassa tilassa, jotta voitiin saavuttaa ontelolaattojen kosteudelle asetettu 3 %:n yläraja. Deltapalkkien täyttöbetoni kosteus ei voinut saavuttaa 3 %:n rajaa, koska se oli suljettussa tilassa teräspoikkileikkauksen sisällä. Täyttöbetonin kosteutta arvioitiin PVC putken sisälle varastoiduista betonisylintereistä; mitattu kosteus oli välillä 6,9 – 8 %.

Ontelolaatan valinta

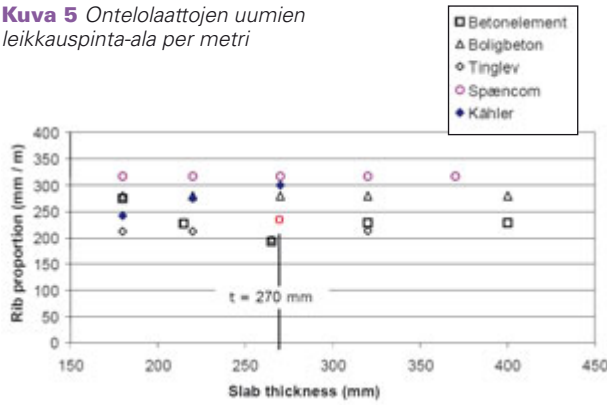
Tyypillisimmän ontelolaatan löytämiseksi käytettäväksi koekappaleissa, käytiin läpi Tanskan ontelolaattavalmistajien kaikki laattatyypit. Koekappaleiden ontelolaattatyypiksi valittiin se laattatyyppi jolla on edustavin määrä leikkausrasitusta kantavaa uumaa per metri. Valintaan käytetyt tiedot on alunperin julkistanut Tanskan Elementtiteollisuusyhdistys vuonna 2005, katso **kuva 5**. Valitulla Xtrumax EX27 ontelolaatalla oli uumaa 239 mm/m (merkki "**o**" kuvassa 5). Valitun ontelolaatan ominaisleikkauskestävyys normalilämpötilassa oli 133,1 kN/m.

Kuormajärjestely

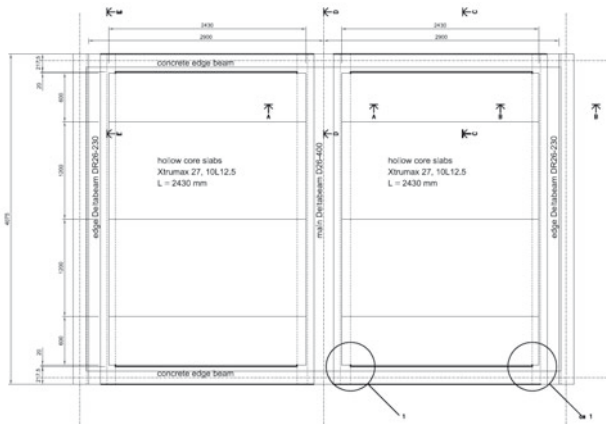
Viivakuorman vaikutuspiste sijaitsi 715 mm:n etäisyydellä keskipalkkiin tukeutuvan onteloaatan päästä (katso **kuva 6**), mikä vastaa 675 mm:n (= 2,5•H_{slab}) etäisyyttä ontelolaatan teoreettisesta tukipisteestä Deltapalkin leualla.

Kuormaa ei voitu välittää pistemäisesti suoraan ontelolaattoihin, kuormitussylinterieden tukireaktiota jaettiin teräslatalla, mitoiltaan 3560 mm x 100 mm. Latan ja ontelolaatan välissä oli vielä 20 mm:n paksuinen tasausmassa – katso **kuva 7**.

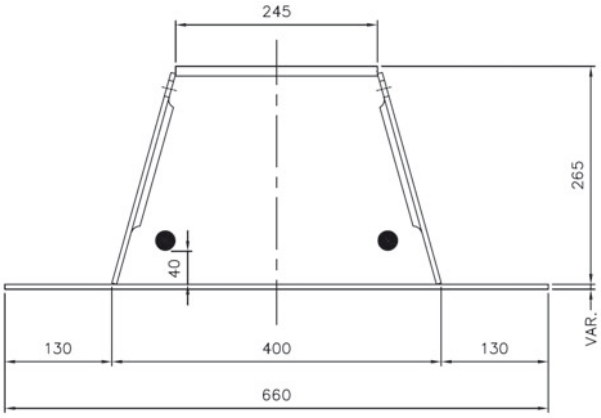
Kuva 5 *Ontelolaattojen uumien leikkauspinta-ala per metri*



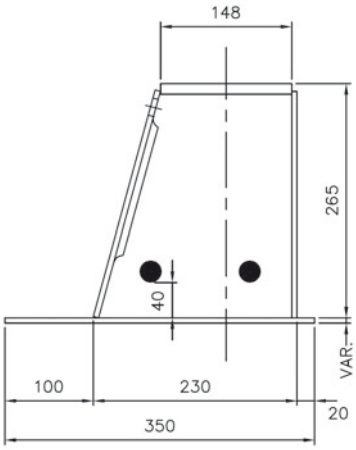
Kuva 1 *Koekappaleen tasopiirustus*



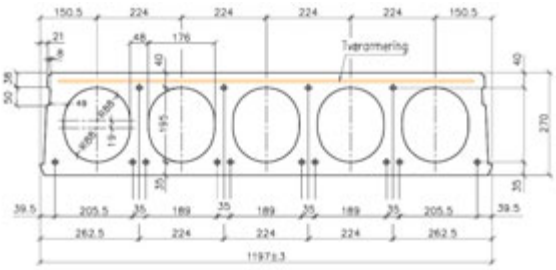
Kuva 2 *Deltapalkin poikkileikkaus*



Kuva 3 *Reuna-Deltapalkin poikkileikkaus*



Kuva 4 *Ontelolaatan poikkileikkaus*



Koekappaleessa ei käytetty yläpunoksia eikä poikittaisia raudoitteita.

Kuvassa 8 näkyy teräslatan käyttäytyminen kokeen aikana; kuvasta voidaan nähdä, että latta seuraa ontelaataston yläpinnan muotoa.

Yhteenveto koejärjetelyistä ja kuormituksista on **kuvassa 9**.

Kuormitukset

Ensimmäinen palokoe sisälsi 60 minuutin standardipalon sekä 120 minuutin jäähtymisvaiheen. Kuormasylinterien kuormitus ontelolaatoille oli 48,0 kN/m.

Laataston kokonaistukireaktioksi yhdellä puolella arvioitiin olevan 38,7 kN/m, käyttäen ontelolaattojen tukivälinä 2350 mm.

Toinen palokoe sisälsi 60 minuutin standardipalon sekä 120 minuutin jäähtymisvaiheen. Kuormitus kuormasylintereistä ontelolaatoille oli 57,6 kN/m.

Laataston kokonaistukireaktioksi yhdellä puolella arvioitiin 46.0 kN/m, käyttäen ontelolaattojen tukivälinä 2350 mm:ä.

Kolmas palokoe sisälsi 120 minuutin standardipalon sekä 247 minuutin jäähtymisvaiheen. Kuormitus kuormasylintereistä ontelolaatoille oli sama kuin ensimmäisessä kokeessa eli 48,0 kN/m.

Neljäs palokoe sisälsi 180 minuutin standardipalon ilman jäähtymisvaihetta. Kuormitus kuormasylintereistä ontelolaatoille oli 30,0 kN/m.

Laataston kokonaistukireaktioksi yhdellä puolella arvioitiin 26,0 kN/m, käyttäen ontelolaattojen tukivälinä 2350 mm:ä.

Koemenetelmä

Koekappale asetettiin palokammion ulkopuolella olevan tukirakenteen varaan. Deltapalkkien tuet oli rullalaakeroitu palkin suuntaisen lämpölaajenemisen sekä tukikiertymän sallimiseksi. Poikittaissuunnassa reuna Deltapalkkien ontelolaattojen suuntainen siirtymä oli mahdollista, koska palokammoin ja koekappaleen välistä suhteellista siirtymää ei oltu estetty ja koska reuna Deltapalkkien tuilla poikittainen liukuminen oli mahdollista. Palkkeihin nähden poikittaissuunnassa simuloitiin todellisen ympäröivän rakenteen vaikutusta Deltapalkkien päät yhdistävillä teräsbetonipalkeilla; raudoitus oli mitoitettu siten, että se toimi kimmoisesti.

Suunniteltu kuormitustaso saavutettiin vähintään 15 minuuttia ennen palokokeen aloittamista.

Kuormitus pidettiin vakiona sekä palo- että jäähtymisvaiheen aikana.

Mittaukset

Lämpötilan ja jännitysten mittausanturit asennettiin koekappaleisiin koesuunnitelman mukaisesti. Mittausantureiden sijainnit mitattiin ja dokumentoitiin huolellisesti ennen koekappaleiden valua.

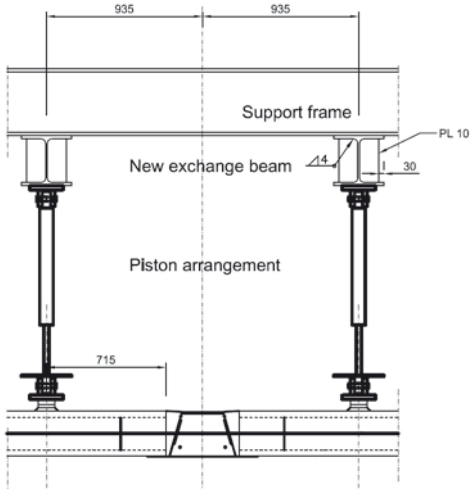
Lisäksi, ennen palokokeen aloittamista, koekappaleen yläpintaan kiinnitettiin lämpötilan ja taipuman mitta-anturit.

Tulokset

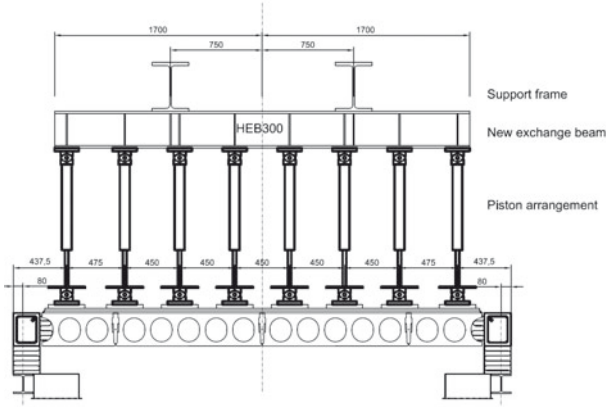
Kaikki neljä palokoetta olivat onnistuneita. Koekappaleet säilyttivät kantokykynsä koko palokokeen ajan, ne täyttivät myös eristys- ja osastointivaatimukset.

Deltapalkin alapinnassa ei havaittu lainkaan paikallisia muodonmuutoksia, katso **kuva 10**; paikalliset muodonmuutokset olisivat olleet merkki kuormienvälittymisreitin

Kuva 6 *Kuormitusjärjestely Deltapalkin suhteen*



Kuva 7 *Kuormitusjärjestely ontelolaataston päällä*



Kuva 8 *Koekappaleen poikittainen taipuma*

Kuva 9 *Koejärjestely*

pettämisestä tai leikkaus- ja taivutuskestävyyksien saavuttamisesta.

Koekappaleen alapuolelta mitattu palokammion lämpötila – katso **kuva 10** – kuvaa palokammiossa vallinnutta lämpötilaa palokokeiden aikana; katso **kuva 11**. Kuvasta voi nähdä, että jäähtymisvaiheessa, kun palokammion lämpötila oli saavuttanut noin 300˚C, ei ollut mahdollista seurata standardin lämpötilakäyrää. Palokammiota ei ollut mahdollista jäähdyttää nopeammin kuin käyrä osoittaa.

Kukin koe lopetettiin kun standardin mukainen jäähtymisvaihe oli kulunut loppuun, kuorma poistettiin vasta kokeen päättymisen jälkeen. Kokeiden kokonaispalokuormat olivat hieman suurempia kuin standardin vaatimus on, tämän perusteella voidaan sanoa, että suoritetut palokokeet ylittivät standardin vaatimukset.

Koekappaleiden taipumat mitattiin kaikista palokokeista – katso **kuva 12**.

Ennen polttovaiheen aloittamista tehty taipumamittaus sisältää myös kuormituskehän muodonmuutokset. Palokokeen suunnitellun kuormitustason saavuttamisen jälkeen, vaakasuora osuus taipumakuvaajassa, mitatut taipumat ovat palokuorman koekappaleisiin aiheuttamia taipumia. Palokuorman aiheuttama ontelolaatasta mitattu maksimitaipuma 60 minuutin palokokeessa oli 82 mm ja vastaavasti Deltapalkista 75 mm. Vastaavat taipumat 120 minuutin palokokeessa olivat 145 mm ja 110 mm.

Yhteenveto

Deltapalkin kestävyys oli riittävä kantamaan käytetyt kuormat kaikissa neljässä palokokeessa.

Kuormien välittyminen ontelolaatoilta Deltapalkille ei tapahtunut Deltapalkin leuan välityksellä, koska palosuojaamattoman leuan kantokyky ei riitä siihen palotilanteessa.

Kuormien välittyminen on tapahtunut laattojen päiden ja Deltapalkin vinon uuman välisen puristuksen avulla. Puristava voima kehittyy laattojen tukireaktion aiheuttamasta saumarautojen vetovoimasta sekä mahdollisesti laataston lämpölaajenemisesta.

Palokokeessa käytetyt kuormat vastaavat alla olevaan taulukkoon 7.2 m:n ja 9.6 m:n pituisille ontelolaattajänteille laskettuja tasanjakautuneen kuorman arvoja; niissä ei ole mukana EN1990 taulukon A1.1 hyötykuorman vähennyskertoimia.

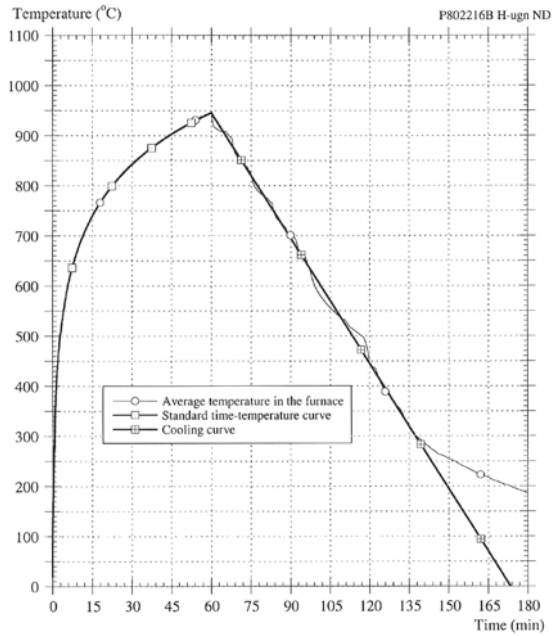
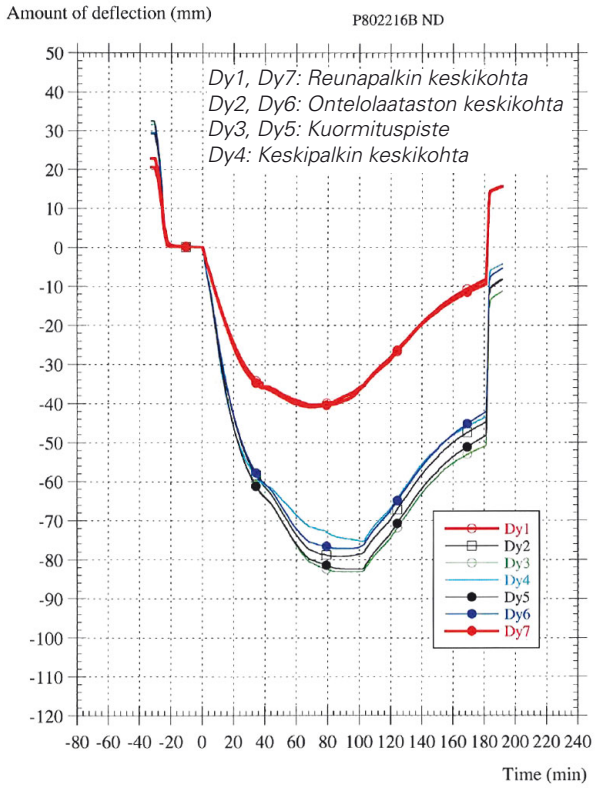
Taulukko 1 *Palotilanteen tasanjakautuneiden kuormien arvot (sisältää laatan oman painon).*

Ontelolaatan h=270mm, jännemitta	R60 + jäähtymis-vaihe	R120 + jäähtymis-vaihe	R180
7,2 m	16,0 kN/m^2	10,7 kN/m^2	8,3 kN/m^2
9,6 m	12,0 kN/m^2	8,1 kN/m^2	6,2 kN/m^2

Koska palokokeessa käytettiin tyypillistä ontelolaattatyyppiä, tulosten voidaan olettaa pätevän kaikiin yleisiin Deltapalkin varaan tuettuihin ontelolaattatyyppeihin. Ontelolaatan kuormansiirtokapasiteetti Deltapalkille esitetään suhteellisena osuutena ontelolaatan normaalilämpötilan leikkauskestävyyden ominaisarvosta.

Kuva 10 *Keskimmäisen Deltapalkin pohja 180 minuutin standardipalon jälkeen*

Kuva 11 *Uunin keskimääräinen lämpötila 60 minuutin palo- plus jäähtymisvaiheissa standardipalokäyrän sekä jäähtymiskäyrän suhteen*



Kuva 12 *Mitatut taipumat*