

# Holcofire – eurooppalainen ontelolaattojen palonkestotutkimus

**Arto Suikka**, dipl.ins.

Betoniteollisuus ry

arto.suikka@rakennusteollisuus.fi

Euroopassa käytetään vuosittain n. 25 miljoonaa neliötä esijännitettyjä ontelolaattoja.

Yhteiseurooppalaisessa Holcofire-projektissa tutkittiin vuosina 2010–2013 ontelolaattojen palonkestävyyttä tekemällä uusia polttokokeita, analysoimalla yhteensä 162 vanhaa polttokokeita ja tekemällä FEM- ja muita simulointeja sekä kantokykylaskelmia. Polttokokeet tehtiin ranskalaisessa CERIB-tutkimuslaitoksessa ja projekti toteutettiin betonielementiteollisuuden kattojärjestön BIBM:n johdolla.

Projektin tulokset osoittavat, että ontelolaatta on paloteknisesti turvallinen tuote, eikä suomalaista suunnittelukäytäntöä ole myöskään tarpeen muuttaa. Holcofire on raportoitu juuri valmistuneessa julkaisussa *Structural behaviour of prestressed concrete hollow core floors exposed to fire*.

## Polttokoetulokset eri maista koottiin yhteen

162 polttokokeen tulokset vuosilta 1966–2010 analysoitiin. Kokeissa oli käytetty 185–420 mm korkeita laattoja ja yksi koe löytyi 600 mm korkealle laatalle. 94,5 % tuloksista voitiin selittää suunnittelumallien ja standardivaatimusten kautta. Loput 5,5 % tuloksista tarkasteltiin erikseen erityistapauksina.

71 tapauksessa laatta murtui kokeen aikana. Näistä taivutusmurtoja oli 11, leikkaus- ja ankurointimurtoja 42, leikkaus- taivutusmurtoja 6, laatan alakannaksen betonin irtoamisia 5 ja laattojen vaakahalkeamista aiheutuneita murtoja 4 kpl. Betonin ulosampumisherkkyttä ja

vaakahalkeilua tutkittiin projektissa tarkemmin. Kokeissa on monia muuttujia, kuten laatan kosteuspitoisuus, koe-elementin tyyppi, saumarau-doituksen määrä, laatan tukipituus, punosten korkeusasema, laatan poikkileikkaus jne.

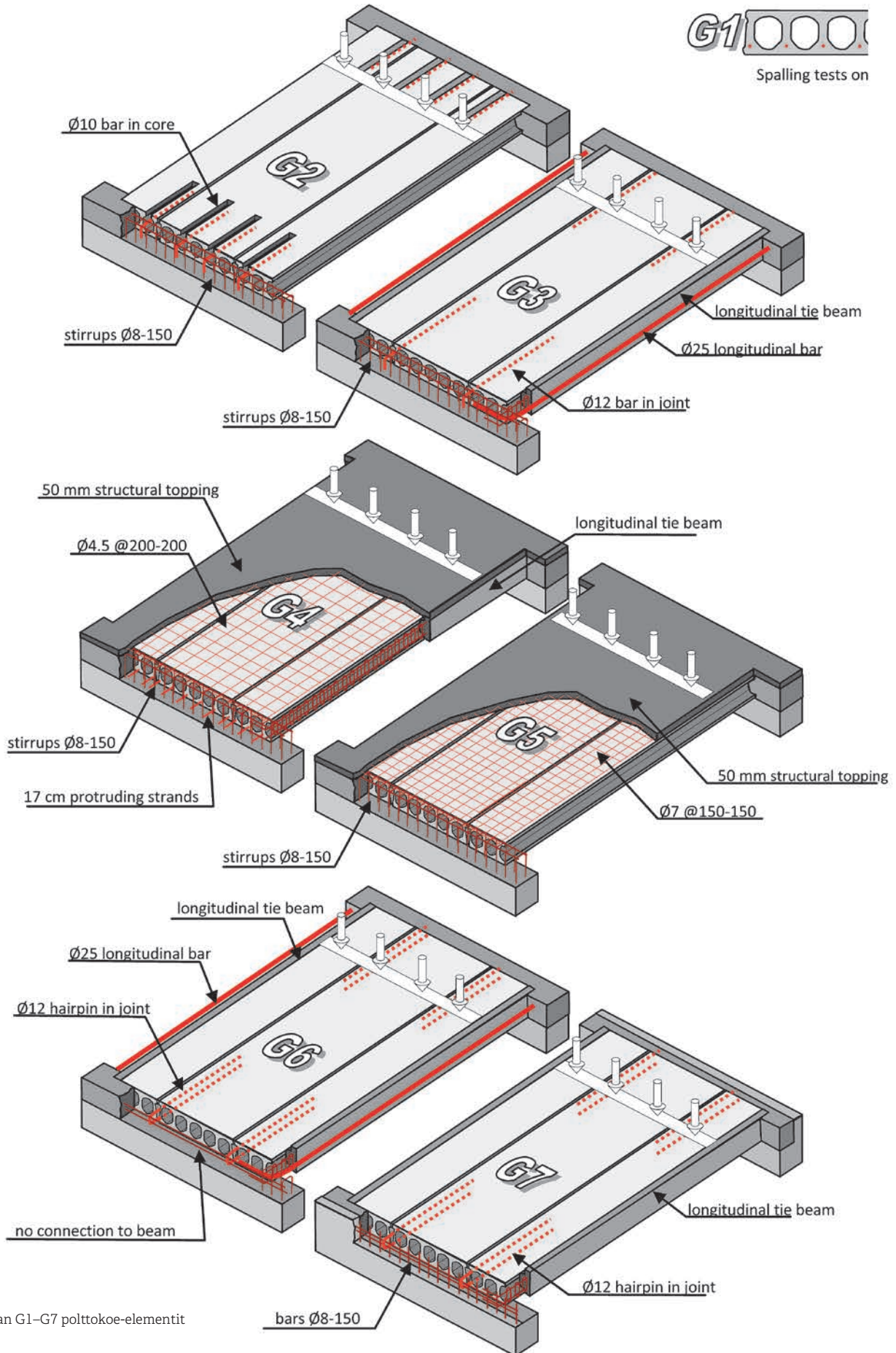
Ontelolaattojen mitoitus taivutukselle palotilanteessa tehdään eurokoodin EN 1992-1-2:2005 luvun 5 mukaan pääkriteerien ollessa laatan paksuus ja punosten keskiöetäisyys laatan alapinnasta.

Vähimmäismitat	Vaadittu palonkestävyysluokka			
	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180
Punosten keskiöetäisyys (mm) 1)	35	45	55	70
Laatan minimipaksuus (mm) 2)	130	160	200	250
Laatan minimipaksuus (mm) 3)	200 (160)	250	265	300

**Taulukko 1** Punosten keskiöetäisyys ja laatan minimipaksuus standardien mukaan

- 1) EN 1992-1-2- mukaan
- 2) Laatan vähimmäispaksuus ontelolaattastandardin SFS-EN 1168:2005+A3:2011 taulukon G1- mukaan
- 3) Kansallisen sovellusstandardin SFS 7016- mukainen suositus.

Analysoidut koetulokset osoittivat, että taulukkomitoitus on hyvä ja taivutuskapasiteetti on ns. varman päälle (koetulosten pohjalta 106 %).



1 Sarjan G1-G7 polttokoe-elementit

$V_{Rd,c,fi}/V_{Rd,c,cold}$ (%)	Laatan paksuus [mm]				
	160	200	240...280	320	360...400
Palonkestävyys					
REI 60	70 %	65 %	60 %	60 %	55 %
REI 90	65 %	60 %	60 %	55 %	50 %
REI 120	60 %	60 %	55 %	50 %	50 %
REI 180	45 %	50 %	50 %	45 %	45 %

**Taulukko 2** Palotilanteen leikkauskestävyyden  $V_{Rd,c,fi}$  taulukkomitoitusarvot nykyisessä standardissa SFS-EN 1168.

### Laatan leikkaus- ja ankkurointikapasiteetti

Ontelolaattastandardin liitteen G sisältöä verrattiin projektissa tehtyihin polttokokeisiin G1–G7 sekä 42 aiempaan polttokoetulokseen. Standardissa palotilanteen leikkauskestävyydelle annetaan esimerkkitaulukko 2.

Taulukko 2 on standardissa esimerkki, joka antaa arvot seuraavin oletuksin: esijännitetyt ontelolaatat, joiden punokset on katkaistu ontelolaatan päiden kohdalta, tukipituus 70 mm ja 1,88 cm<sup>2</sup>/m pituussuuntaista sideraudoitusta, joka sijaitsee likimain laatan korkeuden keskellä.

Taulukossa  $V_{Rd,c,cold}$  on yksinkertaistetun leikkausvetomallin antama leikkauskestävyys normaalilämpötilassa, minkä takia taulukkoa 2 voidaan käyttää vain standardin kohdan 4.3.3.2.2.1 mukaisessa yksinkertaistetussa todentamismenettelyssä.

Holcofire-projektissa tehtyjen tarkastelujen pohjalta esimerkkitaulukkoa tullaan hieman täsmentämään seuraavassa standardin revisioinnissa n. 3 vuoden päästä.

Vanhat polttokoetulokset jaettiin tarkastelussa kahteen ryhmään, yksittäisten laattojen kokeisiin ja laattakentäkokeisiin. Yksittäisten laattojen leikkaus- ja ankkurointikapasiteetti oli keskimäärin 98,8 %, kun taas kahden laatan muodostaman saumatun laattakentän kapasiteetti oli 129 % laskennalliseen verrattuna. Kun otetaan huomioon laatan betonin kohonnut lujuus polttokoehetkellä (keskimäärin 6 kk vanhaa betonia), laastokokeissa saatu kapasiteetti oli n. 20 % yli laskennallisen.

Tutkimuksen polttokokeet G2–G7 todistivat, että EN1168-mitointi leikkaukselle ja ankkuroinnille on varmallaa puolella. Kokeissa G4 ja G5 oli 50 mm paksu pintabetoni. Kaikki laastot kestivät 2 tunnin polton standardin mukaan lasketulla kuormalla. Kun laatat koestettiin leikkaukselle polttokokeen jälkeen, oli kapasiteetti 1,6–2,7 -kertainen palotilanteen kuormitukseen nähden.

Kokeista voitiin päätellä myös, että laastaston sauma- ja rengasteräkset pitävät palotilanteen lämpötilasta johtuvat laatan pystyhalkeamat kurissa. Myös palossa ympäröivän rungon aiheuttamat pakkovoimat parantavat leikkauskestävyyttä.

### Matalapalkkirakenteet

Tutkimuksessa analysoitiin neljän aiemman matalapalkkeille + ontelolaatoille tehdyn polttokoesarjan tuloksia. Ontelolaatan alapinnan lämpötilan noustessa palotilanteessa siihen syntyy puristusjännityksiä molemmissa suunnissa. Nämä puristusjännitykset kompensoivat kuormituksesta syntyviä laatan poikittaisia vetojännityksiä ja laatan taiputusleikkausjännityksiä. Tutkimuksessa päädyttiin siihen, että standardin liite G on käyttökelpoinen myös palotilanteessa, koska kaavojen mukaan laskettu palotilanteen leikkauskapasiteetti on aina alempi kuin taipuisan tuen kautta määritelty leikkauskapasiteetti.

### Rakenteeseen syntyvät pakkovoimat

Rotterdamissa tapahtui vuonna 2007 pysäköintitalopalo, jossa paloi 6 autoa ja tämän seurauksena n. 70 m<sup>2</sup> ontelolaastaston alakannaksia putosi alas. Laastasto ei kuitenkaan sortunut ja rakenteen palo-osastointi säilyi. Ontelolaastaston päällä oli 70–90 mm paksu voimakkaasti raudoitettu pintabetoni ja 120 mm asfalttia. Tämä palo mallinnettiin projektissa eri tavoin. Mallinnuksen perusteella palo oli poikkeuksellisen raju ja rajumpi kuin ISO-standardipalo. Lämpötila 20 minuutin palon jälkeen laastaston alapinnassa oli jo 900 astetta. Rakenne ja lämpötilagradientti aiheuttivat palotilanteessa pakkovoimia, jotka aiheuttivat laatan alakannasten irtoamista.

Rotterdamin palo aiheutti Hollannissa runsaasti keskustelua. Siksi siellä on annettu väliaikaisohjeita pintabetonin paksuudelle.

Ohjeet on tarkoitus tarkistaa nyt, kun Holcofire -projekti on saatu valmiiksi.

R-sarjalla polttokokeita simuloitiin vaakuuntaisia pakkovoimia, joita ympäröivä runko ja esim. paksu pintabetoni aiheuttavat. Kokeissa R1–R3 oli 50–100 mm paksu pintabetoni ja kokeessa R4 laastosta ympäröivät vahvemmat sidepalkit. Ontelolaattojen mahdollista nurjahdusta ja uumien vaakasuuntaista halkeilua tutkittiin laskentamallin ja koetulosten avulla.

Betonirakenteeseen normaalisti syntyvät kutistumahalkeamat vähentävät pakkovoimia, koska ero vapaan ja estetyt laajenemisen välillä on vain millin osia metriä kohti. Pintabetonin paksuuden ei todettu olevan tärkein muuttuja tarkasteltaessa pakkovoimien vaikutusta vaakuuntaiseen halkeiluun. Holcofire-projektin mukaan tärkein tekijä on vaakasuuntaisten sekä laatan poikkileikkauksesta että sen ulkopuolisesta rakenteesta aiheutuvien ja laastaston lämpölaajenemista estävien voimien suuruus ja sijainti. Kuitenkin, jos pintabetonin paksuus ylittää 25–30 % ontelolaatan paksuudesta, vaakuuntaisen laatan halkeilun todetaan olevan todennäköisempää. 265 mm paksulla laastalla tämä tarkoittaa 70–80 mm:n ja 400 mm:n laastalla 100–120 mm:n pintabetonin paksuutta.

Yhteenvetona todetaan, että paksu pintabetoni ja vahvat tukipalkit voivat lisätä laastaston alapinnan nurjahdushalkeilua ja laatan uuman vaakahalkeilua. Nämä eivät kuitenkaan ole primäärisiä murtomekanismeja ja normaaleilla suunnittelukuormilla rakenne on toimiva.

Holcofire oli onnistunut kehitysprojekti, jossa myös Betoniteollisuus ry oli rahoittajana mukana. Se antoi selkeät tulokset ja vahvistuksen sille, että nykyinen ontelolaattastandardi on palonkestotarkastelun osalta toimiva ja turvallinen. Joitakin pieniä täsmennyksiä standardin sisältöön tulee seuraavassa päivityksessä, mutta ne ovat lähinnä vain standardin käyttöä helpottavia asioita.



2



3

2 Koe-elementtejä polton ja kuormituskokeen jälkeen.

3 Suomalaisryhmä tutustumassa tutkimuslaitos CERIB:n polttokoeuuniin.

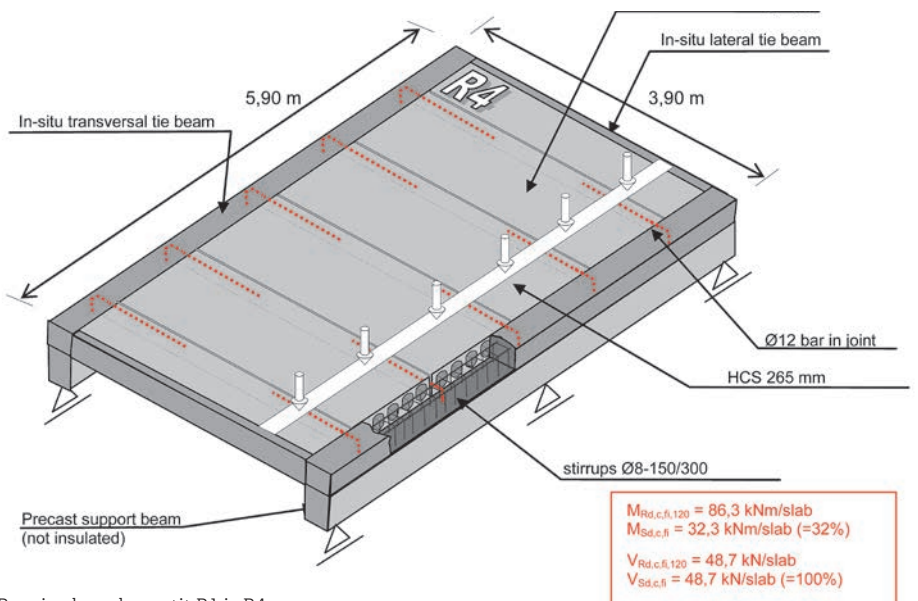
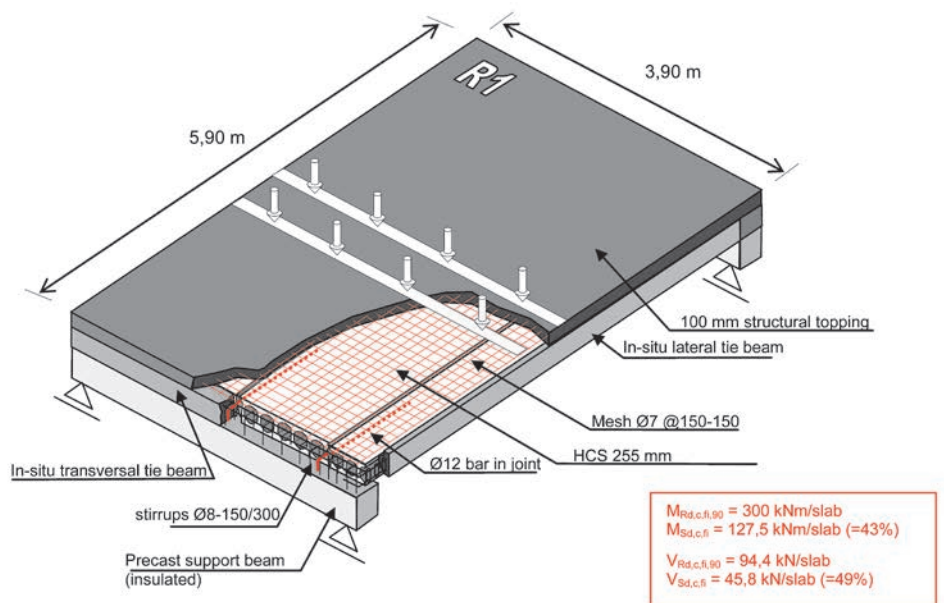
**Holcofire - European fire resistance study on hollow-core slabs**

About 25 million square metres of prestressed hollow-core slabs are used in Europe every year.

The Association of Concrete Industry in Finland provided funding for the joint European Holcofire project carried out during 2010-2013. The purpose of the project was to study the fire resistance of hollow-core slab systems by carrying out new fire tests, an analysis of a total of 162 old fire tests as well as FEM simulations and other simulations and load bearing capacity calculations. The fire tests were implemented by the French research institute CERIB and the responsibility for the management of the project rested with European Federation for Precast Concrete (BIBM).

Holcofire produced clear results and a confirmation of the functionality and safety of the existing standard for hollow-core slabs regarding the fire resistance analysis. The results of the project prove that a hollow-core slab is a safe product in terms of fire performance and also that there is no need to change the Finnish design practice. Some minor specifications will be added in the next updating of the standard, but they are mainly just designed to facilitate the use of the standard.

The Holcofire project has been reported in the publication "Structural behaviour of prestressed concrete hollow core floors exposed to fire".



4 R-sarjan koe-elementit R1 ja R4