

STANDARDIPALONKESTÄVYYSKOKEIDEN TULOSTEN YLEISTÄMINEN – KUORMITTAMATTOMAT OSASTOIVAT SEINÄT

Tuuli Oksanen, Tiina Ala-Outinen ja Kati Tillander
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Kivimiehentie 4 / postiosoite PL1803, 02044 VTT

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli olemassa olevien standardipalokokeiden tuloksia hyödyntäen kehittää laskentamenetelmä, jolla kuormittamattomien seinärakenteiden eristyskykyä ja tiiveyttä voitaisiin arvioida sekä standardoidun lämpötila-aikakäyrän mukaisessa palossa että oletetun palonkehityksen mukaisessa palossa. Tarkasteltaviksi seinärakenteiksi valittiin tyypilliset puu- ja teräsrankaseinät sekä sandwich-seinät pelkästään eristävyuden osalta. Ongelmaksi muodostui koetulosten vähyys rankaseinien osalta, minkä vuoksi uuden laskentamenetelmän kehittämisestä luovuttiin. Seinien koetuloksia analysoitiin olemassa olevin menetelmin.

Eristävyyden laskentaan sovellettiin yksi- ja kaksidimensionaalisia laskentamenetelmiä, joilla analysoitiin sandwich-seinien ja rankaseinien palonkestävyyskokeiden tuloksia. Laskentamenetelmien avulla voidaan arvioida rakenteiden eristyskykyä standardipalonkestävyyskokeiden tulosten perusteella myös oletetun palonkehityksen mukaisessa palossa.

Puurakenteiden palomitoitusstandardin EN 1995-1-2:2004 mukaisella osastoivuuden laskentamenetelmällä analysoitiin koetetut puurankaseinät sekä tutkittiin menetelmän soveltuvuutta teräsrankaseiniin. Puurankaseinien lasketut palonkestoajat olivat varmallalla puolella ja teräsrankaseinillä hiukan epävarmallalla puolella. Molemmilla rankatyypeillä vertailutuloksia oli kuitenkin vain muutama eikä kaikista materiaaleista lainkaan. Puu- ja teräsrankaseinien erilaisen käyttäytymisen vuoksi kummankin rankatyyppin seinille tarvitaan oma laskentamenetelmänsä.

TAUSTA

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan E1 Rakennusten paloturvallisuus, Määräykset ja ohjeet [1] mukaan rakenteiden suunnittelu perustuu joko annettuihin palonkestävyysluokkiin tai oletettuun palonkehitykseen. Palonkestävyysluokkia käytettäessä kantavien ja osastoivien rakenteiden ja rakennusosien palomitoituksessa palotilan lämpötilan oletetaan noudattavan standardin SFS-EN 1363-1 [2] (ISO 834 [5]) mukaista lämpötila-aikariippuvuutta. Mikäli suunnittelu perustuu oletettuun palonkehitykseen, kyseessä voi olla huoneistopalo, lieskahtamaton paikallinen palo tai rakennuksen ulkopuolinen palo. Huoneistopalon tapauksessa palotilan lämpötila voidaan laskea ns. parametrissa palomallia käyttäen [8].

Osastoivien ja/tai kantavien seinärakenteiden palonkestävyys tutkitaan standardien SFS-EN 1363-1 [2] (ISO 834-1 [5]), SFS-EN 1364-1 [3] (ISO 834-8 [7]) ja/tai SFS-EN 1365-1 [4] (ISO 834-4 [6]) mukaisin palonkestävyyskokein. Osastointikyvyn vaatimukset ovat rakenteen eristävyuden (I) ja tiiveyden (E) säilyminen halutun ajan. Kantavien osastoivien rakenteiden

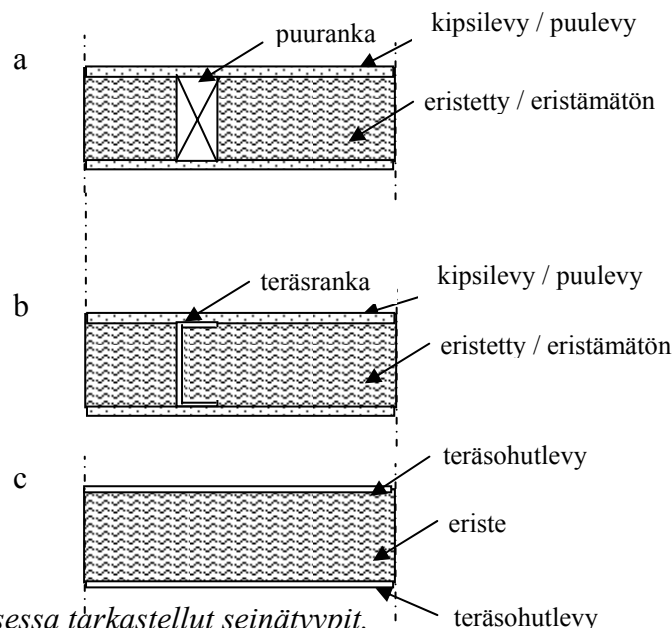
tapauksessa on lisäksi vaatimuksena kantokyvyn (R) säilyminen. Standardipalonestävyyskokeista saatava palonestävyysaika on sidottu standardin mukaiseen palotilan lämpötilaan.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli standardipalokokeiden tuloksia hyödyntäen kehittää laskentamenetelmä, jolla kuormittamattomien seinärakenteiden eristyskykyä ja tiiveyttä voidaan arvioida sekä standardoidun lämpötila-aikakäyrän mukaisessa palossa että oletetun palonkehityksen mukaisessa palossa. Tässä esityksessä voidaan esitellä ainoastaan tehdyn työn pääkohdat; työ kokonaisuudessaan on kuvattu lähteessä [9].

KOEAINEISTO

Tarkasteltaviksi seinärakenteiksi valittiin tyypilliset kipsi- ja puulevyseinärakenteet (kuva 1a ja 1b), joissa ranka oli joko puuta tai terästä. Levytyksessä saattoi koostua yhdestä tai useammasta kipsilevy- tai puulevykerroksesta tai niiden yhdistelmästä. Kipsilevyt saattoivat olla joko tavallisia (tyyppi A) tai erikoiskovia (R) levyjä, tuulensuoja- (H) tai palokipsilevyjä (F) ja puulevyt joko lastulevyä, vaneria, kuitulevyä tai puupaneeleja. Seinät saattoivat olla joko lasi- tai kivivillalla eristettyjä tai sitten eristämättömiä.

Lisäksi tutkittiin sandwich-seinien osalta eristävyttä. Rakenteet olivat teräsohutlevypintaisia, kivi- tai lasivillaeristeisiä elementtiseiniä (kuva 1c), joiden elementit saattoivat olla vaaka- tai pystysuunnassa.



Kuva 1. Tutkimuksessa tarkastellut seinätyypit.

Koetuloksia koottiin yrityksiltä, VTT:ltä, teräs- ja puualan järjestöiltä, kirjallisuudesta sekä ulkomaisten yhteyksien kautta. Vaikka tutkimus käsitteli kuormittamattomia seiniä, myös kuormitettujen seinien koetulokset kerättiin aineistoon mukaan ja käytettiin soveltuvin osin. Kaikissa kokeissa palotilan lämpötilan nousu noudatti ISO 834 [5] mukaista palokäyrää.

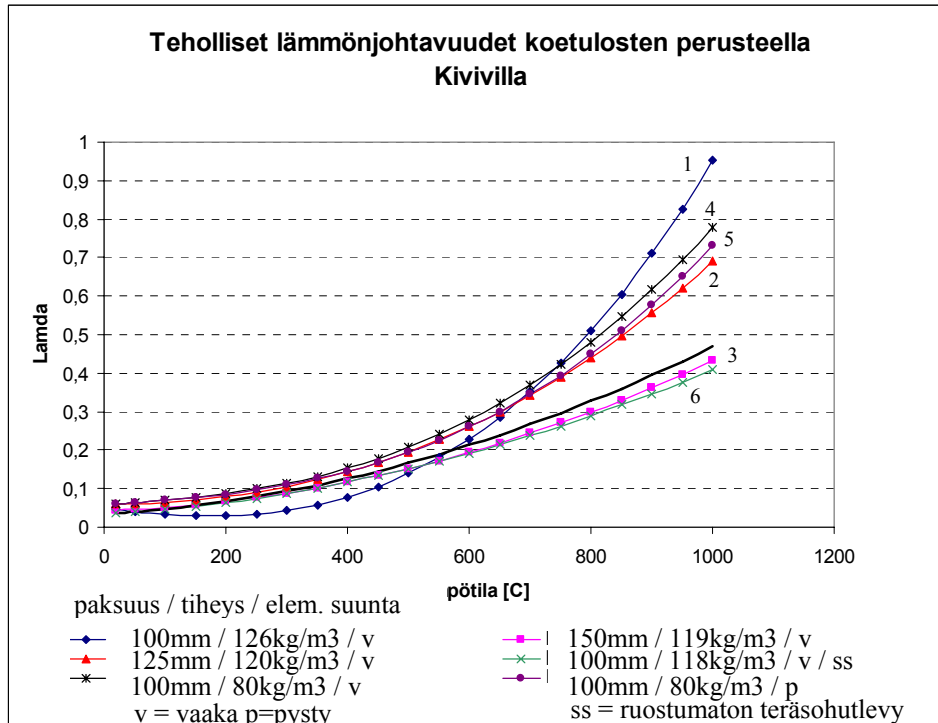
Ongelmaksi muodostui koetulosten vähyys rankaseinien osalta, minkä vuoksi uuden laskentamenetelmän kehittämisestä luovuttiin. Seinien koetuloksia analysoitiin olemassa olevin menetelmin.

ERISTÄVYYSLASKELMAT

Sandwich-elementtiseinät

Sandwich-seinien analysointiin käytettiin yksidimensionaaliseen lämmönsiirtomalliin perustuvaa elementtimenetelmää [10], jota sovellettiin seinien tehollisten lämmönjohtavuuksien määrittämiseen. Tehollisella lämmönjohtavuudella tarkoitetaan tässä rakenteen ominaisuutta, jolla kuvataan sekä lämmön siirtymistä rakenteen pinnalla että sen lämpötilanjohtavuutta. Kokeissa lämpötilat on mitattu rakenteen sisä- ja ulkopinnoilla sekä keskellä. Teholliselle lämmönjohtavuudelle määritettiin arvo, jota käyttämällä rakenteen keskellä laskennallisesti määritetyt lämpötilat vastasivat mahdollisimman tarkasti mitattuja arvoja kullakin ajan hetkellä. Lämpötilatietojen lisäksi lähtötietoina tarvittiin rakenteen eri kerrosten paksuudet sekä eri materiaalien tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin arvot. Laskenta toteutettiin excel-ohjelman avulla.

Kymmenelle erilaiselle sandwich-elementtiseinärakenteelle oli käytettävissä palonkestävyyskokeiden tulokset. Kahdeksan seinäkoetta oli tehty vaakaelementeillä ja kaksi pystyelementeillä. Kuudessa elementtiseinärakenteessa oli kivivilla eristeenä ja neljässä lasivilla. Yhdessä elementissä pintalevynä oli ruostumaton teräs ja kaikissa muissa muovipinnoitettu rakenneteräs. Koetulosten analysoinnin tuloksena saatiin kullekin seinärakenteelle tehollisen lämmönjohtavuuden arvo, jota voidaan hyödyntää arvioitaessa rakenteen toimintaa myös oletetun palonkehityksen mukaisessa palossa. Teholliset lämmönjohtavuudet on esitetty kuvassa 2 kivivillaeristeisille seinille ja kuvassa 3 lasivillaeristeisille. Eristävyysominaisuus on sitä parempi, mitä alhaisempi arvo tehollisella lämmönjohtavuudella λ on.

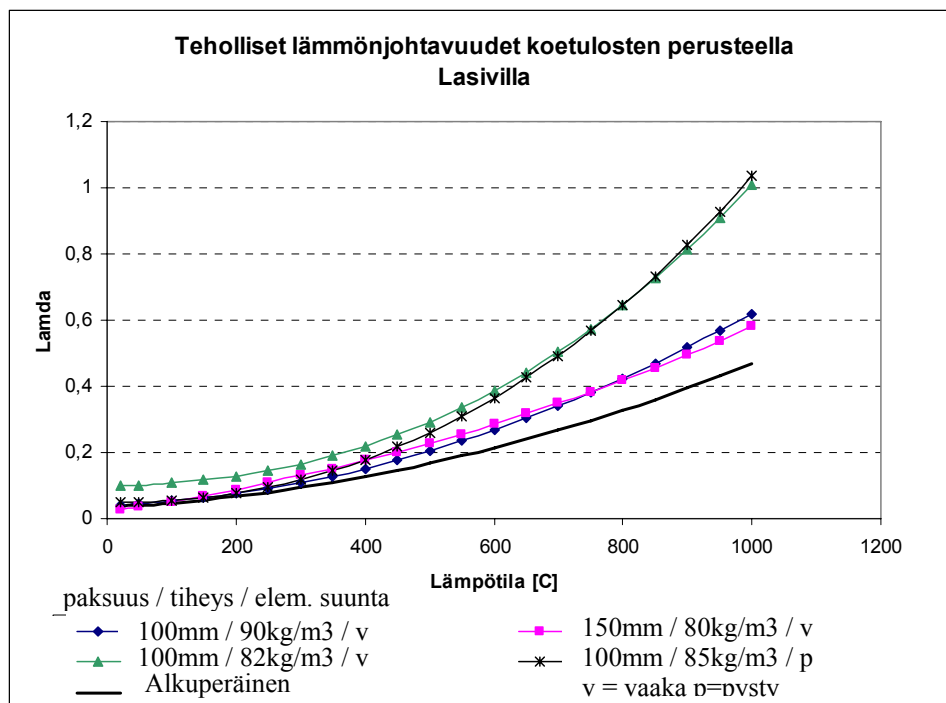


Kuva 2. Kivivillaeristeisen seinärakenteen teholliset lämmönjohtavuudet.

Tarkasteltaessa kivivillaeristeisen seinän (tiheys noin 120 kg/m³) lämmönjohtavuuksia voidaan käyrästä 1, 2 ja 3 havaita elementin paksuuden vaikutus; paksuuden kasvaessa

tehollinen lämmönjohtavuus pienenee. Käyriä 1 ja 4 vertaamalla nähdään, kuinka paljon vaikuttaa tiheyden putoaminen 126 kg/m^3 :sta 80 kg/m^3 . Vertailtaessa käyriä 4 ja 5 havaitaan, ettei elementin suunnalla ole vaikutusta eristävytyteen. Tämä oli odotettavaa, koska laskennassa käytetään keskimääräisen lämpötilan mittauservoja. Pintalevyjen materiaalilla näyttää olevan merkittävä vaikutus tehollisen lämmönjohtavuuden arvoon, käyrät 1 ja 6. Likimain sama tehollinen lämmönjohtavuus saavutetaan 100 mm ja 150 mm paksuilla elementeillä, käyrät 6 ja 3, kun ohuemmassa elementissä pintalevyt ovat ruostumatonta terästä.

Lasivillalla eristetyin elementin (lasivillan tiheys noin 80 kg/m^3) paksuuden vaikutus teholliseen lämmönjohtavuuteen näkyy käyristä 7 ja 8 ja tiheyden vaikutus käyristä 7 ja 9. Käyriä 8 ja 9 vertaamalla näyttää siltä, että tiheyden pudotus 10 kg/m^3 vaatii eristepaksuuteen 50 mm lisäyksen. Eristeen tiheydellä näyttää lasivillaeristeisillä seinillä olevan suurempi merkitys kuin kivivillaeristeisillä seinillä. Samalla tavalla kuin kivivillallakin elementin suunnalla ei havaita olevan vaikutusta eristävytyteen, käyrät 7 ja 10.



Kuva3. Lasivillaeristeisen seinärakenteen teholliset lämmönjohtavuudet.

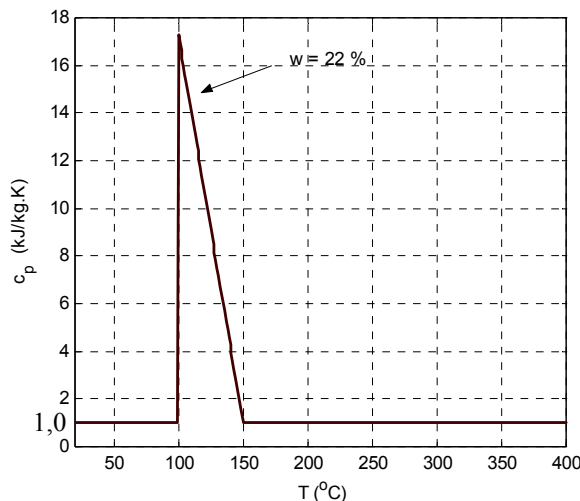
Laskettujen tehollisten lämmönjohtavuuksien osalta on kuitenkin todettava, että ne perustuvat kunkin ominaisuuden osalta ainoastaan yhteen koetulokseen, joten niiden lukuarvoissa voi olla poikkeamia. Sandwich-elementtiseiniin koetulosten perusteella määritetyn tehollisen lämmönjohtavuuden avulla voidaan arvioida rakenteen toimintaa myös muilla palokäyrillä.

Teräs- ja puurankaseinät

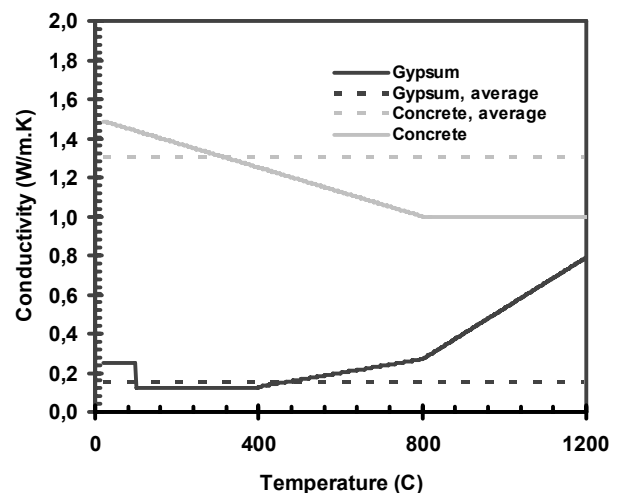
Teräs- ja puurankaseinien analysointiin käytettiin kaksidimensionaaliseen lämmönsiirtomalliin perustuvaa HTwall-laskentaohjelmaa. Ohjelma on tarkoitettu kipsilevyypintaisten joko puu- tai teräsrunkoisten seinärakenteiden laskentaan. Ohjelmassa voidaan valita kipsilevyjen tiheys, paksuus ja lukumäärä yhdestä kahteen sekä sisä- että ulkopinnoilla. Eristeeksi voidaan valita joko lasi- tai kivivilla tai seinärakenne voidaan analysoida ilman eristettä. Kipsilevyjen ja eristeen paksuuksien lisäksi lähtötietoina annetaan levyjen ja eristeiden lämmönjohtavuus, ominaislämpökapasiteetti sekä eristeen osalta lisäksi pakkaustapa (väljä/tiukka). Lähteessä [11] on tarkemmin kuvattu laskentamenetelmää sekä ohjelman tarvitsemia lähtötietoja.

Laskennassa materiaalien termisille ominaisuuksille käytettiin seuraavia arvoja:

Tavallisen kipsilevyn (tyyppi A, 13 mm paksu) ominaislämpökapasiteetin arvoina käytettiin kuvan 4 arvoja ja lämmönjohtavuudelle kuvan 5 arvoja. Ominaislämpökapasiteetin arvot perustuvat kantavan teräsrankaseinän palonkestävyyskokeen lämpötilamittausten sovitteeseen, jossa veden haihtuminen kipsilevystä 100 °C ja 200 °C välillä kuvataan nopealla ominaislämpökapasiteetin nousulla. Lämmönjohtavuudelle käytettiin ohjelman oletusarvoja.



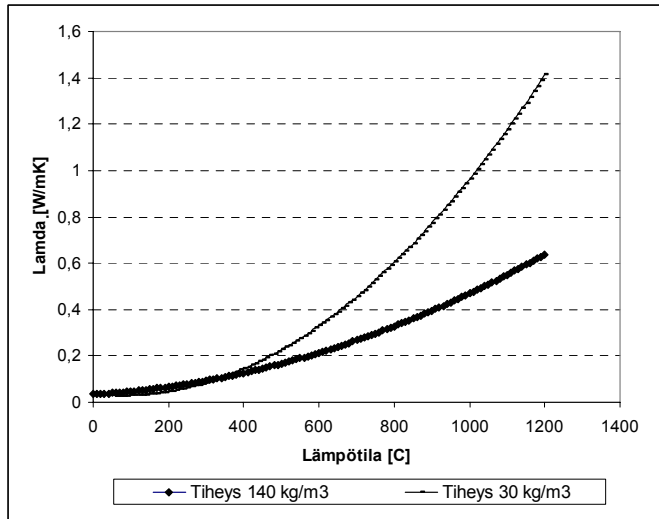
Kuva 4. Kipsilevyn ominaislämpökapasiteetti.



Kuva 5. Kipsilevyn lämmönjohtavuus.

Palokipsilevyn (tyyppi F, 15 mm paksu) ominaislämpökapasiteetti noudatti muuten tavallisen kipsilevyn ominaislämpökapasiteetin arvoja, mutta lähtötaso oli 1,2 kJ/kgK. Palokipsilevyn lämmönjohtavuutena käytettiin $\lambda_0 = 0,15$ W/mK niin kauan, kuin levy pysyi paikoillaan. Palokipsilevyn putoamisaikaa ei voida sitoa tiettyyn lämpötilaan, sillä se riippuu palotilanteesta.

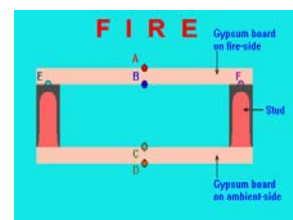
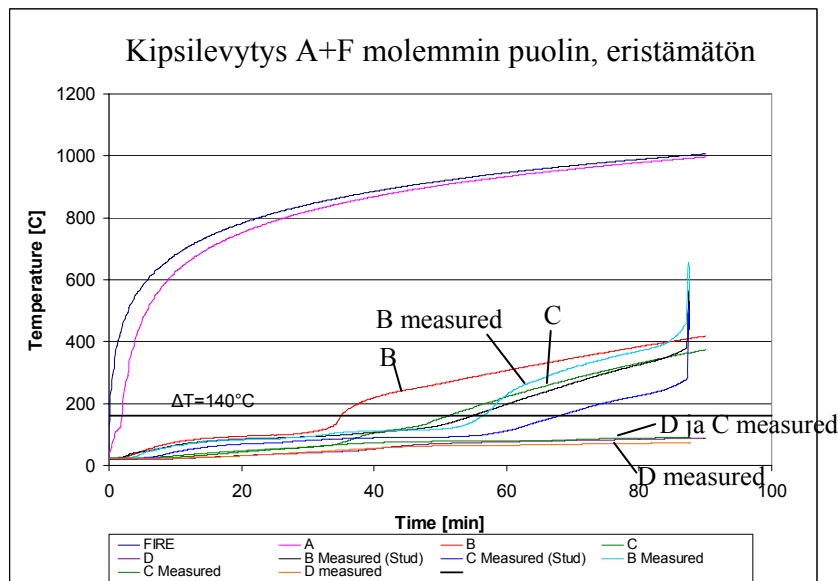
Kivivillan, jonka tiheys oli 140 kg/m^3 , ominaislämpönä käytettiin arvoa $c_p = 800$ J/kg.K, ja villan, jonka tiheys oli 30 kg/m^3 , arvoa $c_p = 900$ J/kg.K. Lämmönjohtavuudet on esitetty kuvassa 6.



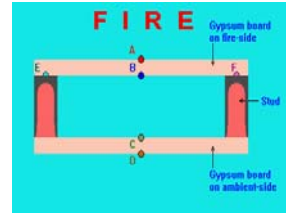
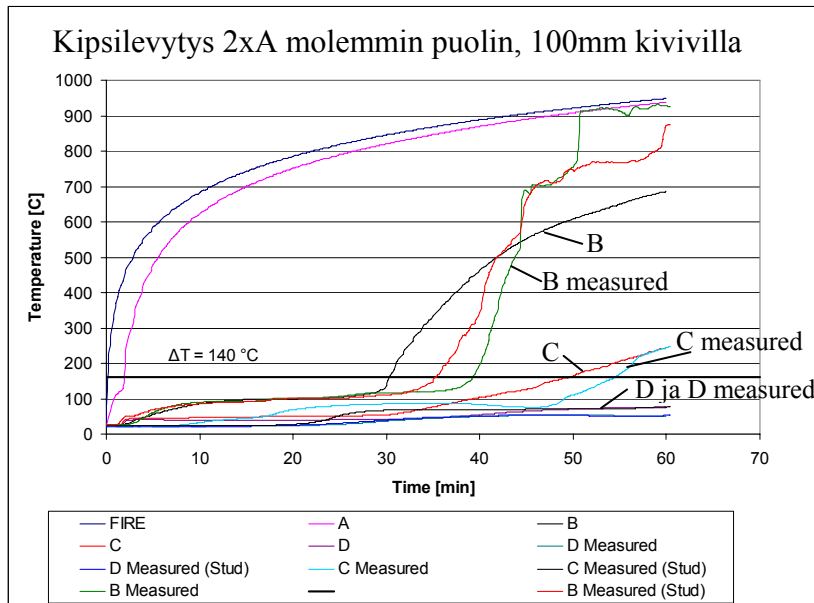
Kuva 6. Kivivillan lämmönjohtavuus.

HTwall-ohjelmalla laskettiin kipsilevyseinien lämpötiloja eri pisteissä ja saatuja arvoja verrattiin standardipalokokeissa mitattuihin tuloksiin ohjelman antamien tulosten oikeellisuuden arvioimiseksi. Teräsrunkoisia kipsilevyseinäitä analysoitiin neljä kappaletta ja puurunkoisia viisi kappaletta. Kuvassa 7 on esitetty teräsrunkoseinälle laskennallisesti määritetyt lämpötilat verrattuina kokeissa mitattuihin ja kuvassa 8 vastaavasti puurunkoiselle seinälle.

Teräsrunkoisilla seinillä erot laskentatulosten ja mitattujen lämpötilojen välillä tulen vastakkaisella puolella (käyrät D ja D Measured) ovat pienemmät kuin puurunkoisilla seinillä. Osittain erot johtuvat HTwall-ohjelman rajoituksista; ohjelma ei pysty ottamaan huomioon seinän epäsymmetrisyyttä eikä eripaksuisia tai erityyppisiä kipsilevyjä. Lisäksi materiaalimallit perustuivat teräsrunkorakenteilla tehtyihin kokeisiin. Erot lasketuissa ja mitatuissa arvoissa ovat suuremmat tavallisille kipsilevyseinille kuin palokipsilevyseinille.



Kuva 7. Teräsrunkoseinän lasketut ja mitatut lämpötilat rakenteen eri pisteissä.



Kuva 8. Puurankaseinän lasketut ja mitatut lämpötilat rakenteen eri pisteissä.

TIIVIYSLASKELMAT

Rakenteen tiiviyys osoitetaan pääsääntöisesti kokeellisesti. Tällöin tiiviyys katsotaan menetetyksi, jos joko ns. pumpulitukkokeksessa pumpuli syttyy, rakotulkki menee koekappaleen läpi tai tulen vastakkaiselle puolelle tulee jatkuva liekki.

Joissain maissa on kuitenkin käytössä puurakenteille menetelmiä, joilla arvioidaan tiiviyttä laskennallisesti. Näitä menetelmiä kutsutaan nimellä ”Component additive methods” ja yhteistä niille on, että useista kerroksista koostuvan rakenteen palonkestävyys lasketaan yksittäisten kerrosten tiiviyttä lisäävien aikojen summana. Joitakin menetelmiä käytetään myös kantaville rakenteille. Teräsrankaseinille ei ole olemassa vastaavia menetelmiä.

Kertyneen koearineiston vähyyden vuoksi uuden laskentamenetelmän kehittäminen tiiviyden arviointiin ei ole mahdollista. Sen vuoksi koetulokset analysoitiin puurakenteiden palomitoitusta käsittelevässä standardissa EN 1995-1-2:2004 esitetyllä osastoivuuden laskentamenetelmällä.

Standardin EN 1995-1-2:2004 [12] mukainen laskentamenetelmä

Standardin EN 1995-1-2:2004 osastoivuuden laskentamenetelmä on esitetty standardin informatiivisena liitteenä E ja siinä oletetaan tiiviyyskriteerien täyttyvän mikäli eristävyyskriteerit täyttyvät. Menetelmä pätee 60 min palonkestoajaan asti ja sitä voidaan käyttää puurankaseinille ja välipohjille, joiden levytys koostuu joko standardin EN 13986 mukaisista puulevyistä tai standardin EN 520 mukaisista A-, F-, R- tai H-tyypin kipsilevyistä. Osastoivuus osoitetaan kaavalla 1

$$t_{\text{ins}} \geq t_{\text{req}} \quad (1)$$

t_{ins} on rakenteen eristävyys ja
 t_{req} on vaadittu palonkesto aika

Rakenteen eristävyys lasketaan yksittäisten kerrosten ”eristävyyksien summana”

$$t_{ins} = \sum t_{ins,0,i} k_{pos} k_j \quad (2)$$

$t_{ins,0,i}$ on kerroksen i eristävyyden perusarvo

k_{pos} on kerroksen paikan rakenteessa huomioiva kerroin

k_j on saumatyyppistä johtuva kerroin

$t_{ins,0,i}$ arvon laskemiseksi on puu- ja kipsilevyille annettu kaavat samoin lasi- ja kivivillalle sekä eristämättömälle ontelolle. Kertoimien k_{pos} ja k_j arvot on taulukoitu.

Puu- ja teräsrunkoseinien analysointi

Standardin EN 1995-1-2:2004 mukaisella osastoivuuden laskentamenetelmällä laskettiin kaikkien niiden seinärakenteiden palonkestävyys, joista oli olemassa koetulos. Yhteenvedo laskentatuloksista sekä vertailu koetuloksiin on esitetty taulukossa 1.

Menetelmän pätevyysalueella lasketut palonkestoajat ovat puurankaseinillä varmalla puolella ja teräsrunkoseinillä hiukan epävarmalla puolella. Vertailutuloksia on tosin vain muutama joten lisää koetuloksia tarvittaisiin myös muista materiaaleista.

Taulukko 1. Puu- ja teräsrunkoseinien laskettu palonkestävyys osastoivuuden suhteen (EN 1995-1-2:2004) ja kokeellinen palonkestävyys.

| Levytyys | | Runko | Eriste | Kantavuus | Palonkesto | | Ylittävä kriteeri |
|-------------|---------------------|------------------|-------------------------|------------|----------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| tulen puoli | tulen vastak. puoli | | | | laskettu [min] | koe [min] | |
| A | A | puu 45x95 | kivivilla | kantava | 65 | 72 | kantavuus 72 min |
| 2xA | 2xA | puu LVL 45x98 | kivivilla | kantava | 57 | 60 ¹⁾ | ei |
| A | A | teräs C-66 | - | kantamaton | 32 | 31 (32) | eristävyys 31 min tiiviyys 32 min |
| A | A | teräs C-66 | kivivilla | kantamaton | 58 | 57 (64) | eristävyys 57 min |
| A | A | teräs C-66 | kivivilla ²⁾ | kantamaton | 58 | 60 (65²⁾) | eristävyys 60 min |

1) Koe lopetettu 60 min. 2) Villa pysyi paikoillaan erityiskiinnikkein

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli olemassa olevien standardipalokokeiden tuloksia hyödyntäen kehittää laskentamenetelmä, jolla kuormittamattomien seinärakenteiden eristyskykyä ja tiiveyttä voitaisiin arvioida sekä standardoidun lämpötila-aikakäyrän mukaisessa palossa että oletetun palonkehityksen mukaisessa palossa. Ongelmaksi muodostui koetulosten vähyyys rankaseinien osalta, minkä vuoksi uuden laskentamenetelmän kehittämistä luovuttiin ja seinien koetuloksia analysoitiin olemassa olevin menetelmin.

Sandwich-seinien analysointiin käytetyn laskentamenetelmän avulla voidaan arvioida seinän paksuuden, eristeen tiheyden ja pintamateriaalin vaikutusta seinärakenteen eristävyteen. Laskettujen tehollisten lämmönjohtavuuksien osalta on kuitenkin todettava, että ne perustuvat kunkin ominaisuuden osalta ainoastaan yhteen koetulokseen, joten niiden perusteella tuloksia ei voida yleistää.

Rankaseinien analysointiin käytetty HTwall-laskentaohjelma soveltuu melko hyvin symmetrisille tyypillisille seinärakenteille. Teräsrankaseinillä laskettujen ja mitattujen lämpötilojen erot tulen vastakkaisella puolella ovat pienemmät kuin puurankaseinillä. Puurankaseinillä eroa voitaisiin pienentää käyttämällä materiaalimalleja, jotka perustuvat puurakenteilla tehtyihin kokeisiin. Parempaan yhteneväisyyteen päästäisiin molemmilla rankatyypeillä myös, mikäli ohjelmassa voitaisiin antaa epäsymmetrisiä rakenteita, eri levykerroksille erilaisia materiaaliominaisuuksia sekä kipsilevyn materiaalmalliin voitaisiin sisällyttää levyn putoaminen. Sekä HTwall-ohjelmalla että tehollisen lämmönjohtavuuden laskentamenetelmällä voidaan arvioida eristävyttä myös muulla kuin standardipalon mukaisella palorasituksella.

Puurakenteiden palomitoitusta käsittelevän standardin EN 1995-1-2:2004 mukaisella osastoivuuden laskentamenetelmällä lasketut puurankaseinien palonkestoajat olivat varmallalla puolella ja teräsrankaseinillä hiukan epävarmallalla puolella menetelmän pätevyysalueella (60 min). Vertailutuloksia oli kummallakin seinätyypillä tosin vain muutama ja erityisesti lasivillan ja puulevyjen osalta koetulokset puuttuvat kokonaan. Laskentamenetelmän yksityiskohtaisempaan tarkistamiseen tarvittaisiin lisäkoetuloksia. Puu- ja teräsrankaseinien erilaisen käyttäytymisen vuoksi kummankin rankatyyppin seinille tarvitaan oma laskentamenetelmänsä.

KIITOKSET

Tutkimuksen rahoittajina ovat olleet TEKES, Teräsrakenneyhdistys ry, Wood Focus Oy, Paroc Oy, Saint Gobain Isover Oy ja Knauf Oy.

LÄHDELUETTELO

[1] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E1 Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet. 2002. Helsinki: Ympäristöministeriö. 40 s.

- [2] SFS-EN 1363-1:1999. Fire Resistance Tests, Part 1: General Requirements. (Palonkestävyysskoheet – Osa 1: Yleiset vaatimukset). Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 49 s.
- [3] SFS-EN 1364-1:1999, Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 1: Walls. (Ei-kantavien rakenteiden palonkestävyysskoheet – Osa 1: Seinät). Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 31 s.
- [4] SFS-EN 1365-1:1999, Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 1: Walls. (Kantavien rakenteiden palonkestävyysskoheet - Osa 1: Seinät). Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 24 s.
- [5] ISO 834-1:1999, Fire resistance tests – Elements of building construction – Part 1: General requirements (Palonkestävyysskoheet – rakennusosat - Osa 1: Yleiset vaatimukset). International Organization for Standardization. 24 s.
- [6] ISO 834-4:2000, Fire resistance tests – Elements of building construction – Part 4: Specific requirements for loadbearing vertical separating elements. International Organization for Standardization. 7 s.
- [7] ISO 834-8:2002, Fire resistance tests – Elements of building construction – Part 8: Specific requirements for non-loadbearing vertical separating elements. International Organization for Standardization. 8 s.
- [8] ENV 1991-2-2:1994. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures, Part 2.2: Actions on structures exposed to fire. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 55 s.
- [9] Oksanen T, Ala-Outinen T & Tillander K. 2005. Standardipalonkestävyysskoheeten tulosten yleistäminen – Kuormittamattomat osastoivat seinät. VTT, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 48 s. + liitt. 21 s.
- [10] Myllymäki, J. & Baroudi, D. 2000. A method to determine thermal conductivity using boundary temperature measurements. Proceedings of the 6th International Symposium. Poitiers, FR, 5 - 9 July 1999. Curtat, Michel (ed.). International Association for Fire Safety Science (2000), 349 - 360.
- [11] Takeda, H. 2005 (to be submitted). A new Computer Model, HTwall, for the Prediction of Fire Resistance of Wall assemblies.
- [12] EN 1995-1-2:2004, Eurocode 5 – Design of timber structures, Part 1-2: General – Structural fire design. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 69 s.