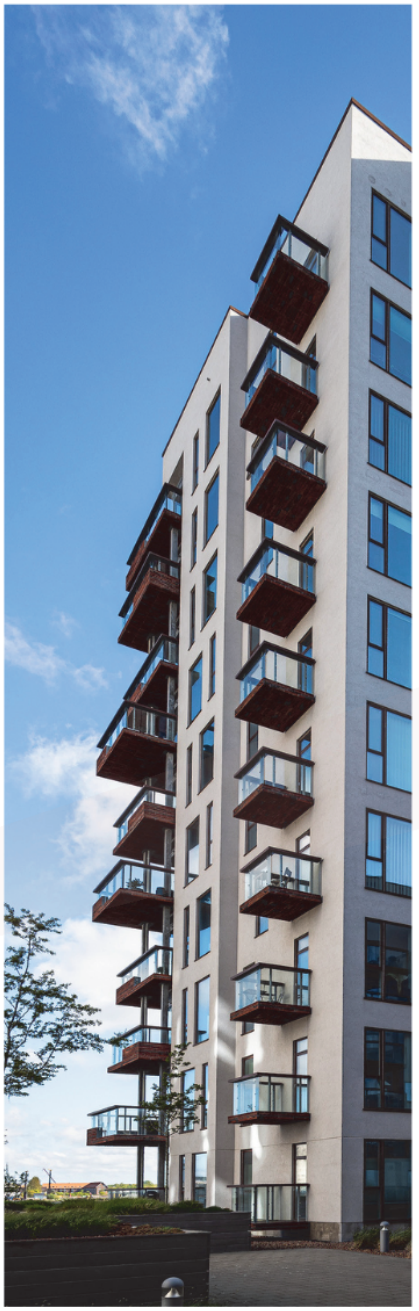
betoni

4 2024



ULTRAKORKEALUJUUSBETONISET PARVEKKEET

- Hoikat ja kevyet elementit
- Muodon ja suunnittelun vapaus
- CE-merkitty turvallinen valinta
- Erittäin suuri lujuus ja tiiveys
- 100+ vuoden kestävyys
- Sijoittelun vapaus

HiCON

contact@hi-con.dk | www.hi-con.com/fi

Betoni 94. vuosikerta – volume
Ilmestyy 4 kertaa vuodessa
Tilaushinta 56 euroa (+ alv 10%)
Irtonumero 15 euroa (+ alv 10%)
Painos 14 000
ISSN-L 1235-2136
ISSN 1235-2136 (painettu)
ISSN 2323-1262 (verkkojulkaisu)
Aikakausmedia ry:n jäsen

Toimitus – Editorial Staff
Päätoimittaja – Editor in chief
Maritta Koivisto, arkkitehti SAFA
Taitto – Layout
Cleo Bade
Maritta Koivisto

Käännökset – Translations
Tiina Hiljanen
Osa käännöksistä yliopistojen ja erikoistutkijoiden kautta

Tilaukset, osoitteenmuutokset:
betoni@betoni.com
BY-, BLY-, RIA-, RIL-, RKL-, SAFA-, VYRA-, Ornamo, MARK-, MAS-, -jäsenet omiin järjestöihinsä

Julkaisija ja kustantaja – Publisher
Betoniteollisuus ry – Association of Concrete Industry in Finland
PL 381, Eteläranta 10, 10 krs.
00130 Helsinki, Finland
tel. +358 (0)9 12 991
www.betoni.com

Toimitusneuvosto – Editorial board
RI Petri Kähkönen
DI Ari Mantila
TkT Jussi Mattila
EMBA Kirsi Mettälä
TkT, arkkitehti SAFA Hannu Tikka
DI Juha Valjus
DI Mirva Vuori
DI Pekka Vuorinen

Ilmoitukset – Advertising Manager
Nina Loisalo
tel. +358 50 368 9072
nina.loisalo@rakennusteollisuus.fi
Ilmoitukset:
betoni@betoni.com

Kirjapaino – Printers
Punamusta, Joensuu

Kansi – Cover
Tampereen Pyynikin Trikoon peruskorjaus ja käyttötarkoituksen muutos. Kuva: Kestävä Kivitalo-ryhmän kuvapankki. 2024.

Jussi Mattila	**Pääkirjoitus – Syitä syyllisten sijaan** *Preface – Ask why instead of who*	**7**
Dakota Lavento & Leena-Kaisa Simola	**Kestävä Kivitalo -palkinto 2024: Pyynikin Trikoon peruskorjaus ja käyttötarkoituksen muutos** *Durable Stone House Award 2024 goes to developer and architects of Pyynikin Trikootehdas in Tampere*	**8**
Teresa Rönkä	**Rouhea menneisyys näkyy Pyynikin Trikoon ulkotilojen ilmeessä**	**18**
Stina Hyyrynen	**JSY ry artikkelisarja julkisivukorjaamisesta – Osa 1/4: Julkisivujen korjausprosessi kuntotutkimuksesta toteutukseen ja betonijulkisivun korjausvaihtoehdot**	**22**
Dakota Lavento	**Vuoden 1982 betonirakenne: Lahden teatteritalo – Modernin arkkitehtuurin merkkiteos** *Lahti Theatre House*	**30**
Satu Huuhka	**Betonielementtien irrottaminen ehjänä uudelleenkäyttöä varten**	**38**
Tia Härkönen	**Kierrätysbetonimurske maanparannusaineena**	**44**
Atte Kurko & Anssi Laaksonen	**Jälkijännitetyn palkin leikkauskestävyys** *Shear Strength in Post-tensioned Beam*	**50**
Hassan Ahmed	**Betonin tiivistyslaadun arviointi** *Evaluating Concrete Compaction: A Multi-modal Approach*	**58**
Henri Tähkänen, Jouni Punkki & Jarkko Niiranen	**Massiivivalubetonin nesteputkijäähdytys** *Physical modelling of pipe-cooled massive concrete*	**68**
Janne Kihula & Pasi Salmela	**Ontelolaatan pintabetoni palotilanteessa**	**76**
Vesa Tompuri	**Paaluinfo 2-2024: Vuoden Paalutustyömaa Transval paalutettiin minimihukalla pakkasessa**	**80**
Dakota Lavento	**Henkilökuvassa Jan-Erik Kivinen**	**82**
Auli Lastunen	**Kolumni – Poskiontelolaatta**	**86**
Betoni-toimitus	**Betonialan uutisia, julkaisuja, kursseja**	**87**
	Betoniteollisuus ry:n jäsenyritysten tuote- ja valmistajatietoja	**90**

38 Betonielementtien irrottaminen ehjänä uudelleenkäyttöä varten

8 Kestävä Kivitalo -palkinto 2024: Pyynikin Trikoon peruskorjaus

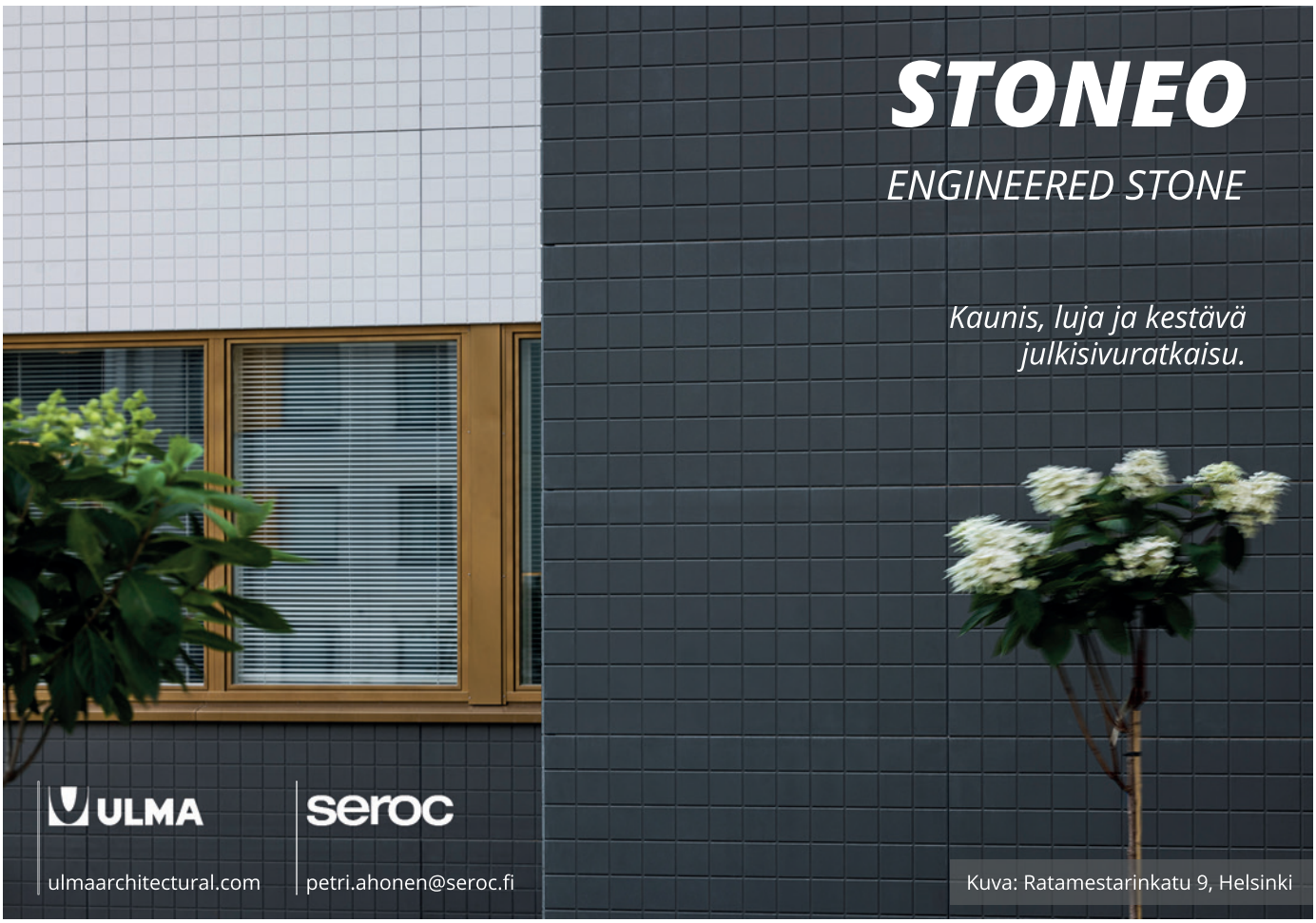
peikko®

HULCO®
-ankkurointipultti

Simply STRONG

HULCO®-ankkurointipultti on **kompakti ja kustannustehokas ratkaisu** raskaiden kuormien siirtämiseen erityisesti teollisuuskohteissa.

Optimoidun materiaalikäytön ansiosta **CE-merkityt HULCO®-pultit** ovat ympäristöystävällisempiä ja helpompia asentaa. Ne sopivat yhteen BOLDA®- ja SUMO®-kenkien kanssa - valikoima kattaa koot M30-M52.



MaxBe Oy

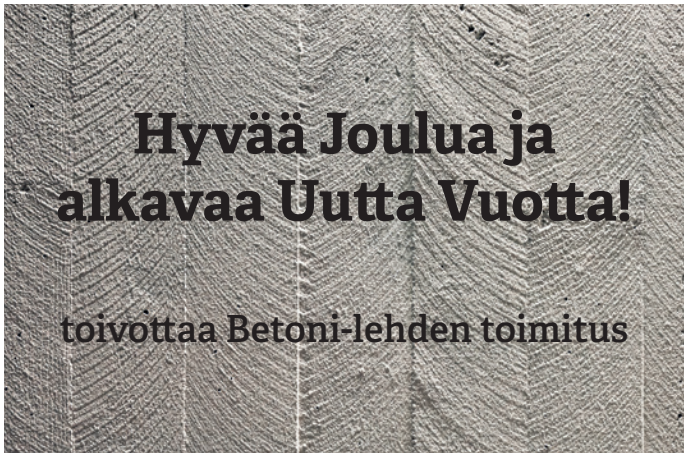
- Betonilattiat, puhdasvalupinnat, mosaiikkibetonit, arkkitehtoniset betonirakenteet, kiiltohionnat.
- Betonipatsaat, betonialtaat jne.
- Kauttamme myös huoltokäsittelyt ja laadukkaat betonin suoja-aineet asennettuna.

Max Vuorio, puh. 0400 841 158
Email: max.vuorio@maxbe.fi
https://betoni.guru

YBT

SCHWENK

Laadukkaat ja ympäristöystävälliset sementit
SCHWENK Suomi Oy / www.schwenk.fi



EVA®

Luotettavaa laatua ja palvelua vuosikymmenten ajan - nyt uudella tuotemerkillä EVA.

EVAshelters elementtiväestönsuojat

EVAmodules moduulikylpyhuoneet

Tutustu uudistettuihin kotisivuihimme!

Rakennusbetoni- ja Elementti Oy on vuonna 1966 perustettu suomalainen perheyritys ja Suomen johtava elementtiväestönsuoja-valmistaja sekä rohkea suunnannäyttäjä erikoisbetonituotteissa.

www.rakennusbetoni.fi

Lakka®

TEHDÄÄN HYVÄN RAKENTAMISESTA HELPPOA

MITTATARKAT PRO MUOTTI- JA VÄLISEINÄHARKOT SUOMEN SUURIMMALTA HARKKOTOIMITTAJALTA

VALMISTETTU SUOMESSA

KIVITALOT, PIHAKIVET, HARKOT, LAASTIT, TASOITTEET, ELEMENTIT JA VALMISBETONI www.lakka.fi

Betsetiltä saat kotimaiset betonielementit ja valmisbetonit vastuullisesti ja vähähiilisesti.

Betset Linker -palvelumme tekee projektinhallinnasta vaivatonta yhdistämällä työmaan ja suunnittelijat tuotantoomme digitaalisesti ja reaaliaikaisesti.

Varmistetaan yhdessä projektillesi onnistunut lopputulos!

myynti@betset.fi
040 3434 300

Kaikki harkkomme ovat nyt vähähiilisiä

LAMMI
harkko

Ajantasaista tietoa julkisivumarkkinoista - liity jäseneksi ja hanki jäsenetuhintaan

Julkisivuyhdistyksen jäsenenä saat ainutlaatuisen raportin julkisivumarkkinoiden kehittymisestä ja materiaalikohtaisista trendeistä jäsenetu-hintaan (2000,- € + alv). Liity siis jäseneksi.

Tutkimuksen on tehnyt Forecon Oy
Julkisivuyhdistyksen toimeksiannosta
vuodesta 2015 alkaen.

Lisätietoa jäsenyydestä ja tutkimuksesta toiminnanjohtaja Peter Lind,
toiminnanjohtaja@julkisivuyhdistys.fi, +358 40 356 5995

Julkisivuyhdistys
- laadukkaan julkisivurakentamisen puolesta

www.julkisivuyhdistys.fi

AINOA JA AITO

UMBRA

kemiallinen värjäyskäsittely.

Kemiallisella värjäyskäsittelyllä saadaan ympäristörakenteisiin kestävä, vivahteikas ja persoonallinen sävy.

Käsittely tehdään imeyttämällä betonipintaan kemikaaleja, jotka reagoivat sementin kanssa. Värisävyt voivat vaihdella pienelläkin alueella. Käsittely ei peitä betonin omaa mineraalista rakennetta. Umbra on kestävä ja helppohoitoinen ratkaisu, joka soveltuu sekä uusille että vanhoille betonipinnoille.

Käsittelyt toteuttaa:

ARTBETONI

Muurin suunnittelu: Kirsti Sivén & Asko Takala Arkkitehdit Oy.

Syitä syyllisten sijaan

1 Jussi Mattila

Betonirakentamisen laatuketjun toimivuus kyseenalaistettiin viime vuosikymmenen loppupuolella, kun alalla sattui peräkkäin kaksi isoa epäonnistumista. Näissä molemmissa suuri määrä betonia jouduttiin purkamaan vain muutamia kuukausia valun jälkeen. Onneksi isot ongelmat rajoittuivat näihin kohteisiin.

Tuolloin kaikki osapuolet pääsivät tarkastelemaan oman tekemisensä laatua. Ryhdistäytymisen varaa löytyi ja toimintaa parannettiin.

Vaikka edellä kuvatusta on kulunut vain runsaat puoli vuosikymmentä, ongelmia näyttäisi alkaneen esiintyä uudelleen. Monesti kyse vaikuttaa olevan siitä, että betonin tiivistäminen työmaalla on syystä tai toisesta jäänyt puutteelliseksi.

Miksi tiivistysongelmia esiintyy, vaikka betonia on valettu ja tiivistetty Suomessakin jo reippaasti yli sadan vuoden ajan? Taustalla saattaa olla useampikin asia, joita ei ole tiedostettu riittävän laajasti.

Betonin tiivistäjän eli niin sanotun vibramiehen tehtävä on raskas, eikä sitä taideta pitää kovin arvostettuna tai erityistä ammattitaitoa vaativana. Vibran käyttäjäksi saattaa päätyä vähäisellä kokemuksella ja perehdytyksellä, vaikka tehtävä on lopputuloksen laadun kannalta aivan ratkaiseva. Muotilla saattaa myös olla vibraajia liian vähän valun etenemistahtiin nähden.

Miksi vibraajasta näyttäisi tulleen laadun suhteen työmaan avainhenkilö?

Nykyiset suunnitteluohjeet ja -käytännöt näyttävät johtavan siihen, että paikka paikoin varsinkin järeiden rakenteiden raudoituksesta tulee sellainen, että betonin valaminen voi olla hyvin vaikeaa. Raudoitustankoja saattaa olla aivan vieri vieressä ilman kunnollisia valuaukkoja. Ongelmia seuraa, jos raudoitus alkaa seuloa betonia.

Infrabetonien äärimmäisen kireät säilyvyysvaatimukset taas ovat taustalla siinä, että valettavaksi saattaa tulla betonia, joka on tavanomaista sitkeämpää ja saattaa pyrkiä holvautumaan raudoituksen päälle. Tällainen tilanne edellyttää huipputarkkaa ja tehokasta tiivistämistä.

Betonimassan ominaisuuksiin vaikuttaa myös valmisbetonialan hintakilpailu. Betonitoimittaja löytää helposti itsensä tarjouskilpailun häntäpäästä, jos se suhteuttaa betoninsa helposti valettavaksi.

Miten tilannetta pitäisi sitten korjata? Nuo toimet eivät ikävä kyllä mahdu tähän pääkirjoitukseen, mutta kahden seikan toteamisesta voidaan aloittaa.

Laatua voisi olla hyvä tarkastella huomattavasti nykyistä kokonaisvaltaisemmin. Jos esimerkiksi betonin pakkasenkestävyyden virittäminen huippuunsa johtaa tilanteeseen, jossa betonia ei saada tiivistettyä, lopputuloksen laatu ei taida olla tavoitellun mukainen.

Kriittisimpien työsuoritusten valvontaa voisi myös olla tarpeen tehostaa. Siltaa saatetaan rakentaa vuoden verran, mutta laadun kannalta aivan ratkaiseva hetki on yhden vuorokauden kestävä valutapahtuma. Sillä, että työmaalla ei ole varaa pitää valvojaa ikävien ja kalliiden pikkutuntien ajan, saatetaan aiheuttaa arvaamattoman suuri vahinko.

Jos epäonnistuminen sattuu, on turha etsiä yhtä syyllistä. Kukaan ei luultavasti ollut aivan yksin syyllinen. Tai jos on, se on tapamme rakentaa.

Jussi Mattila, toimitusjohtaja, Betoniteollisuus ry

Ask why instead of who

The functioning of the quality chain in concrete construction was questioned in late 2010s, when two major failures occurred in the industry. In both cases, a large amount of concrete was dismantled only a few months after pouring.

All the parties involved were called to review the standard of their own performance. Often, the issue appears to be insufficient compaction of concrete on the site, for one reason or another.

Why do compaction problems occur although we have been pouring and compacting concrete in Finland for more than a hundred years already?

The task of the concrete compaction worker is a heavy one and maybe not seen as particularly valued or one that requires special professional skills. One may end up using the compactor, or concrete vibrator, with very little experience despite the significance of the task to the standard of the end result.

The current design guidelines and practices often make the pouring of concrete very difficult, particularly as a result of the reinforcement of heavy-duty concrete structures.

In infrastructure construction, on the other hand, compaction needs to be of high precision and efficient due to the extremely strict durability requirements for concrete.

Quality is a factor that should be reviewed much more comprehensively. For example, if the frost resistance requirements of concrete result in a situation where the compaction of concrete is impossible, the specified quality of the end result is not necessarily achieved.

It is necessary to impose more effective supervision of the most critical work phases. It may take a year to build a complex bridge structure, but the end quality depends on the pouring work carried out on one day. Concrete work supervisors are always needed on the worksite.

If a failure occurs, it is pointless trying to find just one culprit. No one person is to blame.

***Jussi Mattila**, Managing Director*
Association of Concrete Industry in Finland

Kestävä Kivitalo -palkinto 2024:

Pyynikin Trikoon peruskorjaus ja käyttötarkoituksen muutos

Kuvat: Wienerberger, DEAS Asset Management Finland Oy ja Sitowise/Sami Lamminen

Dakota Lavento, toimittaja
Leena-Kaisa Simola, toimittaja

Yli satavuotiaaseen tehdaskiinteistöön rakennettiin muun muassa korkeatasoisia asuntoja. Betonirunko ja massiivitiiliseinät säilytettiin lähes sellaisenaan.

Pyynikin trikootehdas perustettiin vuonna 1903 ja suurin osa tehdasaluetta rakennettiin vuosina 1934–1956. Arkkitehtina 1920-luvun molemmin puolin toiminut *Birger Federley* (1874–1935) loi perustan tehtaan yksinkertaisen selkeälle, klassistiselle julkisivuarkkitehtuurille. Tiivistä tehdasaluetta yhdistää julkisivuilmeeltään yhtenäinen punatiiliarkkitehtuuri.

Trikootehtaan toiminta päättyi 1990-luvun lopulla. Alueen rakennustaiteellisesti ja kulttuurihistoriallisesti arvokkaiksi luokiteltuja tehdaskiinteistöjä on 2010-luvun lopulta lähtien kehitetty johdonmukaisesti ja alkuperäistä ilmettä arvostaen. Nykyisin kiinteistökehittäjänä toimii DEAS Asset Management Finland.

Tehdaskiinteistö on suojeltu kaavassa. Pyynikin Trikoon alueen suunnittelu aloitettiin 2018 vanhan kaavan ollessa vielä voimassa. Uusi kaava tuli voimaan 2022.

DEASin kumppanina kaavan laadinnassa ja arkkitehtisuunnittelussa oli Arco Architecture Oy ja kohteen pääsuunnittelijana toimi arkkitehti *Jukka Leiwo*.

Toistaiseksi on valmistunut kaksi asuntoja ja palveluja sisältävää kiinteistöä As Oy Pyynikin Patruuna sekä As Oy Pyynikin Mestari, hotelli sekä maanalaisen pysäköintihallin peruskorjaus. Hotelli sekä pääosa palveluista ovat Kiinteistö Oy Pyynikin Trikoon ja Kiinteistö Oy Tampereen Pyynikin Vartijan tiloissa.

Tilasuunnittelun haasteita

Vaikka kyseessä on suojeltu kohde, kaava salli paitsi sisätilojen, myös julkisivujen muutokset, kunhan rakennustaiteelliset ja kulttuurihistorialliset arvot otettiin huomioon. Pyynikin Trikoossa toimi konservatorion tanssikoulu jo ennen konvertointia ja se jatkaa myös uusissa tiloissa. Uusiin, suuriin tiloihin saatiin sijoitettua monenlaisia palveluja, kuten kahvila, panimoravintola ja kuntosali.

Vanhan tehdasrakennuksen toiminta edellytti aikoinaan vapaata lattiatilaa, korkeutta ja toimintaa haittaavien rakenteiden minimoimista.

Vanhan teollisuuskiinteistön konvertointi asettaa aina haasteita suunnittelulle.

Teollisuusrakennukselle tyypillinen säännöllinen ikkunajako taas määritti pitkälle sitä, millaisia asuntoja tiloihin oli mielekästä tehdä.

– Koska rakennukset on alun perin suunniteltu teolliseen käyttöön, runkosyvyydet ovat suuria ja ikkunajako harva. Näin ollen asunnot ja hotellihuoneet kasvavat helposti epätaloudellisen suuriksi. Olikin haastavaa saada isoihin asuntoihin riittävä määrä makuuhuoneita, Jukka Leiwo sanoo.

Aikanaan teollisuuskäyttöön rakennetut syvärunkoiset rakennukset suunniteltiin keskikäytäväperiaatteella. Se toi nyt tarvittavaa joustavuutta tilasuunnitteluun. Ulkoseinärakenteiden yksiaineisuus ja massiivisuus oli myös etu.

– Asuntopohjien sovittaminen olemassa oleviin rakenteisiin edellytti tapaus- ja asuntokohtaista lähestymistapaa. Pohjaratkaisujen toistaminen ei ollut mahdollista, koska aukotuksissa ja rakenteissa oli eroavaisuuksia. Esi-

Pyynikin Mestari / Pyynikin Trikoon kiinteistön muuntaminen asunnoiksi
Osoite. Pyynikintie 25, 33230 Tampere
Rakennuttaja: Deas Asset Management
Projektinjohto (toimitilat) : A-Insinöörit Oy
Projektinjohto (asunnot) : Ramboll Oy
Pääsuunnittelija: Arco Architecture Company
Rakennesuunnittelu: Sitowise Oy (asunnot), Sweco Rakennetekniikka (toimitilat)
Pääurakoitsija: Aki Hyrkkönen Oy
Betonin toimittajat: Rudus Oy, Lujabetoni Oy
Pohjarakentaminen: Sitowise Oy
Sisustussuunnittelu: dSign Vertti Kivi & Co (asunnot), Design Studio Tom Dixon (toimitilat)
Työmaan aikataulu: 6/2021 – 12/2022
Bruttoala (neljäs vaihe): 7400 br-m²
Bruttoala (koko projekti): n. 50000 br-m²
Koko hankkeen kustannukset: n. 130 milj. €

Hankkeen aikataulu
As Oy Pyynikin Patruuna: 2018–2020
As Oy Pyynikin Mestari: 2020–2022
Kaupalliset tilat: 2020–2022
Maanalainen pysäköinti: 2020–2022
Asemakaavamuutos: 2018–2022
As Oy Pyynikin Kamreeri: selviää myöhemmin
As Oy Pyynikin Kisälli: selviää myöhemmin

1 Pyynikin Trikoon tehdasrakennusten betoniset pilari-palkkirunko ja välipohjat sekä vanhat punatiilijulkisivut säilytettiin peruskorjauksessa ja käyttötarkoituksen muutoksessa. **1**

2 Pyynikin Trikoon tehdas perustettiin Tampereelle 1903 ja suurin osa tehdasaluetta rakentui vuosina 1934–1956. Birger Federley (1874–1935) toimi Trikoon tehtaan arkkitehtina 1920-luvun molemmin puolin, jolloin hän loi perustan tehtaan yksinkertaisen selkeälle, klassistiselle julkisivuarkkitehtuurille. Pyynikin Trikoon alueen käyttötarkoituksen muutos perustui ajatukseen tehdaskorttelista pienenä kaupunkina. Uudistuksessa Arco Architecture Oy on ollut hankkeessa mukana niin kaavoituskumppanina kuin arkkitehtisuunnitelijana.

3 Asuntoja, hotelli, tanssikoulu, kahvila-ravintola, pienpanimo ja muita palveluja toimii alueella, joka on kuin kylä järven rannalla, mutta suurkaupungin kupeessa.

4 Pyynikin trikootehtaan rakennukset on suurimmaksi osaksi rakennettu 1923 – 1956.

2

3

4

merkiksi betonipilarien sijoittelu ei seurannut ikkuna-aukkojen rytmiä, Jukka Leiwo kertoo.

Suurin osa ikkunapenkeistä poistettiin ja ikkunoiden kokoa kasvatettiin. Ylimmässä kerroksessa yläpohjan uusimisen vuoksi ikkunoiden ylityspalkkeja jouduttiin tekemään uudelleen.

Asunnoissa näkyy talon historia. – Korkeat huoneet, tiilipintaiset vanhat ulkoseinät ja vanhat betoniset kattopinnat palkkeineen tuovat loft-henkeä, jossa vanha teollisuushistoria näkyy kauniisti.

Betonirakenteet kunnossa

Rakennusten kantavat rakenteet, eli teräsbetoninen pilari-palkkirunko välipohjineen ja muuratut massiivitiiliseinät olivat täysin käyttökelpoisia ja voitiin säilyttää lähes kauttaaltaan. Se kertoo rakenteiden huomattavan pitkästä käyttöiästä ja muuntojoustavuudesta.

Pyynikin Trikoon asuinrakennusten, pihakannen sekä autohallien rakennesuunnittelusta vastasi Sitowise.

– Alapohjarakenteet uusittiin jo siksikin, että perustuksia oli vahvistettava. Se tehtiin kahdella menetelmällä, suihkuinjektoinnilla ja maaperän geopolymeeri-injektoinnilla, Sitowisen korjausrakentamisen suunnittelujohtaja *Timo Raiski* kertoo.

Teräsbetonista välipohjarakennetta jouduttiin uusimaan heikon kunnon vuoksi vain noin 400 m² osuudelta. – Kiinteistössä on paljon kerroksellisuutta ja vanhimpia välipohjia oli kertaalleen jo uusittu 1930-luvulla. Tämä yksi osio oli jäänyt uusimatta, kohteessa projektisuunnittelijana työskennellyt *Sami Lamminen* selventää.

Yhdestä porrashuoneesta purettiin kauttaaltaan portaat ja keskipilari, jotta entinen porrashuone voitiin liittää osaksi viereisiä asuntoja. Muut vanhat porrashuoneet säilyttivät alkuperäisen käyttötarkoituksensa. Hissit uusittiin nykyisille sijainneilleen, joka edellytti tarkkaa hissisuunnittelua ja olevien rakenteiden vahventamista.

Betonirakenteet luonnollisesti tutkittiin huolella sekä suunnitteluvaiheessa että työn aikana. Sitowisen oma kuntotutkimustiimi teki rakenneavauksia moneen otteeseen aina, kun uusia rakenteita tuli vastaan. Timo Raiski haluaakin kiittää tilaajaa, joka ymmärsi rakennetutkimusten tarkoituksenmukaisuuden suunnitteluvaiheessa.

Laboratoriossa näytteistä selvitettiin haitta-aineet, kloridipitoisuudet, pakkasenkestävyys sekä veto- ja puristuslujuudet. Rakennelujuudet teollisuuskäyttöön mitoitetussa kiinteistössä eivät osoittautuneet ongelmaksi.

– Välipohjat oli aikanaan mitoitettu teollisuusrakennuksien kuormille, joten ei haitannut, vaikka päälle tuli uusia rakennekerroksia. Saimme ne kestämään sekä teoriassa että käytännössä, Timo Raiski sanoo.

Suurimmat rakenteelliset muutokset koskivat yläpohjia. Vesikattotasolle rakennettiin uusia IV-konehuoneita ja ylimpien kerrosten asuntojen kattoterasseja. Näiden uusien kuormitustapausten vuoksi vanhat yläpohjarakenteet päädyttiin pääosin uusimaan. Osa nykyisestä teräsbetonisesta yläpohjasta säilytettiin rakentamalla niiden yläpuolelle kuormansiirtorakenteita, jotka välittävät uudet kuormitukset suoraan kantaville pystyrakenteille. Uudet betoniset yläpohjarakenteet valettiin kohteen henkeen sopien paikalla ylälaattapalkistona. Kaikki näkyvät uudet betonipinnat ovat lautamuottipintaisia. Joissakin asunnoissa onkin nähtävissä sekä vanhaa että uutta betonista yläpohjarakennetta.

Pihakansi ja autotalli kuntoon

Kiinteistön keskellä sijaitsee pihakansi, joka oli aikojen saatossa aika tavalla vuotanut. Pihakannen ja osittain rakennusten alla sijaitsee autohalleja. Hallien lattiarakenteet oli uusittu jo aikaisemmin.

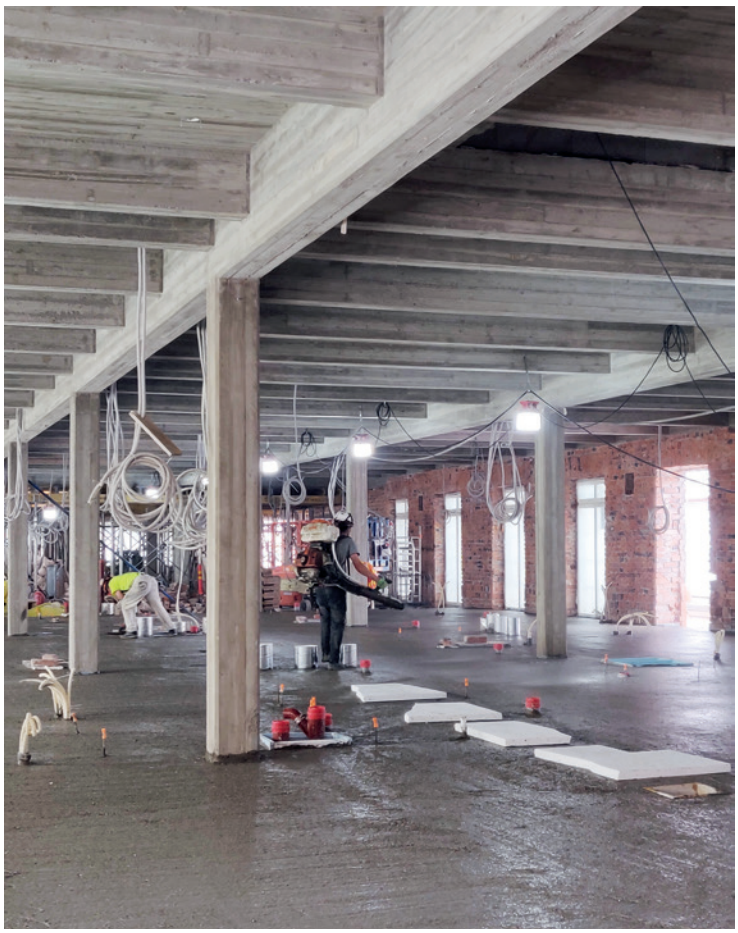
5

6

7

8

9



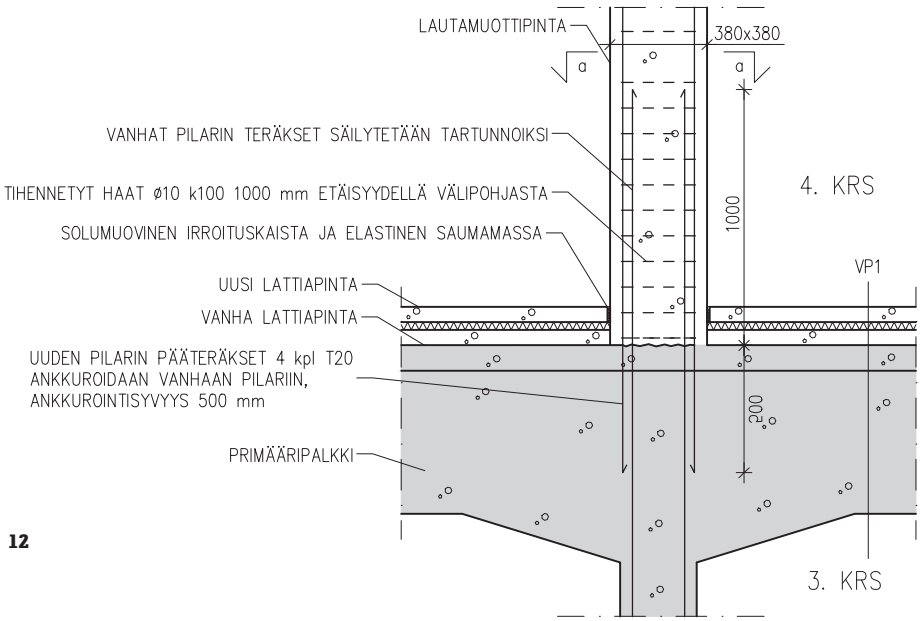
10

5 Rakennuksen päädyissä olleet kaarevat muurit oli uusittava.
6 Välipohjan raudoitukset valmiina.
7 Uusi teräsbetoninen yläpohja rakennettiin sääsuojassa. Pilarit muotitettiin siten, että niihin saatiin lautapinta.
8 Vanhojen betonipilareiden työnaikaisia tuentoja välipohjan purun jälkeen.
9 Alapohjat uusittiin ja perustuksia vahvistettiin suihkupaalutuksilla sekä geopolymeerein.
10 Välipohjan valun jälkihoitoa.

11 Teräsbetonisen yläpohjan sekundääripalkisto mukailee kohteen välipohjia. Osa tuennoista on vielä paikallaan.

12 Uusien pilarien alapään liitos.

11



12

Timo Raiski kertoo, että suunnitteluvaiheessa pohdittiin, pitääkö pilarijako ja kansirakenne uusia, että autopaikat saadaan mahtumaan nykyiselle autokannalle, mutta ne päätettiin säilyttää entisellään. Korkeutta hallissa on riittävästi jopa pakettiautolle.

Betonirakenteiden kunto selvitettiin huolella. Autohallissa ja pihakannen puolella piikattiin myös rakenneteräksiä esiin, jotta saatiin selville, vastasivatko ne suunnitelmia. Osoittautui, että ne osin jopa ylittivätkin suunnitellut.

Peruskorjauksessa säilytettiin pilaripalkkirunko ja kantava kansilaatta. Paikalliset korjaukset tehtiin ylä- ja alapuolelta, kallistuksia korjailtiin ja lopuksi valettiin uudet pintarakenteet.

Haastavat valut

Kohteen pääurakoitsija oli Aki Hyrkkönen Oy. Tiiviisti rakennetulla tehdasalueella rakentaminen on monella tavoin haastavaa. Pyynikin Mestaria rakentaessa piti ottaa huomioon, että asukkaat olivat jo muuttaneet Pyynikin Patruunaan. Alueella sijaitsee myös aiemmin rakennettuja asuinkerrostaloja.

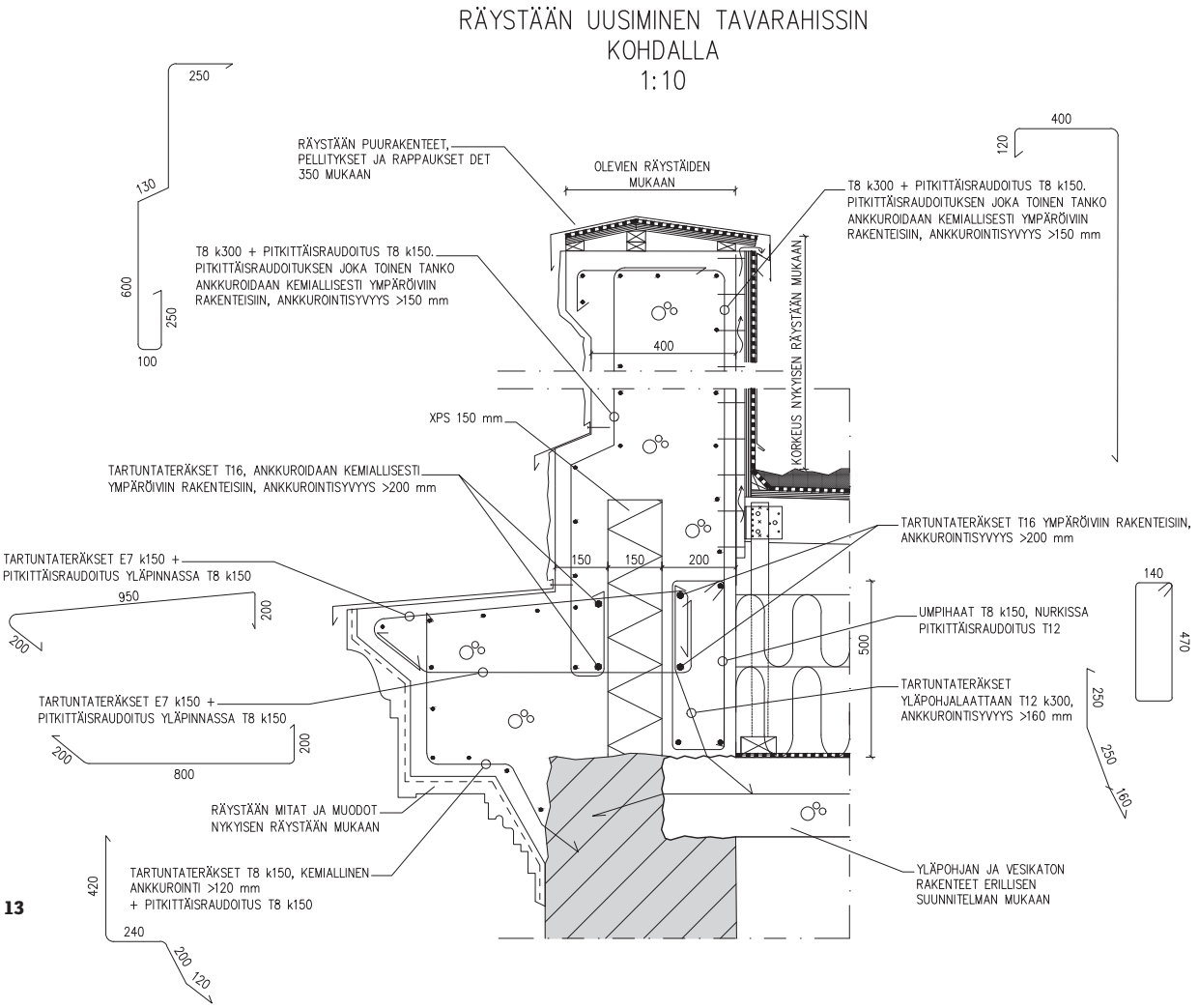
– Asuinrakennuksiin tehtiin mm. uusia kattoholveja, pilareita, maanvaraisia laattoja, vanhojen välipohjien oikaisu- ja kapselointivaluja, uusien oviaukkojen tukipalkkeja ja räystäskorotuksia. Vanhojen välipohjien oikaisujen päälle tuli askeläänieristeet, joihin kiinnitettiin lattialämmitysputkistot. Päälle valettiin pintalaatta. Betonipumppujen puomien ja valuletkujen sisään syöttämiseen valujen yhteydessä käytettiin parvekeovia varten purettuja vanhojen ikkunoiden alapuolia. Letkulinjojen letkut jouduttiin pääosin kantamaan käsin porrashuoneiden kautta, koska ei useinkaan ollut tilaa nostaa letkuja puomin päässä roikottamalla, työnjohdossa työskennellyt *Juho Ylikärppä* muistelee.

Pyynikin Mestarin ja ajoväylän välissä on kaksikerroksinen rakennus. Yksi suuren tukimuurin valu on jouduttu toteuttamaan pumppaamalla massaa olemassa olevien rakennusten yli.

– Vesikaton uudet betoniholvit valettiin tarpeeksi isolla pumpulla, joten sääsuojan lohkoja avaamalla saatiin ainakin suurin osa valettua ns. ”roikkovaluna”. Letkulinjalla valettiin, minne puomilla ei yltänyt. Pisimmät letkulinjat olivat 50 metrin luokkaa. Pisimpien letkulinjojen letkuja pyrittiin kastelemaan vedellä ennen betonin pumppaamista. Betonin piti olla lattiasuhteutuksella, että se saatiin tulemaan linjasta läpi, Ylikärppä kertoo.

Parkkihallin sisään tehtiin pilarien juurien kuivatuskorjauksia ja niiden valmistuttua lattialaattojen korjausvaluja pilarien ympärille. Parkkihallin kannen päälle valettiin uudet kallistusvalut uusille kaivoille. Veden- ja lämmöneristysten jälkeen valettiin osittain lopullista pintalaattaa ja osittain suojalaattaa kiviasennusten alustaksi.

Parkkihallin holvin valut pystyttiin pääosin tekemään pumilla tai pumpulla ns. ”roikkovaluna”, kun kallistusvalut saatiin valettua ja valuautot ajettua kannen päälle. Parkkihallin sisään pilarien juureen tehtävät valut tehtiin ränniauton perästä, Avantin kauhalla. Muut letkulinjaa vaatineet valut, kuten uuden oviaukon ylityksen tukipalkin ja iv-konehuoneen lattian kallistusvalu saatiin tehtyä parkkihallin kannessa olleista tai siihen tehdyistä varausaukoista.



13

Pyynikin Patruunaan ja Mestariin käytettiin betonia noin 4000 m³ ja parkkihalliin noin 1500 m³.

Pyynikin Patruunan betonit tulivat Rudukselta, kun taas Pyynikin Mestarin ja parkkihallin betonit Lujabetonilta. Betonilaadut ja rasitusluokat vaihtelivat sijoituspaikan mukaan. Usein piti kuitenkin käyttää lattiasuhteutusta ja notkeaa massaa, jotta betonit saatiin linjoista ulos.

– Hyvällä työnsuunnittelulla haastavista valuista selvittiin kunnialla, Ylikärppä kertoo.

Järkevää säilyttämistä

Pyynikin Trikoon peruskorjaus ja käyttötarkoituksen muutos ovat erinomainen esimerkki kivirakentamisen kestävyydestä ja muuntojoustavuudesta.

– Hankkeessa oli tavoitteena säilyttää niin paljon kuin mahdollista, ja niin myös tehtiin, Timo Raiski vakuuttaa. Hänen mukaansa Pyynikin Trikoon peruskorjaus ja käyttötarkoituksen muutos todistaakin, että yli satavuotiaat betonirakenteet voivat olla vielä aivan hyötykäytettävissä. –Toki tässä kohteessa ne olivat olleet säältä suojassa, mikä oli edesauttanut säilymistä.

– Betoni on hieno materiaali. Pyynikin trikoon rakennuksilla on jo tullut sadan vuoden käyttöikä täyteen ja peruskorjauksen sekä käyttötarkoituksen muutoksen jälkeen se edelleen pitenee.

Vanhojen rakenteiden säilyttäminen oli sekä taloudellisesti että ympäristön kannalta järkevää.

– Purkaminen, purkujätteen käsitteleminen, uusien materiaalien valmistaminen ja uudelleen rakentaminen on kallista ja kasvattaa hiilijalanjälkeä. Tampereelle saatiin suhteellisen pienillä päästöillä paljon lisää uusia asuinneliöitä, Sami Lamminen jatkaa. – Ja mitä enemmän säilytetään vanhaa, sitä parempi ilmaston ja rakennushistorian kannalta.

– Uudishankkeeseen verrattuna tämän tyyppinen säilyttävä peruskorjaus tuottaa 40–50 prosenttia vähemmän hiilidioksidipäästöjä, Jukka Leiwo vahvistaa. – Arkkitehtuurin historiasta tiedetään, että umpitiiliseinät ja betonirakenteet kestävät hyvin aikaa. Hyvällä syyllä voidaan olettaa, että Pyynikin Trikoonkin rakennukset kestävät vielä pitkään, vaikka talotekniikka ja käyttötarkoitukset muuttuisivat vielä moneen kertaan.

Pyynikin Trikoon alueella on valmiina jo noin 150 asuntoa. Lisää on tulossa saman verran. Rakennuttajalla on vielä kaksi entistä Pyynikin Trikoon teollisuusrakennusta uutta käyttöä odottamassa. •

13 Kohteen monimuotoinen muurattu räystäs uusittiin paikallisesti teräsbetonivalulla.

14 Korkeisiin tehdassaleihin saatiin yksilöllisiä, tyylikkäitä loft-asuntoja, joissa betonipinta on kauniisti esillä. Pyynikin Trikoon asuntojakauma painottuu perheasuntoihin, mutta tarjolla on myös yksiöitä. Pyynikin Trikoossa toimii lisäksi 150 huoneen hotelli.

14

15

16

17

15 Uusi valettu yläpohja, johon lautamuottipinta tuo alkuperäistä tunnelmaa. Vanha tiilipinta otettiin asunnoissa mahdollisuuksien mukaan näkyviin. Muuraustavassa oli rakennusajasta ja rakennuksesta riippuen vaihtelua.

16 Asunnon yläpohjassa on näkyvissä sekä vanhaa että uutta yläpohjarakennetta. Etualalla vanhaa palkistoa ja takana uutta.

17 Rouhea tehdasmiljöö näkyy asuntojen tiiliseinissä ja paikalla valettujen välipohjien rakenteissa.

Kestävä Kivitalo -palkinto

Kestävä Kivitalo -ryhmä jakoi tänä vuonna myös kaksi kunniamainintaa. Ne saivat As Oy Helsingin Muurarimestarin rakennuttaja Kestävät Kodit Oy ja kohteen suunnittelija Avarrus arkkitehdit Oy sekä Asunto Oy Töölön Castellum, Helsingin rakennuttaja EKE Rakennus Oy ja kohteen suunnittelija Arkkitehdit Kirsi Korhonen ja Mika Penttinen Oy.

Kestävä Kivitalo -palkinto myönnetään yrityksille ja yhteisöille, jotka ovat osallistuneet laadukkaasti tiilestä ja betonista paikalla rakennettujen rakennusten toteutukseen. Toiminnalle luotiin suuntaviivat vuonna 1994 Rudus Oy:n (silloinen Lohja Rudus) aloitteesta.

Vuoden 2024 palkinnon sai Pyynikin Trikoon tehdaskiinteistön muuttaminen asuin- ja liiketiloiksi. Kunniamaininnan saivat As Oy Helsingin Muurarimestarin ja As Oy Töölö Castellum, Helsingin toteuttajat.

Aikaisemmin on palkittu mm. seuraavien kohteiden toteuttajat: Ajurien Asunto Oy Punavuori eli nk. Ajurien tallin peruskorjaus asunnoiksi, Tikkurilan kirkko, Kurjenlinnan sairaala-alueen kehittäminen ja peruskorjaus, As Oy Toppilan Punainen Mylly ja Turun Telakkaranta.

Kestävä Kivitalo -ryhmän yhteistyöyritykset ovat Rudus Oy, Wienerberger Oy Ab, Betoniteollisuus ry, Celsa Steel Service Oy, Peri Suomi Ltd Oy ja Finnsementti Oy.

Lisätietoja: https://www.kivitalo.fi

Durable Stone House Award 2024 goes to developer and architects of Pyynikin Trikootehdas in Tampere

The old industrial buildings once occupied by the tricot manufacturers Pyynikin Trikootehdas are once again full of life – now as high-quality housing and versatile commercial facilities that form an active village community of its own.

The tricot factory founded in the Pyynikki area of Tampere in 1903 is a central part of the industrial history of Finland as a whole.

The operation of the tricot factory was wound down in late 1990s. The factory buildings of the area, classified to be of high value in terms of their architecture and cultural history, have been redeveloped since the end of the 2010s, in homage to their original appearance. The area now features high-standard unique apartments, a hotel, a dance school, a cafeteria-restaurant, a small brewery, and other services.

The factory property is protected in the town plan, but the amendment of the plan was designed together with the town focusing on a solution driven approach.

At present, there are already some 150 finished apartments in the Pyynikin Trikoo area. And about as many more are to be built.

The apartments reflect the history of the building. High ceilings, old external brick walls and concrete ceiling surfaces with beams create a loft atmosphere that makes its industrial history visible.

The 2024 Durable Stone House Award, which is a prize awarded to businesses and communities for implementation or renovation of high-quality brick and cast-in-situ buildings, went to the developer and the architects of Pyynikin Trikoo.

Pyynikin Trikoo is also an excellent example of a renovation project that creates savings in building materials and airborne emissions in comparison with demolition and new building.

Maanlumo

Maanlumo

1

Rouhea menneisyys näkyy Pyynikin Trikoon ulkotilojen ilmeessä

Teresa Rönkä, maisema-arkkitehti MARK
Maisema-arkkitehtitoimisto Maanlumo Oy
teresa.ronka@maanlumo.fi

Pihasuunnittelu: Maisema-arkkitehtitoimisto Maanlumo Oy: Teresa Rönkä, Annalinda Paakkolanvaara, Liisa Dahlqvist
Asemakaavamuutos- ja toteutussuunnittelu: vuosina 2018–2022

Maisemallisesti tehdasalue sijoittuu Pyynikinharjun luonnonsuojelualueen sekä Pyhäjärven rantapuistovyöhykkeen väliin.

Tehdaskompleksi asettuu Pyynikinharjun rinteeseen porrastuen, joten rakennukset ja niiden väliin jäävät pihatilat ovat eri tasoissa ja niiden väliset korkeuserot ovat suuret.

Ulkotilat muodostavat yhdessä rakennusten kanssa tilallisesti kiinnostavan, eri tasoissa olevien sisäpihojen sarjan, joista avautuu vaihtelevia näkymiä tilasta toiseen.

Korkotasojen sekä hulevesien käsittelyn suunnittelu vaativat vanhassa, suojellussa kohteessa erityistä huomiota.

Ulkotilojen suunnittelussa oli keskeistä yksityisen ja julkisen ulkotilan jäsentely.

Asunnot avautuvat sisäpihoille, joille on kasvillisuuden avulla luotu vihreitä suojavyöhykkeitä.

Asumisviihtyisyyden lisäksi kasvillisuudella on tärkeä rooli myös hulevesien käsittelyssä, sillä kaikki piha-alueet olivat kokonaan asfaltoituja ennen muutossuunnittelua.

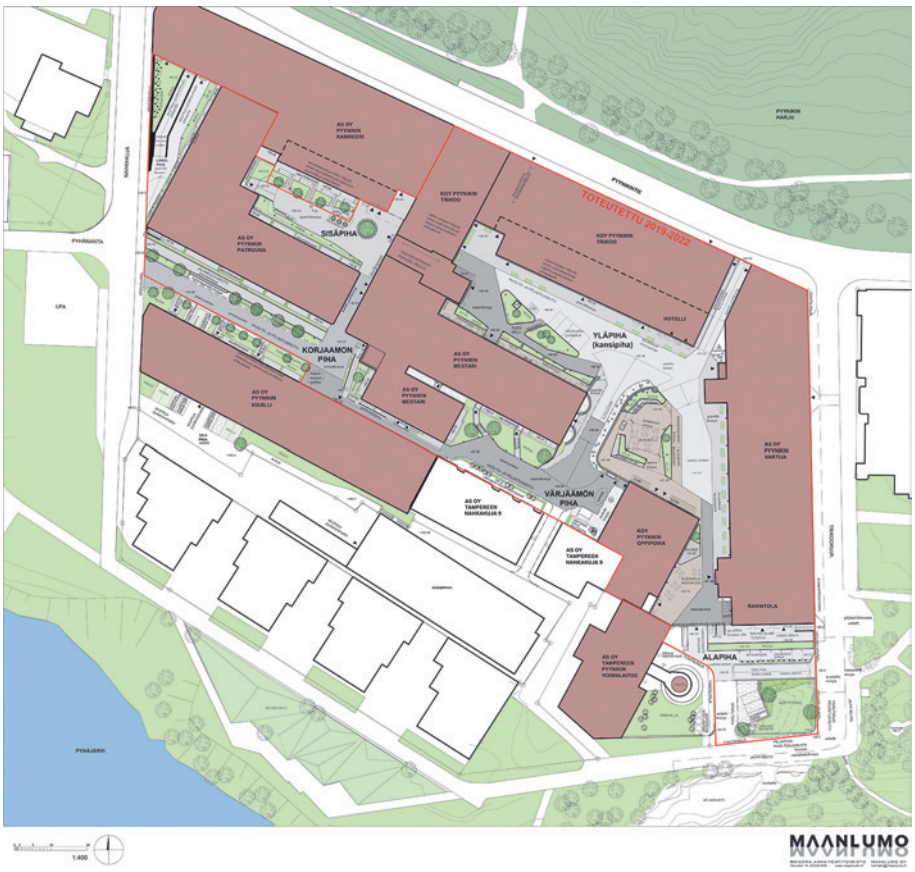
Maanvaraisten pihojen lisäksi istutuksia haluttiin myös kunnostetun pysäköintihallin kannen päälle ja ne toteutettiin korotettuina istutusaltaina, mutta kasvillisuuden määrää rajoittivat mm. vanhojen rakenteiden kantavuus.

Pensasvaltainen kasvillisuus muuntuu sisäpihoilta rantaa kohti luonnonmukaisemmaksi. Ainavihantia kasveja on käytetty paljon. Luon-

1 Kansipihalla korotettuihin istutusaltaisiin tehtyjen istutusten määrää rajoitti mm. vanhojen rakenteiden kantavuus.

2 Pinnakaiteissa ja asuntoterassien detaljeissa korostuu mustaksi maalattu teräs. Pihakannen istutusaltaat ovat corten-terästä.

2



3

3 Pyynikin Trikoon ulkotilat muodostavat yhdessä rakennusten kanssa tilallisesti kiinnostavan, eri tasoissa olevien sisäpihojen kokonaisuuden. Vanhassa, suojellussa kohteessa korkotasojen ja hulevesien käsittelyn suunnittelu vaativat erityistä huomiota.

4 Suurin osa alueen suojelluista betonimuureista ja alkuperäisistä ajoluiskista kunnostettiin tai uusittiin. Pysäköintihallin kannen valubetonipinta muodostaa jatkumon pihan suojeltujen betonimuurien kanssa.

5 Kasvillisuuden avulla piha-alueille on luotu vihreitä viihtyisiä suojavyöhykkeitä, mutta kasvillisuudella on kokonaan asfaltoiduilla pihoilla tärkeä rooli myös hulevesien käsittelyssä.

6 Patinoitujen betonikivien väri toistaa osittain myös julkisivujen sävyjä.

Maanlumo

nonläheiset lajit, kuten heinät ja pajut ohjaavat rannan suuntaan ja puiston kulmalla on tehty pieni kukkiva niittyrinne pörriäisiä varten.

Ulkotiloihin valitut materiaalit, luonnonkivi, betoni ja teräs, sitovat ulkotilat tehtaan punatiilirakennusten arkkitehtuuriin. Pyöreät luonnonkivet viittaavat Pyynikinharjuun ja asuntopihojen kiveyksissä käytetyt graniittilaatta ja -nupukiveykset yhdistyvät rakennusten massiivikiviportaisin ja sokkeleihin.

Kustannussyistä osa kiveyksistä on patinoituja betonikiviä, joiden väritys pyrkii toistamaan myös tiilijulkisivujen sävyjä.

Kunnostetun pysäköintihallin kannen laaja asfalttipinta korvattiin valubetonilla ja se muodostaa jatkumon pihan suojeltujen betonimuurien kanssa.

Kannen säilyviin lattiakorkoihin ja vanhoihin rakenteisiin perustuva monimuotoinen ja loiviin pintakallistuksiin johtava geometria teki betonipinnan suunnittelusta ja toteutuksesta haastavan.

Myös suurin osa alueen betonimuureista ja ajoluiskista kunnostettiin tai uusittiin.

Teräksiset pergolat, kaiteet ja istutusaltaat muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden rakennusten detaljien kanssa.

Mustaksi maalattu teräs toistuu pinnakaiteissa sekä asuntoterassien detaljeissa. Pihakannen istutusaltaat ovat corten-terästä •.

Pihamateriaalit:
Valubetoni: hierretty valubetoni, RAK-suunnitelmien mukaan
Betonin toimittajat: Rudus Oy, Lujabetoni Oy

Luonnonkivipinnat: graniittinupukivi, madallettu, 140×220×60mm, ristipäähakattu ja kaikki sivut sahattu, väri harmaa.
Luonnonkivireunukset: gr-reunus 2, 200×500–1000×450 mm, yläpinta poltettu, päädyt sahattu, etu- ja takareuna poltettu, väri Kurun harmaa.
gr-reunus 3 200×500–1000x erikoiskorkea 350 mm, yläpinta poltettu, päädyt sahattu, etu- ja takareuna poltettu, väri Kurun harmaa.
grk R170, suora reunakivi, 170×270×900–2200 mm, harmaa, näkyvät pinnat karkeahakattu, taustan pystypinta sahattu sekä tarvittavat kaarre- ja sovitekivet
grk R220 suora reunakivi, 220×270×600–1500 mm, karkeahakattu, harmaa
grk2 V220 viistetty reunakivi, 220×270×1000 mm, karkeahakattu, harmaa
grk3 R80 suora reunakivi, 250×80×600–1500 mm, karkeahakattu, harmaa
Rakennuksiin liittyvät portaat ja tukimuurit ARK-suunnitelmien mukaan.

Betonikivet: Betonilaatta Oy
Iso sauvakivi (betonikivi) 278×138×80 mm, viisteetön, patinoitu, väri musta ja punamusta
Pieni sauvakivi 208×68×80 mm, viisteetön, sileä, 40% punainen, 50% hiekanruskea, 10% ruskea,

Maanlumo

4

Maanlumo

5

Maanlumo

6

Artikkelisarja julkisivukorjaamisesta
Osa 1/4:

Julkisivujen korjausprosessi kuntotutkimuksesta toteutukseen ja betonijulkisivun korjausvaihtoehdot

Stina Hyyrynen, dipl. ins.
Julkisivuyhdistys – JSY ry
hallituksen puheenjohtaja
A-Insinöörit Suunnittelu Oy,
Ulkovaipparakenteiden kehityspäällikkö
stina.hyyrynen@ains.fi

Julkisivuja korjataan edelleen vain puolet laskennallisesta korjaustarpeesta, vaikka korjaamisen määrä onkin kasvanut vuosittain. Tämä selviää Julkisivuyhdistys – JSY ry:n teettämän ja Forecon Oy:n tuottaman Julkisivujen markkinat Suomessa 2024 raportista.

Julkisivukorjaamisen prosessin eri vaiheet on syytä tuntea, jotta hanke etenee onnistuneeseen lopputulokseen. Tässä artikkelissa käsitellään betonijulkisivun korjausprosessia. Sama kaava soveltuu myös muiden julkisivurakenteiden tai yleisemminkin korjausrakentamisen hankkeisiin. Lisäksi käsitellään betonijulkisivujen vaihtoehtoisia korjausmenetelmiä.

Tarkemmin korjaushankkeen kulusta tai eri korjausvaihtoehdoista voi lukea Julkisivuyhdistys – JSY ry:n tuottamasta JUKO-ohjeistokansiosta. Betonijulkisivujen korjausmenetelmien yleiskuvaukset sekä niihin liittyvät suunnitteluohjeet on käsitelty osiossa F.

Hallitussa julkisivukorjauksessa kunnossapidon pohja luodaan kiinteistönpitostrategialla. Kuntotutkimuksilla selvitetään julkisivun kunto, korjaustarve ja korjausmahdollisuudet. Hankesuunnittelussa vertaillaan eri vaihtoehtoja ja suunnittelussa tehdään yksityiskohtaiset suunnitelmat valittuun korjaustapaan. Korjausvaiheessa ammattitaitoiset tekijät, valvonta ja laadunvarmistus ovat tärkeässä osassa.

Julkisivukorjaaminen on erikoisosaamista, jossa eri vaiheille on varattava riittävästi aikaa ja taloudellista panostusta.

Kunnossapitotoimenpiteiden ajoitus on optimointia

Julkisivun elinkaaren hallinnassa keskeisenä on säännöllinen huolto ja ylläpito. Kunnossapito voi olla vain vikojen korjaamista, mutta suositeltavampaa olisi ohjelmoitu ja tavoitteellinen kunnossapito. Kunnossapidon taustalla on yleensä pääoman arvon turvaaminen. Ennakoivilla toimenpiteillä pystytään merkittävästi vähentämään tarvittavien korjaustoimenpiteiden perusteellisuutta.

Tärkeä osa elinkaaren hallintaa ovat kuntoarviot ja julkisivujen osalta erityisesti kuntotutkimukset, sillä useat vauriotyypeistä eivät näy pinnalle ennen kuin ne ovat edenneet jo pitkälle. Julkisivuilta tarvitaan tietoa myös alkavista vaurioista ja piilevistä ongelmista, jotta niihin voidaan reagoida ajoissa ja ennaltaehkäistä niiden kehittymistä.

Jatkossa ilmastonmuutos rasittaa erityisesti julkisivuja kasvavan viistosademäärän takia. Kunnossapitosyklit oletettavasti lyhenevät jatkossa. Julkisivujen elinkaarta voidaan hallita eri kiinteistönpitostrategioiden mukaisesti. JUKO-ohjeistokansiossa eri strategiat on jaoteltu seuraavasti: ennakoiva, suunnitelmallinen, tarpeenmukainen tai kunnossapidosta luopuminen.

Aina ei välttämättä ole taloudellisia mahdollisuuksia valita haluttua kiinteistönpitostrategiaa tai kohteen sijainti asettaa haasteet strategian valintaan. Valitettavan useassa kiinteistössä strategiana on tarpeenmukainen kunnossapito, mikä usein ajaa perusteellisempiin korjauksiin kuin esimerkiksi ennakoivassa tai suunnitelmallisessa kiinteistönpitostrategiassa.

Julkisivuyhdistys – JSY ry:n tuottama artikkelisarja julkisivukorjaamisesta

1. Julkisivujen korjausprosessi kuntotutkimuksesta toteutukseen
2. Asiantuntijaosaamisen merkitys hankkeissa – pätevyydet julkisivukorjaamisessa
3. Korjauksen sisällön optimointi julkisivuhankkeessa
4. Arkkitehtuurin ja suojelun vaikutus julkisivukorjauksen prosessiin

1 Julkisivussa tehty perusteellinen pinnoitus ja paikkauskorjaus. **1**

A-Insinöörit

C C

A-Insinöörit

2

A-Insinöörit

3

2 Betonijulkisivun näytteenottoa.

3 Tiililaattapintaisia julkisivunäytteitä.

Julkisivun teknisen kunnon selvitys avainasemassa

Julkisivun elinkaaren hallinnassa on olennaista, että tehdyt toimenpiteet ovat suunniteltuja ja oikein ajoitettua. Jotta tähän päästään, tarvitaan tietoa julkisivun teknisestä kunnosta.

Kuntoarvio on ennakoivaa ja systemaattista huolenpitoa rakennuksen arvon säilyttämiseksi. Kuntoarvio toimii pitkän tähtäimen suunnitelman (PTS) pohjana ja käsittelee usein koko rakennusta. Julkisivuista kuntoarviolla saadaan selville usein vain jo pitkälle edenneitä vaurioita, sillä arvio perustuu ainetta rikkomattomiin menetelmiin ja silmämääräiseen havainnointiin. Kun halutaan tarkempaa tietoa julkisivuista, täytyy mennä pintaa syvemmälle. Tällöin saadaan selville myös piilossa olevat viat ja alkava vaurioituminen, jolloin voidaan hidastaa niiden etenemistä tai ennaltaehkäistä merkittävämpää vaurioitumista ajoissa.

Kuntotutkimuksessa on myös tärkeää selvittää rakenteet ja materiaalit sekä niiden ominaisuudet, jotta korjausmenetelmät ja korjaustuotteet voidaan valita oikein. Tutkimus tehdään systemaattisesti käyttäen eri tutkimusmenetelmiä. Rakenteista selvitetään eri vauriotapojen syyt, aste, laajuus, vaikutukset ja eteneminen. Betonirakenteilla kuntotutkimus sisältää näytteenottoa ja laboratoriotutkimuksia. Kuntotutkimus on suositeltavaa ajoittaa lämpimään ja valoisaan vuodenaikaan, jotta lumi ja pakkanen eivät haittaa tehtäviä havaintoja ja käytettäviä mittalaitteita.

Betonirakenteiden kuntotutkimuksille on ollut ohjeistusta jo 1990-luvulta lähtien ja vuonna 2014 myös tilaajan ohje helpottamaan kiinteistönomistajaa kuntotutkimuksen tilaamisessa. Voimassa oleva ohjeistus *by 42 Betonirakenteiden kuntotutkimus 2019* on vuodelta 2019. Tilaajan ohjeessa on määritelty myös vähimmäistaso luotettavan kuntotutkimuksen näytemäärille. Vaikka käytännöt ovat olleet jo pitkään vakiintuneita, silti kuntotutkimusten sisällössä ja laadussa on edelleen paljon vaihtelua. Kaikkialla ei osata vaatia vähimmäistasoa tutkimuksille tai pätevää kuntotutkijaa, jolla on FISEn myöntämä betonirakenteiden kuntotutkijan pätevyys.

Myös rapatuille rakenteille on ollut kuntotutkimusohjeistusta, by 44 vuodelta 1998. Vuonna 2020—2021 ohjeistusta täydennettiin Julkisivuyhdistyksen käynnistämässä MuRaKu-hankkeessa muuratuilla rakenteilla, eristerappauksilla ja yleisellä perustiedolla. Tästä syntyi *by 75 Muurattujen ja rapattujen rakenteiden kuntotutkimus sekä tilaajan ohje.* Vuoden 2023 lopulta lähtien myös muuratuille ja rapatuille rakenteille on voinut hakea FISEn myöntämää kuntotutkijan pätevyyttä.

Kuntotutkimuksessa ei kannata säästää. Puutteellinen kuntotutkimus tai sen puuttuminen kokonaan johtaa joko ali- tai ylikorjaamiseen, jossa kuluu tilaajan rahoja kymmen-satakertainen määrä kuntotutkimuksen kustannuksiin nähden. Kuntotutkimuksen perusteella tehdään taloudellisesti merkittäviä päätöksiä, jolloin sen toteutukseen ja pätevien kuntotutkijoiden hyödyntämiseen on syytä panostaa.

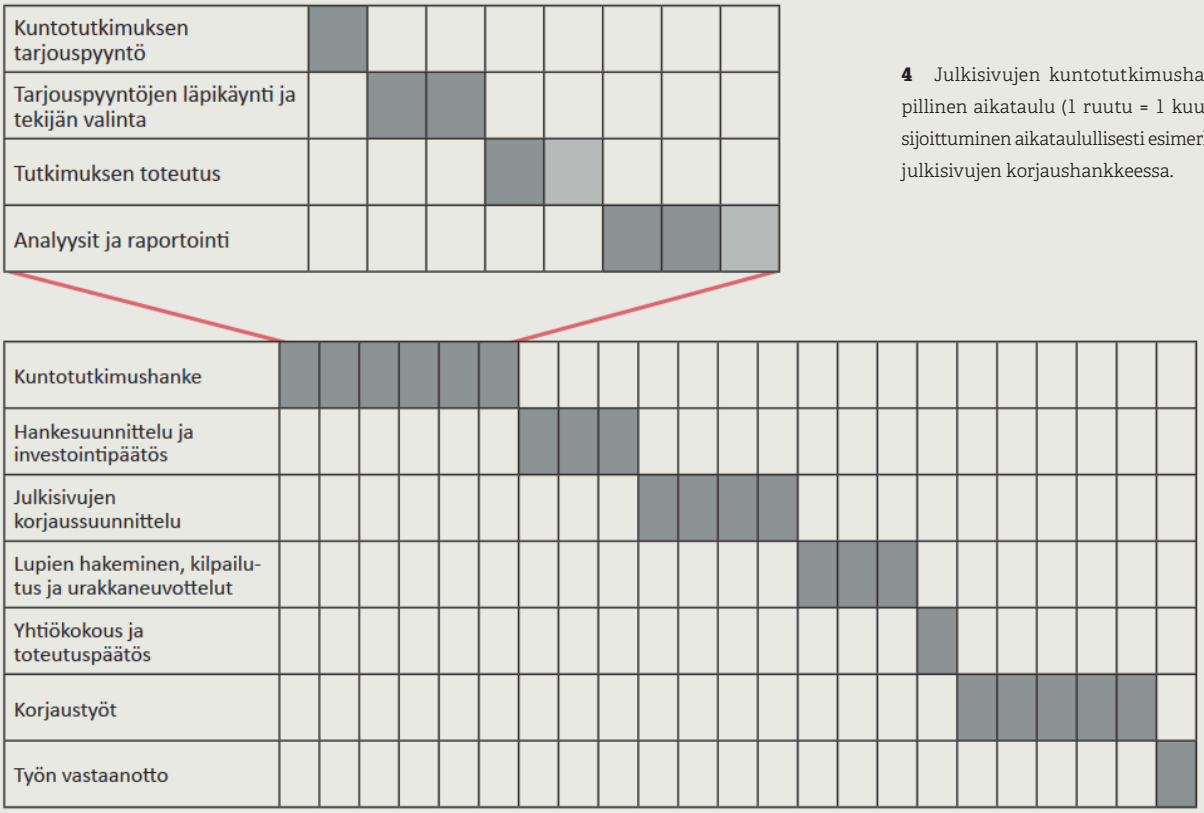
Hankesuunnittelussa etsitään tilaajan tavoitteet täyttävä korjausratkaisu

Hankesuunnittelussa valitaan kuntotutkimuksessa selvinneistä julkisivun teknisistä korjausvaihtoehdoista tilaajan kriteerit täyttävä vaihtoehto. Korjaustapaa voidaan arvioida teknisten, taloudellisten, arvopohjaisten tai yhteiskunnallisten tekijöiden pohjalta.

Hankesuunnittelun vertailussa arvioidaan kuntotutkimuksessa selvinneiden teknisten korjausmahdollisuuksien erilaisia ominaisuuksia, kuten muun muassa korjauksella saavutettava mahdollinen energiansäästö, investointikustannukset, huoltoväli ja huoltokustannukset, käyttöikä ja ulkonäkö.

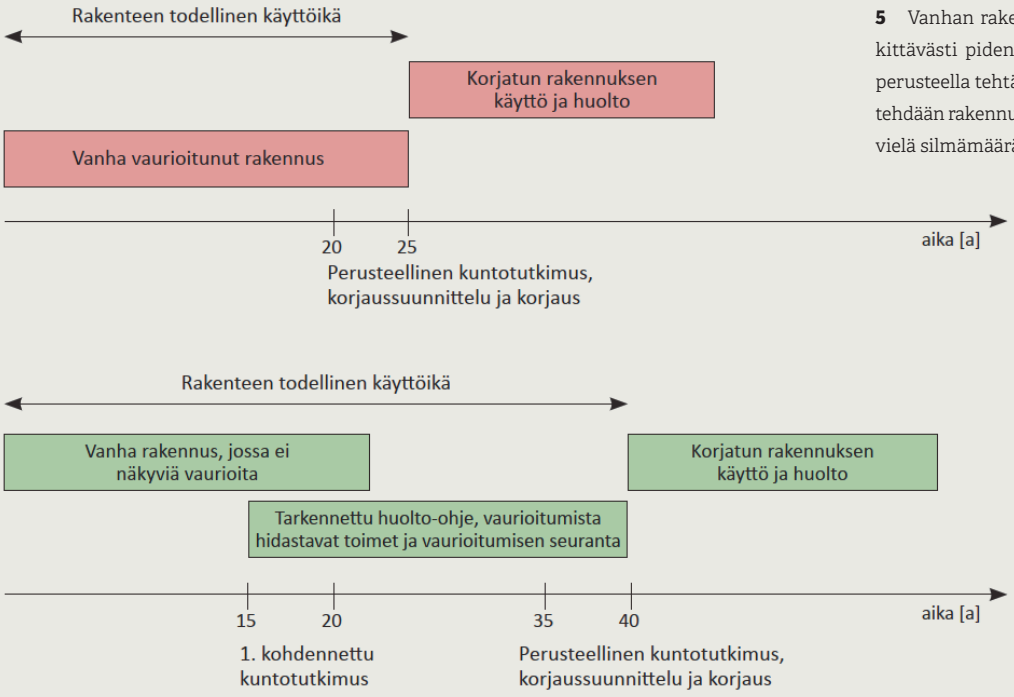
Korjausmenetelmää ja julkisivumateriaalia valittaessa kannattaa kiinnittää huomiota kohteen rasitusolosuhteisiin, haluttuun käyttöikään, korjauskustannuksiin ja huoltotarpeeseen ulkonäön lisäksi. Joskus kaupunkikuvalliset arvot tai suojelumääräykset rajaavat

Kuntotutkimuksen aikataulu, JUKO-ohjeistokansio



4 Julkisivujen kuntotutkimushankkeen tyypillinen aikataulu (1 ruutu = 1 kuukausi) ja sen sijoittuminen aikataulullisesti esimerkinomaisessa julkisivujen korjaushankkeessa.

Kuntotutkimuksen ja korjaustoimien ajoittaminen, JUKO-ohjeistokansio



5 Vanhan rakenteen käyttöikää voidaan merkittävästi pidentää, kun kuntotutkimus ja sen perusteella tehtävät, vaurioita hidastavat toimet tehdään rakennukseen, jossa vaurioitumista ei ole vielä silmämääräisesti havaittavissa.

A-Insinöörit

6

käytettävää korjaustapaa tai määrittelevät käytettävän julkisivumateriaalin.

Hankesuunnitteluvaiheessa on myös syytä selvittää, onko samassa yhteydessä hyödyllistä tehdä liittyvien rakenteiden korjauksia esimerkiksi ikkunoille, parvekkeille tai vesikatolle.

Joissakin tapauksissa eri rakenneosien yhtäaikainen korjaus voi myös olla välttämätöntä liittymien luotettavan toteutuksen kannalta. Salaojitus ja perusmuurien vedeneristyksen korjausten aikataulutus on myös syytä pohtia. Piha-alueen korjaukset on usein syytä tehdä vasta julkisivukorjausten jälkeen, jotta mahdollisilla julkisivutöitä varten tarvittavilla telineillä ei vahingoiteta juuri tehtyä piha-aluetta. Joskus voi myös olla hyödyllistä yhdistää piha-alueen muokkaukset julkisivukorjaukseen, toteutettavaksi hankkeen lopulla.

Tiivistyvän kaupungin alueilla voidaan myös selvittää, voisiko korjauksen kustannuksia kattaa täydennys- tai lisärakentamisella esimerkiksi korotuskerroksella.

Betonijulkisivun korjausvaihtoehdot

Betonijulkisivujen korjaamisessa vaihtoehtoina on a) säilyttäviä, b) peittäviä ja c) uusivia korjaustapoja.

Huoltomaalauskorjaus on lähinnä esteettinen toimenpide, jolloin se soveltuu hyväkuntoiselle jonkin verran pinnoitevaurioita sisältävälle julkisivulle.

a) Säilyttävä korjaus

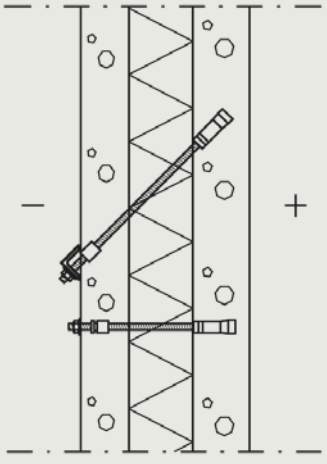
Julkisivuille, joissa on vain vähän vaurioita, voidaan tehdä säilyttävä korjaus perusteellisena pinnoitus- ja paikkakorjauksena. Siinä betonipinnat puhdistetaan useimmiten märkähiekkapuhalluksella, jolla saadaan poistettua vanhat pinnoitteet ja huonokuntoinen betoni. Sen jälkeen halkeamat avataan ja rapautunut betoni poistetaan. Paljastuneet raudoitteet ruostesuojataan ja tehdään vauriokohtien laastipaikkaukset. Tarvittaessa laajemmille vauriokohdille voidaan tehdä valukorjauksia. Lopuksi pintaan on suositeltavaa tehdä ylitasoitus ja viimeisenä pinnoitus. Samassa yhteydessä tulee korjata kaikki kosteustekniset puutteet esimerkiksi parantamalla pellitysten kallistuksia ja liittymiä. Julkisivuelementtien saumausten uusiminen on suositeltavaa tehdä samassa yhteydessä perusteellisen korjauksen kanssa.

Säilyttävässä korjauksissa on syytä huomioida erilaisten betonipintojen tuomat haasteet. Karkeasti harjattua pintaa voi olla haastavaa saada samannäköiseksi ja ylitasoitusta saatetaan tarvita enemmän kuin tasaiselle pinnalle. Pesubetonilla paikkauksista on vaikea saada samannäköistä kuin alkuperäisestä pinnasta. Tällöin voidaan myös harkita pesubetonipinnan maalausta tai ylitasoitusta, mitkä antavat myös lisäsuojaa pesubetonipinnalle. Valko- ja väribetonipinnoille voi olla haastavaa löytää alkuperäistä pintaa vastaavaa sävyä paikkauksille. Näissäkin ylitasoituksella tai maalauksella voidaan paikkoja häivyttää. Maalilla ei pystytä häivyttämään paikan erilaista struktuuria, mutta värisävyt saadaan tasattua. Lautamuottikuvion paikkaaminen vaatii ammattitaitoista tekijää, jotta lautamuottikuvio saadaan jäljiteltyä paikan pintaan ja siten paikka erottumaan mahdollisimman vähän alkuperäisestä betonipinnasta. Klinkkeri- ja tiililaattapinnoilla voi olla haasteellista löytää alkupe-

6 Eri korjausvaihtoehtojen visualisointi on tärkeässä asemassa erityisesti taloyhtiöhankkeissa.

8 Peittävä korjaus, As Oy Kaupinpirtti, Tampere. 3.palkinto Julkisivuremontti 2017 kilpailussa.

9 Ulkokuoren uusintaa ja peittävää korjausta. As Oy Näsinamuri, Tampere. Julkisivuremontti 2012 kilpailun voittaja.



A-Insinöörit

7 Ulkokuoren lisäkiinnitys

A-Insinöörit

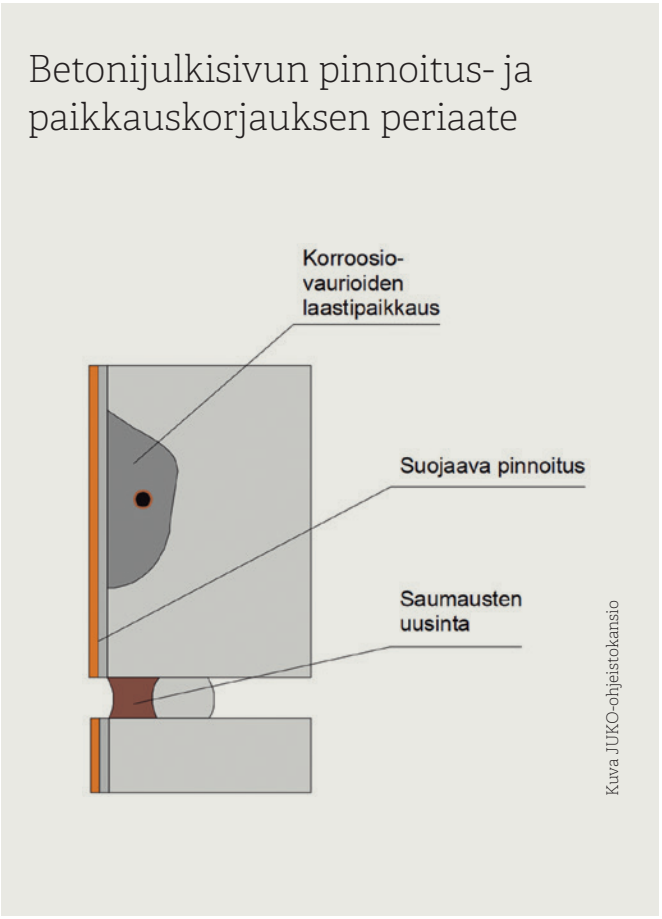
8

9

A-Insinöörit

A-Insinöörit

10 Lautamuottipinnan mantteloinnin malleja



räistä vastaavan sävyistä ja kokoista laattaa.

b) Peittävä korjaus

Mikäli julkisivuilla on jo pitkälle edenneitä tai laajoja vaurioita, tulee tehdä raskaampi peittävä korjaus. Peittävässä korjauksessa alkuperäinen pinta jätetään pääosin korjaamatta ja peitetään lämmöneristeellä ja uudella julkisivurakenteella. Lisälämmöneristeen ansiosta vanha pinta ei pääse enää pakkasen puolelle ja kosteusrasitus vähenee, jolloin sen vaurioituminen hidastuu merkittävästi tai pysähtyy. Samalla saadaan rakenteesta myös paremmin lämpöä eristävä ja voidaan säästää energiakuluissa.

Uutena julkisivumateriaalina voi olla useita vaihtoehtoja: eristerappaus, levyrappaus tai levyverhous, johon löytyy useita eri materiaalivaihtoehtoja. Peittävissä korjauksissa käytetään harvemmin raskaampia julkisivurakenteita esim. kuorimuurausta, sillä se vaatii omat perustukset.

Muilla järjestelmillä uusi julkisivurakenne voidaan kiinnittää alkuperäiseen ulkoseinään. Tässä tulee kuitenkin varmistaa rakenteiden kantavuus ja esimerkiksi betonielementtiseinillä on syytä aina lisäkiinnittää ulkokuori sisäkuoreen. Samalla saadaan varmuutta mahdollisten vaurioituneiden ansasraudoitusten osalta.

Korjausten yhteydessä ulkoseinän rakennepaksuus kasvaa, mikä pitää huomioida erilaisissa liittymissä, kuten mm. ikkunoissa, parvekkeilla ja räystäällä. Useimmiten räystäitä täytyy kasvattaa vähintään uuden julkisivurakenteen verran. Vesikatolle voidaan myös tehdä ulkonevat räystäät, jolloin uutta julkisivua pystytään suojaaman paremmin yläosissa saderasitukselta.

c) Uusiva korjaus

Mikäli julkisivu on vaurioitunut jo pitkälle ja laajasti, eikä siihen voida kiinnittää uutta julkisivurakennetta, tulee rakenne uusia. Betonijulkisivulla ulkokuori ja lämmöneristeet puretaan ja asennetaan uudet lämmöneristeet ja julkisivurakenne sisäkuoren ulkopinnalta asti. Uusi julkisivumateriaali voi olla melkein mikä tahansa, mikäli kaupunkikuva sen sallii. Myös raskaampia kuorimuurausta tai ulkokuorielementtejä voidaan harkita. Uusi rakenne voi myös jäljitellä alkuperäistä julkisivua, mikäli se suojelu- tai kaupunkikuvallisista syistä on toivottavaa.

Rakennepaksuus voidaan ulkokuoren uusinnassa pitää samana, mutta useimmiten lämmöneristävyyttä halutaan parantaa ja siten myös ulkoseinän rakennepaksuus kasvaa. Tällöin pitää huomioida liittyvät rakenteet kuten peittävässä korjauksessa. Lisäksi pitää tarkistaa ääneneristävyys, ettei esimerkiksi alkuperäistä kevyemmällä ulkoseinärakenteella heikennetä tilannetta. Ulkokuoren uusinnassa vanhan sisäkuoren ulkopinta saattaa olla hyvinkin epätasainen, riippuen usein alkuperäisen elementin valusuunnasta. Tällöin tarvitaan sisäkuoren tasoitus tai rankajärjestelmä, joka huomioi alustan epätasaisuudet.

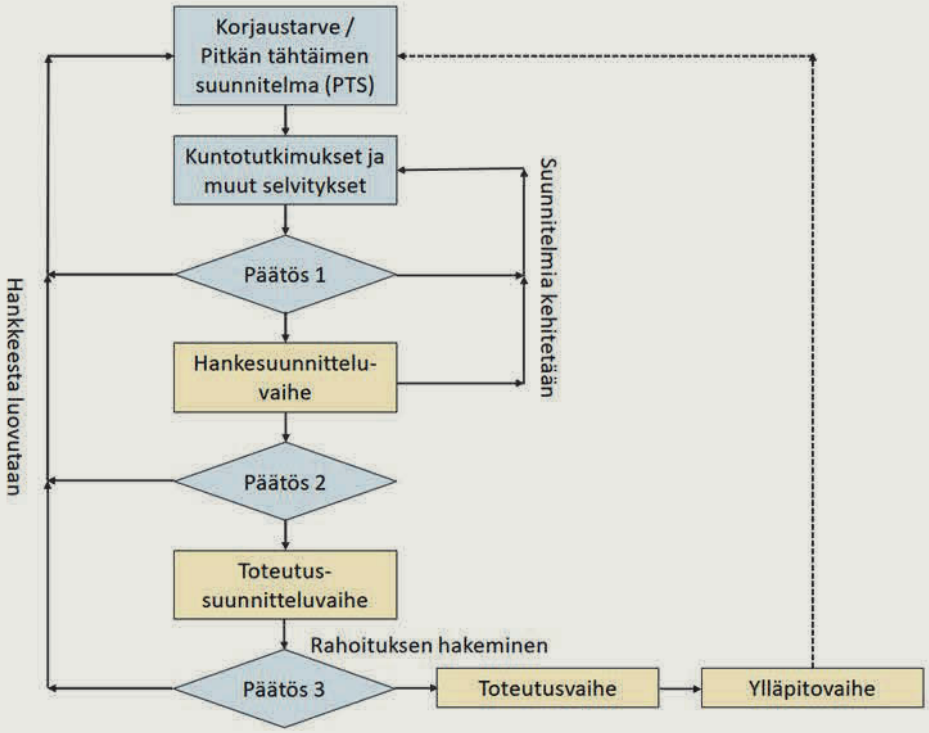
Julkisivukorjausten suunnittelu ja toteuttaminen on erikoisosaamista

Korjaussuunnittelun pohjaksi tarvitaan tietoa kuntotutkimuksesta eri rakenteista ja materiaaleista, jotta myös korjausmenetelmät ja -materiaalit osataan valita oikein. Korjaussuunnitteluvaiheessa valittuun korjausvaihtoehtoon tehdään tarkat suunnitelmat ja määritellään käytettävien materiaalien ominaisuudet.

Useissa hankkeissa rakennuksen ulkonäkö muuttuu, jolloin tarvitaan rakennuslupa. Suunnitelmat tulee olla riittävän tarkat, jotta urakoitsijat pystyvät urakkakilpailussa antamaan tarjouksen niiden pohjalta.

Kaikkia määriä voi kuitenkin olla vaikea arvioida etukäteen esimerkiksi laastipaikkakorjausten osalta. Julkisivukorjaushankkeissa onkin tyypillistä pyytää näistä osuuksista yksikköhinnat. Hankkeeseen sisällytetään tietty määrä korjauksia: mikäli määrä ylittyy

Korjaushankkeen yleinen kulkukaavio



tai alittuu, korjataan urakkahintaa yksikköhintojen ja toteutuneiden määrien perusteella suuntaan tai toiseen.

Kiinteistönomistajan valittua soveltuvin urakoitsija ja tarjous sekä tehtyä päätöksen hankkeen käynnistämisestä, alkaa toteutusvaihe urakkasopimuksen allekirjoituksen jälkeen.

Korjaushankkeisiin sisältyy merkittävässä osassa erilaiset mallityöt. Nämä määritellään suunnitelma-asiakirjoissa ja työmaavaiheessa varmistetaan käytettävät menetelmät, värisävyt ja struktuurit. Lisäksi hankkeisin liittyy erilaisia laadunvarmistustoimenpiteitä muun muassa alustan ja korjausten vetolujuuskokeita, olosuhdemittausta, maalikalvojen tai ylitasoituksen paksuuden seurantaa.

Julkisivukorjaamisessa, niin kuin yleensä korjaamisessa, rakenteet eivät välttämättä kaikilta osin aina vastaa täysin alkuperäisiä suunnitelmia tai kuntotutkimuksen otantana tehtyjä avauksia. Suunnitelmia saatetaan joutua täydentämään työmaa-aikana.

Julkisivukorjaukset ajoittuvat usein lämpimään ja valoisaan vuodenaikaan, mutta pidempiä hankkeita tehdään myös talvella. Tällöin tulee huolehtia oikeista olosuhteista lämmityksellä ja varmistaa olosuhteet lämmön- ja kosteuden seurannalla. Talvikorjaamiseen on ohjeistusta esimerkiksi by 70 Julkisivujen ja parvekkeiden talvikorjaus 2018 ohjeessa. Joihinkin hankkeisiin talvikorjaaminen tuo hyötyä kesäkorjaamiseen nähden sekä työmenetelmien että työn saatavuuden kannalta.

Tiedotus ja päätöksenteko

Julkisivuremonteissa tiedotus on tärkeässä osassa, erityisesti taloyhtiöhankkeissa. Koko hankkeen aikana on syytä pitää useita tiedotustilaisuuksia, vähintään päätöstenteon yhteydessä. Kuntotutkimustulosten esittelyssä ja suunnitelmien esittelyssä osakkaat ja asukkaat pääsevät esittämään kysymyksiä ja vaikuttamaan hankkeeseen. Tärkeää on myös saada riittävät tiedot päätöksenteon pohjaksi. Usein on hyödyllisempää pitää infotilaisuudet ja päätöstilaisuudet erikseen. Toteutusvaiheessa urakoitsijan tulee tiedottaa aktiivisesti käynnissä olevista vaiheista ja mahdollisista vaikutuksista käyttäjille.

Kuntotutkimuksesta aloitetaan julkisivukorjaus

Onnistunut julkisivukorjaus vaatii taustalleen laadukkaan ja kattavan kuntotutkimuksen, jotta käytettävät korjausmenetelmät ja materiaalit voidaan valita oikein.

Suunnittelijoiden, valvojien ja urakoitsijoiden ammattitaito on keskeisessä osassa. Erilaiset detaljit tulee suunnitella ja toteuttaa tarkkaan, jotta ilmaston muuttuessa ja kasvavassa kosteusrasituksessa vesi ohjautuu oikein. Materiaalivalinnat pitää tehdä niin, että rakenteiden kuivuminen on mahdollista. Julkisivukorjaushankkeessa on syytä käyttää taloyhtiön apuna rakennusalan ja muita ammattilaisia eri hankevaiheissa.

Artikkelisarja jatkuu seutaavassa Betoni 1-2025 lehdessä •..

Mitä kuuluu - Vuoden 1982 Betonirakenne?

Lahden teatteritalo – Modernin arkkitehtuurin merkkiteos

Kuvat: Paula Oseniius ja Lahden Kaupunginteatteri

Dakota Lavento, toimittaja

Merkittäviä vuoden betonirakenteita esittelevässä sarjassamme on vuorossa Vuoden 1982 Betonirakenne Lahden teatteritalo. Jatkamme kohde-esittelyjä myös jatkossa Betoni-verkkolehdessä osoitteessa: www.betoni.com

Kilpailun tuomariston käsityksen mukaan ”Lahden teatteri on … ensimmäinen Suomessa rakennettu julkinen rakennus, jossa arkkitehti on puhtaalla betonilla (paljas betoni on sellaisenaan näkyvissä sekä sisällä että ulkona), sen muotoilulla ja millimetrin tarkoilla yksityiskohdilla luonut mielenkiintoisen taiteellisen kokonaisuuden”.

Myös rakennetekniikka sai raadilta runsaasti kiitosta.

Vuoden 1982 betonirakennekilpailua voi pitää eräänlaisena käännekohtana, sillä ensimmäistä kertaa voittajaa valittaessa arkkitehtuurilla ja esteettisillä arvoilla oli yhtä suuri painoarvo kuin rakennetekniikalla.

Kulttuuritalo kaikille lahtelaisille

Arkkitehti *Pekka Salminen* työryhmineen voitti Lahden teatteritalon suunnittelusta järjestetyn kilpailun vuonna 1973 ehdotuksellaan ”Moi lahtelaista”.

Rakennuksen kerrosala on 12 000 m² ja tilavuus 80 000 m³.

Lahden Paavolaan, vanhalle työläisalueelle rakennetusta teatterista muodostui kokonaistaideteos, suomalaisen betonibrutalismin merkkiteos, jota on vuoroin vihattu ja rakastettu yhtä suurella intohimolla.

Lahden kaupunginteatterin verkkosivuilla teatterin arkkitehtuurista löydetään viittauksia jugendiin: ”Valon ja varjon mystiikka, materiaalit, erityisesti arkkitehdin uudeksi luonnonkiveksi kuvaama betoni, sisustuksen rikkaat yksityiskohdat, kalustuksen luonnonmuodot ja värit tuovatkin mieleen 1900-luvun alun taiteen.”

Lahden teatteritalon suunnittelun lähtökohtana oli epämuodollisuus ja toiminnallisuus. Salminen halusi teatterista teatterin työntekijöille modernin, kaikin puolin toimivan työpaikan. Iso-Britannian kansallisteatterin Lontoon teatteritalon monikäyttöisyys ja betoniarkkitehtuuri olivat tehneet Salmiseen suuren vaikutuksen.

Lahden teatteritalon arkkitehtuuriin, materiaalivalintoihin ja tilasuunnitteluun vaikuttivat myös 1970-luvun kulttuurikeskustelu ja demokratiahaaste. Kristallikruunut, kultaukset ja tomuinen punainen sametti eivät olleet enää ajankohtaista teatterisisustuksessa. Ajatus luokkarajoista jouti romukoppaan eikä yleisölämpiöstä haluttu näyttäytymispaikkaa varakkaille ihmisille.

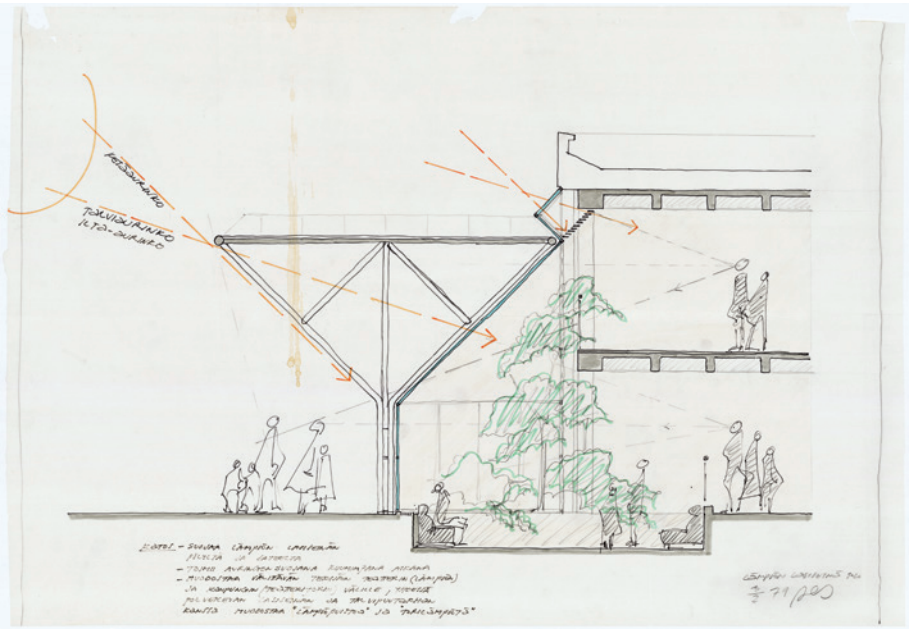
Lahden teatteritalossa toiset ihmiset eivät olleet erityisempiä kuin toiset. Kaikki lahtelaiset olivat samalla viivalla.

Salmisen kilpailutyön erotti muista myös huolella pohditut ratkaisut, kuten esivalmistustekniikkaan soveltuva näyttämötorni ja massoittelun keskeiselle alueelle suunniteltu neliömäinen sisäpiha, joka tuo luonnonvaloa näyttelijöiden odotustiloihin ja kahvioon.

Betonia ulkona ja sisällä

Salmisen keskeinen idea Lahden teatteritaloa suunnitellessa oli vallitsevan rakennusmateriaalin jatkuvuus. Talossa tulee olla samanlainen tunnelma sekä sisällä että ulkona. Mutta minkä

1 Kupulaattaholvi sisääntuloaulassa. Kuvanveistäjä *Virpi Kannon* betoniveistosten näyttely on esillä syksyn 2024 ja kevään 2025 ajan Lahden teatterin aulassa. Kuvassa on vuonna 2022 valmistunut Virpi Kannon teos "Matkaaja". **1**



2

2 Pekka Salmisen Lahden teatteritalon suunnitteluvaiheen skissejä.

3 Lahden teatteritalo on betoniarkkitehtuurin merkkiteos ja nykyisin myös lahtelaisten arvostama rakennus. Lehmuksen vihreäksi maalattu teräs keventää harmaata betonia. Kuvassa pääsisäänkäynti.

4 Yleisötiloissa kaunis harmaa betoni pääsee oikeuksiinsa sivuseinissä ja kupulaattaholvissa.

3

4

materiaalin hän rakennukseen valitsisi?

Voi hyvin arvata, että betonin puolesta puhuivat taloudelliset seikat. Salminen myös piti betonia nykyajan luonnonkivenä, eikä hänen mielestään nuorekkaaseen Lahteen voinut edes kuvitella esimerkiksi pönäkän arvokasta punatiilistä teatterirakennusta.

Sekä arkkitehdeille että rakennesuunnittelijoille Lahden teatteritalo oli todella vaativa kohde. Se sisältää monia hienoja teknisiä oivalluksia.

Ohikulkija tunnistaa teatterirakennuksen vaikuttavan betoninharmaan julkisivun takuuvarmasti. Rihlaelementit tuovat julkisivupintaan elävyyttä ja maalatut teräsristikot keveyttä sekä kontrastia. Pääosa julkisivuelementeistä on lasikuitumuoteissa valettuja normaalimittaisia sandwich-elementtejä, mutta näyttämötornin kohdalla julkisivuelementit ovat tuplamittaisia. Näin elementtitorni saatiin toteutettua nopeasti.

Ulkokuori tehtiin kantavana ja elementit kiinnitettiin päistään näyttämötornia kannatteleviin ulkopuolisiin teräsristikkotorneihin.

Lämpiössä huomio kiinnittyy nopeasti näyttäviin, korkeuksiin kohoaviin pilareihin. Lasikuitumuotissa pystyssä valetut pilarit muodostavat neljän pilarin ryhmässä kimppupilarin. Kaikki, kulmistaan pyöristetyt pilarien sivut ovat samanlaisia näkyviä muottipintoja.

Lämpiön yli neljä metriä korkeat pilarit oli tehtävä kahdessa osassa, ja ne liitettiin toisiinsa näkyvillä RTS-liittimillä. Työpaja- ja varasto-osan yhdeksänmetriset pilarit valettiin normaaliin tapaan vaakamuotissa.

Kimppupilaristo oli teatteritalossa tarkoituksen mukainen myös siksi, että sen ansiosta ääniteknisen osastoinnin ja liikuntasaumojen sijainti oli vapaasti valittavissa.

Talossa ei ollut valmistuttuaan lainkaan alakattoja, joten kolmiomainen kupulaattaholvi oli näkyvissä. Lämpiön portaat ja suuren näyttämön sivuseinät valettiin paikalla pyörösahattua muottilautaa käyttäen. Lautakuviot muodostavat peilikuvina kalanruotokuvion.

Suuren teatterisalin sivuseinien liikuteltavat akustiset elementit tehtiin sileävaluna vanerimuottiin. Salin takaosan katon vinot akustiset osat ruiskubetonoitiin vanerimuottiin paikan päällä.

Toimiva ja rakas

Teatteritalon suunnitelmien valmistumisesta oli kulunut kymmenen vuotta, kun rakennuksen vihkiäisiä päästiin lopulta viettämään ja Lahden kaupunginteatteri muutti rakennukseen lokakuussa 1983.

Lahden teatteritalo juhli 40-vuotispäiviään viime vuonna lopultakin rakastettuna ja laajalti myös ihailtuna rakennuksena.

Aina rakennuksen betonibrutalistinen arkkitehtuuri ei suinkaan ole istunut kaikkien kaupunkilaisten esteettisiin ihanteisiin.

Maakuntalehti Etelä-Suomen Sanomien yleisöäänestyksessä vuonna 2006 Lahden kaupunginteatteri rankattiin kaupungin rumimmaksi. Mutta kun maakuntalehti kysyi lukijoiltaan ehdotuksia Lahden kauneimmista rakennuksista kymmenen vuoden kuluttua, kaupunginteatteri pääsi listalle.

Lahtelaiset ovat siis alkaneet arvostaa teatteritaloaan.

Myös sen suunnittelija, lyhyen sairauden jälkeen kesällä 2024 menehtynyt arkkitehti, professori Pekka Salminen oli Lahden teatterirakennuksesta ylpeä ja piti sitä yhtenä pääteoksenaan. Se muodostui käännekohdaksi Salmisen uralle ja johdatti hänen toimistonsa, PES-Arkkitehdit suunnittelemaan teatterirakennuksia Kiinaan asti.

Salminen kertoi Etelä-Suomen Sanomien haastattelussa vuonna 2018 olevansa edelleen ylpeä erityisesti teatterirakennuksen sisätiloista ja lämpiön seinien betonipinnoista.

Rakennuksen julkisivun tila ei tuolloin saanut suunnittelijalta kiitosta, sillä sadevesi oli valuttanut ikkunoiden teräsrakenteista rumat siksakvanat betoniseiniin.

5

6

Julkisivu kuntoon

Salmista harmittaneet vanat puhdistettiin Lahden teatteritalon vuoden 2021– 2022 perusparannushankkeen yhteydessä.

Julkisivujen, parvekkeiden, vesikaton, ikkunoiden ja ovien kuntotutkimus sekä teräsrakenteiden silmämääräinen havainnointi tehtiin maaliskuussa 2017. Elementeissä oli yksittäisiä betoniteräskorroosion aiheuttamia lohkeamia sekä irronneita betonin palasia. Elementtien saumat olivat ikääntyneitä.

Julkisivut olivat likaiset ja sadevesi pääsi valumaan ikkunoiden edessä olevien aurinkosäleikköjen putkirunkoa pitkin julkisivulle.

Laboratoriotutkimusten perusteella julkisivuelementtien kunto oli kuitenkin tyydyttävä ja elementtien elinkaarta oli mahdollista jatkaa peruskorjaamalla vaurioituneet elementit laastikorjausmenetelmin. Aurinkosäleiköille suositeltiin tippanokkien asentamista.

Julkisivukorjaus käynnistyi vuonna 2021 ja valmistui vuonna 2022. Julkisivut pestiin ja impregnointiin. Myös paikallisia laastikorjauksia tehtiin. Kaikki saumaukset uusittiin. – Niiden yhteismäärä oli noin 6 km, Lahden Tilakeskuksen kunnossapitoinsinööri *Mika Nummela* kertoo.

Eri impregnointiaineista tehtiin kuusi mallia, joista valittiin mahdollisimman vähän betonin pintaa muuttanut aine. Valitun aineen imetymissyvyys oli myös paras, noin 20 mm. –

Teatteritalon julkisivuelementeistä tunnusomaisimmat ovat lasikuitumuotissa valettuja 1050 x 7200 mm:n sandwich-elementtejä, joiden ulkopinnassa on rihlaus 45:n asteen kulmassa. Rihlojen harjat on vasaroitu erikoiskoneella siten, että valkoinen dolomiittikivi paljastui. Yläpohjan kohdalla räystäällä on aina yksi ylimääräinen sileäpintainen kuorielementti.

Kun julkisivun pinta on osittain lasikuitumuottiin valettu, toisin sanoen hyvin sileä ja tiivis (betoniliimamainen), siksi impregnointiaineen imeytyminen mietitytti etukäteen, Nummela kertoo. Sto Cryl HG 200 imeytyi kuitenkin hyvin pinnan läpi.

Impregnointiaine rapisi kuivuessaan ohuena hiekkakerroksena pois. – Kuin käärme olisi luonut nahkansa, Salmela kuvaa.

Julkisivuremontin toteutti lahtelainen Maalaus ja Rakennus A. Hartikainen Ky ja heidän alihankkijansa saumauksissa oli Saumaus ja Saneeraus Ritala Oy.

Kaikki lehmuksen vihreät metallirakenteet maalattiin uudelleen alkuperäisellä sävyllä polyuretaanipohjaisella maalilla, jotta maalin kiilto säilyisi mahdollisimman samankaltaisena.

Aino-näyttämön kosteustekninen rakenne, näyttämötekniikka, katsomo ja lattia- sekä seinäpinnat sekä tila-akustiikka uudistettiin vuonna 2020. Näyttämä sijaitsee teatteritalon sisäpihan alapuolella. Sen käännetty kattora-

5 Elementtien pinta pestiin ja impregnoitiin vuoden 2021 – 2022 remontissa.

6 Maanläheinen betoni on kaunis sellaisenaan. Kuva teatterin katolta.

7 Teatteritalon sisäpiha peruskorjattiin vuonna 2020. Savunpoistoluukkuina toimivien prismaikkunoiden pintavalu uusittiin siten, että reunalinjat oli muotitettu, mutta itse valu nostettiin käsityönä paikoilleen ja liipattiin.

7

8

8 Sivuseinät valettiin paikalla pyörösahattua muottilautaa käyttäen. Lautakuviot muodostavat peilikuvina kalanruotokuvion.

9 Teatterin lämpiön yli neljä metriä korkeat pilarit oli tehtävä kahdessa osassa, ja ne liitettiin toisiinsa näkyvillä RTS-liittimillä.

kenne peruskorjattiin samassa yhteydessä. Vanhat rakenteet purettiin holviin saakka pois ja rakennettiin uudelleen. Sisäpihan istuinvalaisinyhdistelmän nostaminen ei ollut helppoa. Nummela muistelee, että noston sivu-ulottuma oli noin 35 m, joten 3500 kg:n painoisen yhdistelmän nostamiseen tarvittiin yli 100 T:n ajoneuvonosturi. Vedeneristykseksi valittiin ruiskutettava eristeratkaisu, jonka laadunvarmistus tehtiin kipinäharavalla kolmeen kertaan.

– Prismaikkunoiden uuden pintavalun suoritti huippu betonimies siten, että reunalinjat oli muotitettu, mutta itse valu on nostettu käsityönä paikoilleen ja "liipattu".

Peruskorjauksista vastasi rakennuspalvelu Räsänen Oy.

Valkoista pintaa

Salminen halusi, että sama materiaali, betoni jatkuu ylpeästi omana itsenään ulkoa sisälle.

Erityisesti yleisötiloissa näin edelleen onkin. Henkilökunnan tiloissa osa betonipinnasta on saanut valkoisen hunnun. Huoltomestari *Jarkko Salmela* kertoo, että irtopölyn vuoksi 1990-luvulla ja 2000-luvun vaihteessa betonitiiliseiniä, laipioita ja kupulaattaholveja ryhdyttiin maalaamaan neuvottelutiloissa ja henkilökuntatiloissa valkoisiksi. Kellari- ja toimistotiloissa on puolestaan alaslaskettuja kattoja.

Teatteritalon sisätilojen betonipintojen ylläpitäminen on vuosikymmenten varrella osoittautunut vaivattomaksi. Siivouksessa ei ole havaittu poikkeavia pölymääriä.

Teatterin julkisivusaneeraus on takana ja näyttämöt remontoitu lähivuosina. Seuraavaksi on suunnitelmissa lämpö-, vesi-, ilmanvaihto- ja sähköjärjestelmien saneeraus. Samalla tehdään uudistuksia ja päivitetään tekniikkaa suurella näyttämöllä.

Toimet oli alun perin ajoitettu pääosin vuosiin 2027 ja 2028 ja kokonaiskustannuksiksi arvioidaan reilut 21 miljoonaa euroa. Näyttää kuitenkin siltä, että kaupungin nykyisen taloudellisen tilanteen vuoksi peruskorjaus siirtynee 2030-luvulle.

Rakastu betoniin!

Lahden Teatterissa on kolme näyttämöä ja sinne mahtuu noin 1000 katsojaa. Vakituisen henkilökunnan määrä on noin 90, josta taiteelliseen henkilökuntaan kuuluvat teatterinjohtaja, dramaturgi, kaksi skenografia, kapellimestari, muusikko sekä 20 näyttelijää. Uutena teatterinjohtajana kuluvan vuoden alussa aloittanut *Lauri Maijala* valitsi syksyn teatterin syksyn sloganiksi osuvasti "Rakastu Betoniin!"

Valinta on luonteva. Betonirakennushan on jo nelikymppinen. Mutta oli siinä muutakin. Kun Maijalaa pyydettiin teatterinjohtajaksi, hän muisti, että teatteritalo on valittu kaupungin rumimmaksi rakennukseksi. – Ja se on kyllä hieno saavutus, sillä kilpailu on Lahdessa tässä suhteessa kovaa.

Maijala otti asiakseen saada ihmisten mielessä aikaan vallankumouksen. – Haluan, että ihmiset oppivat näkemään kauneutta betonissa ja teräksessä. Kuinka ilkikurisen hauskaa onkaan, että punaisen sametin, enkelikoristeisten kattojen ja kristallikruunujen jälkeen rohkeat ihmiset ovat päättäneet, että teatterin ei itse asiassa tarvitse sellaista olla, Maijala huomauttaa.

– Lahden betonisessa teatteritalossa näkyy rakennus- ja teatteritaiteen historia!

Käytännöllinen ja upea rakennus

Rakennuksena Lahden teatteritalo on käytännöllinen. Se sallii vanhoja rakennuksia paremmin teatteritaiteen tekemisen. Teatterilaiset ovat siis tyytyväisiä.

Niin on myös huoltomestari Jarkko Salmela. Hän kertoo työskentelevänsä onnistuneesti toteutetussa teatterissa, joka ottaa huomioon sekä teatterintekijöiden, että yleisön tarpeet. – Yleisölämpiössä kävellessä tulee aina mieleen, miten upea rakennus tämä on!

Salminen sanoi Etelä-Suomen Sanomien haastattelussa, että Lahden teatteritalon kokonaisvaltainen betoniarkkitehtuuri tulisi saada rakennussuojelun piiriin, jotta sitä ei saisi olennaisesti muuttaa, saati purkaa.

Hän sanoi, että betonia pidetään parhaiten sopivana pintamateriaalina erityisen vaativissa kohteissa, kuten taidemuseoissa ja kirkkorakennuksissa. "Siitä voi rakentaa melkein mitä muotoja tahansa. Lisäksi betonin lämmin harmaa väri antaa ulkona hillityn taustan kasveille ja sisällä muille materiaaleille ja värikkäille ihmisille."

Betonia parempaa materiaalia teatteriin voi olla vaikea kuvitellakaan.

Pekka Salmisen ajatuksista teatteritalon suunnitteluvaiheeseen sekä järkytyksestä teatterin ikonisten *Yrjö Kukkapuron* suunnittelemien tuolien korvaamisesta standardituoleilla voi lukea hänen muistelmistaan. Salminen, Kukkapuro ja tekstiilitaiteilija *Irma Kukkasjärvi* suunnittelivat yhdessä teatterin yleisötilojen alkuperäiset tuolit, lattiamatot ja värit. •

9

Lahden Teatteritalo, Lahti
Rakennuttaja: Lahden kaupunki
Arkkitehtisuunnittelu: Arkkitehtitoimisto Pekka Salminen
Rakennesuunnittelu: Konsulttiryhmä Pantest-Puolanne
Pääurakoitsija: Työyhteenliittymä Teatteri (Rakennus-Ruola Oy ja Rakennusyhtymä Mattinen-Niemelä Oy)

Syksyn 2024 ajan teatterin aulassa on orimattilalaisen taiteilija *Virpi Kannon* betoniveistoksien näyttely.

Docomomo Suomi Finland ry valitsi vuoden 2023 lopulla Lahden kaupunginteatterin teatteritalon modernin arkkitehtuurin merkkiteosten joukkoon. Docomomo International on 1988 perustettu kansainvälinen modernin arkkitehtuurin tutkimus- ja suojelujärjestö. Järjestöön kuuluu noin 70 paikallisosastoa kaikista maanosista.

Lähteet:

- mm. Maritta Koiviston ja Vesa Tompurin toimittama Vuoden Betonirakenne 50 vuotta -julkaisu. 2019.
- Häkkinen, Auri. Pitkä Purjehdus: Arkkitehti Pekka Salmisen Matka Silkkitielle. Rakennustieto Oy, 2022.
- Minna Krupkan juttu Etelä-Suomen Sanomissa 17.1.2918 Lahden rumimmaksi äänestetyn rakennuksen suunnittelija: Tämän takia tekee pahaa mennä isoon katsomoon
- Ylen uutinen vuodelta 2023: Rumaksi moitittu lahden 40-vuotias kaupunginteatteri Rumaksi moitittu Lahden 40-vuotias kaupunginteatteri on suomalaisen betonirakentamisen merkkiteos, jonka arvostus on kasvanut ajan myötä.
- https://lahdenkaupunginteatteri.fi/teatteri/
- www.pesark.com
- Lahden teatteritalon esite vuodelta 1983/Arkkitehtitoimisto Pekka Salminen KY KSS
- Teatterijohtaja Lauri Maijalan puhe kuvanveistäjä Virpi Kannon näyttelyn avajaisissa 8/2024
- Huoltomestari Jarkko Salmelan haastattelu 10/2024
- Kunnossapitoinsinööri Mika Nummelan haastattelu 10/2024

Lahti Theatre House

1982 marked a kind of a turning point in the Concrete Structure of the Year competition: it was the year when architectural and aesthetic values in general played an equal role to structural engineering. This was reflected in Lahti Theatre House, designed by architect Pekka Salminen, which won the Award.

Lahti Theatre House was a demanding project also in terms of structural engineering and features several great technical ideas. The columns, cast in vertical position using fibreglass formwork, stand in a cluster of four columns.

The facades are also precast concrete structures. They were built from precast sandwich panels of normal size, poured in fibreglass moulds, except for the stage tower facade where precast panels of double the length were used.

Concrete surfaces are visible also inside the House – according to the architect's basic concept. The triangular roof dome slab was left exposed everywhere; there are no false ceilings in the Theatre House. The foyer staircase and the side walls of the large stage are cast-in-place structures realised using shuttering sawn with a circular saw.

The Jury was impressed: "As far as we know, Lahti Theatre House is the first public building built in Finland where the architect has used concrete as such (with bare concrete exposed both indoors and out) to create an interesting artistic whole through design solutions and details accurate to the millimetre." The Jury also showered compliments on structural engineering solutions.

Betonielementtien irrottaminen ehjänä uudelleenkäyttöä varten

Satu Huuhka, professori
ReCreate-hankkeen johtaja
Korjausrakentamisen ja kiertotalouden ReCET-tutkimusryhmä
Tampereen yliopisto
satu.huuhka@tuni.fi

Tampereen yliopiston johtamassa kansainvälisessä ReCreate-hankkeessa tutkitaan betonielementtien uudelleenkäyttöä koepurkamisen ja -rakentamisen avulla. Betoni-lehden 3-2024 numerossa, ss. 28–32 kerrottiin uudelleenkäytettävien betonielementtien laadunvarmistusmenettelyn kehittämisestä ReCreaten Suomen purkupilotissa (ks. Lahdensivu & Räsänen, 2024) . Tässä artikkelissa kerrotaan pilotissa talteen otettujen elementtien irrotustyön suunnittelusta ja toteuttamisesta sekä ensimmäisestä uudelleenkäyttökohteesta.

Uudelleenkäytettävien elementtien luovuttajarakennukseksi valikoitui Tampereen keskustassa, osoitteessa Aleksanterinkatu 21 sijainnut toimistokerrostalo vuodelta 1982. ReCreate-projektipartneri Skanska oli hankkinut rakennuksen omistukseensa rakentaakseen sen tilalle asuntoja, minkä Tampereen kaupungin toteuttama kaavamuutos mahdollisti. Rakennuksessa oli betonielementtien irrotusta ja uudelleenkäyttöä ajatellen otollinen pilari-palkkirunko ja ontelolaatoista tehdyt välipohjat. Julkisivut olivat sandwich-elementtejä. Elementtien liitoksia ei luonnollisestikaan ollut alun perin suunniteltu irrotusta ja myöhempää uudelleenkäyttöä ajatellen. Irrotustyö suunniteltiin Tampereen yliopiston fasilitoimana tiiviissä yhteistyössä ReCreate-hankepartnerien välillä.

Irrotuskartoituksessa inventoidaan elementit ja tutkitaan uudelleenkäyttökelpoisuus

Työ alkoi irrotuskartoituksella (vrt. purkukartoitus), johon sisältyi elementtien tyyppien ja määrien inventointi sekä uudelleenkäyttökelpoisuuden arviointi rakenteellisen kuntotutkimuksen ja asbesti- ja haitta-ainekartoituksen avulla. ReCreate-hankkeen suosituksia irrotuskartoituksesta on annettu avoimesti saatavilla olevassa englanninkielisessä julkaisussa Vullings ja muut (2022).

Liike Oy Arkkitehtistudio tietomallinsi luovuttajarakennuksen elementtirungon saatavilla olleiden arkistopiirustusten perusteella. Piirustuksista puuttuneet tiedot täydennettiin kohdekäynneillä havainnoinnin avulla. Rungon mittamaailman paikkaansa pitävyys piirustuksissa ja niiden perusteella laaditussa mallissa tarkistettiin laserkeilaamalla rakennuksen kerros ja vertaamalla mallia pistepilveen. Ramboll Finland Oy viimeisteli rakennemallin täydeksi purkumalliksi purkuluvan rakennusjäteselvitystä varten.

Ramboll suoritti Tampereen yliopiston avustamana rakennuksessa rakenteellisen kuntotutkimuksen ja asbesti- ja haitta-ainetutkimuksen. Julkisivuista oli käytettävissä aikaisempi kuntotutkimusraportti. Osana rakenteellista kuntotutkimusta kokeiltiin perinteisten tekniikoiden lisäksi myös erilaisia epäsuoria, ainetta rikkomattomia ja rinnakkaisia tutkimusmenetelmiä. Tavoitteena on määritellä jatkoa ajatellen mahdollisimman kustannustehokas tutkimusprosessi.

Prosessia ja tehtyjä tutkimuksia on kuvattu tarkemmin Betoni 3-2024 lehden artikkelissa (ks. Lahdensivu & Räsänen, 2024) sekä englanninkielisissä julkaisuissa Räsänen ja muut (2024 a & b). Lisää julkaisuja laadunhallinnasta on vielä myös tulossa; mmuun muun muassa opas parhaista käytännöistä, joka julkaistaan ensi vuoden 2025 loppupuolella.

1

2

Kuvat: Tampereen yliopisto / Eetu Lehmusvaara

1 Irrotustyömaa syyskuussa 2023.

2 Palkin ja pilarin välistä liitosta avataan poraamalla liitostangon ympäriltä.

umacon
SKANSKA

Tampereen yliopisto / Eetu Lehmusvaara

3

Asbestin ja haitta-aineiden esiintyminen tutkittiin rakennuksesta korjausrakentamisen parhaita käytäntöjä noudattaen ja hieman laajemminkin, sillä ontelolaattoja peittäneestä tasoitteesta ja itse ontelolaattojen pinnasta mitattiin varmuuden vuoksi myös haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOCit). Koska muutamista tasoitteen VOC-näytteistä saadut tulokset ylittivät ohjearvot, poistettiin ontelolaattojen pinnassa ollut tasoite kokonaisuudessaan sisäpurkuvaiheessa, samoin kuin muutkin haitta-aineita sisältäneet materiaalit. Tasoitteen VOCit olivat peräisin sen päällä olleiden vinyylilaattojen liimasta. Itse betonielementit todettiin puhtaiksi. Rakennusjäteselvitystä varten tutkittiin lisäksi betonin hyötykäyttökelpoisuus.

Suomen pilotissa päätettiin ottaa talteen uudelleenkäyttöä varten vain sisätilojen teräsbetoniset pilarit, palkit ja ontelolaatat. Muidenkin rakennuksen sisältämien elementtityyppien, kuten sandwich-elementtien, väliseinäelementtien ja massiivisten laattaelementtien irrotusta kuitenkin kokeiltiin ja niitä otettiin talteen muutamia kappaleita. Sandwich-julkisivuelementtejä on otettu laajasti talteen ReCreaten Saksan ja Alankomaiden piloteissa, joissa niitä aiotaan myös käyttää uudelleen.

Irrotuksen suunnittelu koostuu rakenneteknisestä suunnittelusta ja työsuunnittelusta

Irrotuksen rakenneteknisestä suunnittelusta vastasi Ramboll. Rambollin rakennesuunnittelijat määrittelivät rakennuksen stabiliteetin säilyttävän irrotusjärjestyksen, tarvittavat työn aikaiset tuennat ja elementtien välisten liitosten leikkauskohdat. Myöhemmän jäljitettävyyden takaamiseksi Ramboll laati kohteen elementeille tunnusjärjestelmän, jossa jokaiselle elementille annettiin yksilöllinen tunnus. Lisäksi Ramboll suunnitteli irrotettujen elementtien nostamista varten uudenlaisia nostoelimiä, joista ontelolaattojen nostamiseen tarkoitettu myös teetettiin ja otettiin käyttöön tutkimustyömaalla.

Muutkin projektikumppanit antoivat tärkeän panoksensa suunnitteluun. Betonielementtien valmistaja Consolis Parma, joka tarkastaa, testaa, kunnostaa ja varastoi irrotetut elementit uudelleenkäyttöä varten Kangasalan tehtaallaan, toi yhteiseen suunnittelupöytään arvokasta kokemusta elementtien liitoksista, nostamisesta ja muusta käsittelystä sekä logistiikasta.

Purkuliike Umacon informoi suunnittelijoita irrotuksen toteutukseen käytettävissä olevista tekniikoista ja kalustosta ja kävi Rambollin rakennesuunnittelijoiden kanssa dialogia tästä näkökulmasta. Ajatusten vaihdon perusteella määritettiin ja täsmennettiin purkutapaa ja tarkempaa purkujärjestystä kerroksissa, jotta työn suorittamisesta saatiin mahdollisimman sujuvaa.

Itse irrotustyön ja työmaan aikataulun suunnittelivat rakenneteknisten suunnitelmien pohjalta Skanska ja Umacon, jotka myös toteuttivat työn yhteistyössä. Skanska toimi kohteen omistajana tutkimustyömaan pääurakoitsijana, Umaconin toimiessa sen aliurakoitsijana.

Yritykset pitivät yhdessä erityistä huolta työturvallisuusnäkökohdista. Toisin kuin perinteisessä pitkäpuomikoneella ja purkukahmarilla tapahtuvassa rikkovassa purkamisessa, elementtejä irrotettaessa työntekijät ovat fyysisesti purettavan rakennuksen kerroksissa, ja tavanomaisen henkilösuojauksen lisäksi on huolehdittava mm. putoamissuojauksesta. Lisäksi läsnä ovat vastaavat painavien kappaleiden käsittelyyn liittyvät riskit henkilöturvallisuudelle kuin elementtejä asennettaessakin.

Elementtien irrotus on teknisesti mahdollista, vaikka liitoksia ei ole suunniteltu avattaviksi

Työ alkoi kesä-elokuussa 2023 sisäpurkuvaiheella, jossa rakennuksesta poistettiin ensin asbesti ja muut haitta-aineet, kevyet rakenteet, talotekniikka sekä muut materiaalit paitsi runko. Työhön sisältyi myös jo mainittu ontelolaattojen tasoitteiden purkaminen.

Runkoelementtien irrotuksen alkamista elokuun lopulla edelsi elementtien merkitseminen niiden yksilöllisillä tunnuksilla, tukien asentaminen, nostoreikien poraaminen ja muut vastaavat valmistelevat työt sekä torninosturin asennus elementtien alas nostamiseksi. Consolis Parma syötti irrotettavien elementtien yksilölliset tunnukset omaan toiminnanohjausjärjestelmäänsä ennakoivasti ja

Tampereen yliopisto / Eetu Lehmusvaara

4

3 Ontelolaatan nosto. Alemman kerroksen palkeissa näkyvät yksilöivät tunnukset.

4 Ulkoseinäelementin irrotus. Huomaa myös elementtien tuet ja nostoreiät kuvan oikeassa laidassa.

toimitti tutkimustyömaalle säänkestävät tunnuslaput elementteihin kiinnitettäväksi.

Irrotustyössä käytettiin pääasiallisina työvälineinä timanttisahoja ja -poria sekä piikkauskärjellä varustettua purkurobottia. Työtekniikat vastasivat saneerauspurussa käytettäviä, ja Umacon muodostikin työporukkansa saneerauspurkamiseen vihkiytyneistä työntekijöistään. Pääurakoitsijan työnjohto ja torninosturin kuljettaja tulivat kuitenkin Skanskalta, joka osoitti työmaan tueksi myös kokeneen elementtiasentajan, joka työskenteli Umaconin työporukan osana.

Elementit kytkettiin kiinni nosturiin ja otettiin nosturin ”pidolle” ennen tuentojen irrotusta ja liitosten avaamisen viimeistelyä. Kun elementit olivat joka puolelta irti, voitiin ne nostaa alas. Torninosturilla vetäminen ei tullut kysymykseen työturvallisuusriskien vuoksi, joita elementin yllättävä irtoaminen ja hallitsematon ylöspäin sinkoutuminen olisi voinut aiheuttaa sekä torninosturin kuljettajalle että kerroksessa irrotusta viimeisteleville työntekijöille.

Maan tasolla jokainen elementti puhdistettiin turvallisen kuljetuksen takaamiseksi irtoavasta materiaalista, kuten saumavalujen ja -terästen jäänteistä. Elementteihin kiinnitettiin samoin tein myös yksilölliset tunnukset sisältävät tunnuslaput, joiden avulla paitsi varmistettiin jäljitettävyys niiden lähtiessä työmaalta eteenpäin, myös huolehditaan varastokirjanpidosta uudelleenkäytön suunnittelun aikana. Elementit kuljetettiin uusien elementtien kuljetuskäytäntöjä noudattaen varastoon Consolis Parman tehtaalle.

Osa elementeistä ohjattiin tutkimuksellisista syistä täyden mittakaavan kuormituskokeisiin Tampereen yliopiston rakennuslaboratorioon ja Consolis Parman tutkimustiloihin, kuten tämän lehden edellisessä numerossa on kuvattu (ks. Lahdensivu & Räsänen, 2024). Täyden mittakaavan kokeet liittyvät laadunhallintaprosessin kehittämiseen, eikä niitä ole pidettävä jatkossa välttämättömänä jokaisessa uudelleenkäyttöhankkeessa. Tutkimustarve määräytyy tapauskohtaisesti kunkin kohteen ominaisuuksien perusteella.

Elementtien irrotustyöt kohdistuivat rakennuksen kerroksiin 3–7 ja ne kestivät kolme kuukautta. Parhaat työtavat löytyivät työn kuluessa ja työporukka rutinoitui työhön, mikä näkyi työn huomattavana nopeutumisena ensimmäisenä ja viimeisenä purettujen kerrosten välillä. Talteen saatiin kaikkiaan hieman alle 300 elementtiä. Marraskuun loppupuolella talviseksi muuttunut sää alkoi vaikeuttaa irrotustyötä, ja tutkimustyömaan tavoitteet koettiin jo saavutetuiksi. Viimeisessä vaiheessa jäljellä olevat kaksi kerrosta purettiin tavanomaisena rikkovana purkamisena.

Pilottien avulla syntyy ainutlaatuista tutkimustietoa

Betonielementtien irrottaminen Suomessa ehjänä uudelleenkäyttöä varten osoittautui pilotin avulla teknisesti täysin mahdolliseksi, vaikka elementtien välisiä liitoksia ei ollutkaan

Tampereen yliopisto / Eetu Lehmusvaara

5

alun perin suunniteltu tätä silmällä pitäen. Inhimillisiltä virheiltä ei täysin vältytty, joten arvokasta oppia saatiin osin myös kantapään kautta. Eri osapuolien välisellä yhteistyöllä työ saatiin kuitenkin suunniteltua turvalliseksi ja toteuttamiskelpoiseksi.

Onnistumisessa avainasemassa oli kaikkien osapuolten yhteinen tavoite ja korkea motivaatio sekä luottamuksellinen ja avoin ilmapiiri projektikumppanien välillä. Kehittämiskohteitakin tunnistettiin: mm. nosturikalustoa ja nostoapuvälineitä olisi mahdollista kehittää irrottamista paremmin palveleviksi. Irrotuksen suunnittelun ja toteutuksen sisällyttäminen rakennusalan koulutukseen eri koulutustasoilla yliopistoista ammattioppilaitoksiin auttaisi nyt kehitettyjen hyvien käytäntöjen skaalautumista.

Tampereen yliopiston tutkijat seurasivat irrotuksen suunnittelua ja toteutusta tarkasti koko työmaa-ajan. Hiilijalanjäljen laskemiseksi väitöskirjatutkija *Emmi Salmio* vietti syksyn kenttätöissä mittaroimassa käytetyn kaluston energiankulutusta yhteistyössä urakoitsijoiden kanssa. Työtapojen muuttumista ja uusia koulutustarpeita tutkiva sosiologi *Paul Jonker-Hoffrén* tarkasteli irrottamisen työprosesseja mm. haastattelemalla työn suunnitelleita ja toteuttaneita työntekijöitä. Tuotantotalouden väitöskirjatutkijat *Lauri Alkki, Linnea Harala* ja *Mikko Sairanen* puolestaan havainnoivat suunnittelukokouksia ja haastattelivat yritysten avainhenkilöitä irrotukseen ja uudelleenkäyttöön liittyvien liiketoiminta- näkökulmien ymmärtämiseksi. Tutkimuksen tuloksia on odotettavissa, kun koko prosessiin liittyvä data on saatu kerättyä ja analysoitua.

Ensimmäiset elementit uudelleenkäytetty Tampereella

Irrotetuista elementeistä ensimmäiset asennettiin uuteen rakennukseen syksyllä 2024. Kyseessä on Skanskan A-Kruunulle rakentama asuinkerrostalo Tampereen Härmälänrannassa, joka toimii ReCreaten ensimmäisenä minipilottina. Yhteensä 25 tehdaskunnostettua ontelolaattaa käytettiin uudelleen väestönsuojan yläpuolisessa välikerroksessa, joka soveltui tässä kohteessa mittasuhteiltaan parhaiten uudelleenkäytettäville elementeille. Minipilotin avulla saatiin kokemusta kunnostuksen suunnittelusta, laadunvalvonnasta ja uudelleenkäyttöön liittyvistä lupamenettelyistä.

Consolis Parman Kangasalan elementtitehtaan olemassa olevaan ympäristölupaan ei tarvittu muutoksia elementtien tehdaskunnostamiseksi, koska ympäristöviranomainen ei tulkinnut suunnitelmallisesti irrotettujen elementtien muuttuvan jätteeksi vaan pysyvän rakennustuotteina (tarkemmin ks. Huuhka, 2024). Consolis Parma ja Ramboll suunnittelivat kunnostuksen yhteistyössä. Tehdaskunnostettujen elementtien tuotehyväksyntä tapahtui rakennuspaikkakohtaisena varmentamisena, kuten uudelleenkäytettyjen rakennustuotteiden tapauksessa yleensäkin (ks. Huuhka, 2024). Ramboll vastasi kelpoisuuden osoittamiseen liittyvistä tehtävistä, kuten viranomaisen kanssa neuvottelemisesta sekä tarvittavien dokumenttien laatimisesta ja keräämisestä rakennusvalvontaa varten. Skanskan työmaa koki, ettei tehdaskunnostettujen elementtien asentaminen eronnut oleellisesti uusien elementtien käyttämisestä. •

ReCreate-hanke (Reusing precast concrete for a circular economy) on saanut rahoitusta EU:n Horisontti 2020 -ohjelmasta (rahoitussopimus nro 958200). ReCreaten jäseniä Suomessa ovat Tampereen yliopisto, Skanska, Ramboll, Consolis Parma, Umacon, Liike Oy Arkkitehtistudio ja Tampereen kaupunki.

Lisätietoa

- Kaikki ReCreate-hankkeen irrotuspilotit, ml. tässä artikkelissa käsitelty Suomen pilotti, on kuvattu julkaisussa Vullings ja muut (2024a). Parhaiden käytäntöjen suositukset löytyvät julkaisusta Vullings ja muut (2024b).
- Timelapse-video irrotuksesta on katsottavissa ReCreaten YouTube-kanavalla https://tinyurl.com/ReCreate-timelapse.
- Yksityiskohtaisia videoita irrotustyöstä on nähtävissä osoitteessa www.tuni.fi/recreate.

Tampereen yliopisto / Eetu Lehmusvaara

6

Skanska

5 Irrotettua palkkia nostetaan alas torninosturilla.

6 Ontelolaatat lähdössä varastointia ja tehdaskunnostusta kohti.

7 Uudelleenkäytettyjä ontelolaattoja uuteen rakennukseen asennettuna.

Lähteet

1. Huuhka, S. (2024). ReCreate raivaa tietä rakennusosien uudelleenkäytölle. RY Rakennettu Ympäristö 4/24.
2. Lahdensivu, J. & Räsänen, A. (2024). ReCreate-hankkeen uudelleenkäytettävien betonielementtien koestukset. *Betoni* 3/2024, s. 28–32. https://betoni.com/lehti/2024/10/01/recreate-hankkeen-uudelleenkaytettavien-betonielementtien-koestukset/
3. Räsänen, A., Lahdensivu, J., Vullings, M.W.F., Dervishaj, A. & Huuhka, S. (2024a). *Procedure for quality management of reclaimed concrete elements. The ReCreate project*. https://doi.org/10.5281/zenodo.13828914
4. Räsänen, A., Lahdensivu, J., Gudmundsson, K., Dervishaj, A., Westerlind, H., Lambrechts, T., Vullings, M., Arnold, V. & Huuhka, S. (2024b). *Properties and quality of precast concrete elements deconstructed in ReCreate's pilots*. The ReCreate project. https://doi.org/10.5281/zenodo.13828948
5. Vullings M.W.F., Huuhka, S., Wijte S.N.M., Lambrechts, T., Houtman, J., Landman, M., Salmio, E., Räsänen, A., Jonker-Hoffrén, P., Weijo, I., Lahdensivu, J., Stenberg, E., Wedelsbäck, C., Appelqvist, T., Gudmundsson, K., Dervishaj, A., Westerlind, H., Hernandez Vargas, J., Henschel, C., Fischer, J. & Gottschling, D. (2024). *Best practice guidelines and recommendations for reuse-optimised deconstruction*. The ReCreate project. https://doi.org/10.5281/zenodo.13828738
6. Vullings M.W.F., Wijte, S.N.M., Henschel C., Fischer, J., Huuhka, S., Salmio, E., Räsänen, A., Lahdensivu, J., Gudmundsson, K., Stenberg, E., Westerlind, H., Dervishaj, A. (2024). *Real-life deconstruction pilots of the ReCreate project*. The ReCreate project. https://doi.org/10.5281/zenodo.13828855
7. Vullings, M., Wijte, S. & Huuhka, S. (2022). *Guidelines for a BIM-aided pre-deconstruction audit*. The ReCreate project. https://doi.org/10.5281/zenodo.13828691

Kierrätysbetonimurske maanparannusaineena

Tia Härkönen, toimittaja

Ympäristöhaasteiden jatkuvasti kasvaessa ja kiertotalouden yleistyessä CO_2ncrete Solution -tutkimushankkeessa selvitettiin, millaisia uusia ratkaisuja betonin karbonatisoituminen voisi tuoda tullessaan. Betonirakennuksesta betonimurskeena kiertoon saatu aines saa yleisesti uuden elämän maanrakennusmateriaalina, mutta ehkä enenevässä määrin myös osana maanparannukseen.

Betoniteollisuus ry:n koordinoimassa CO_2ncrete Solution -projektissa tutkittiin hiilidioksidin sitoutumista betonirakenteisiin sekä kehitettiin uusia kierrätysmenetelmiä, joissa voidaan hyödyntää betonin karbonisoitumista.

”Projektissa selvisi, että rakennetun ympäristön betonikanta toimii merkittävänä hiilivarastona ja -nieluna ja että myös purkubetonilla on todistetusti huomattava hiilensidontapotentiaali. Projektin myötä on herännyt kysymyksiä, miten betonimursketta voisi hyödyntää muullakin tavalla kuin tutusti rakenteiden kantavissa ja jakavissa kerroksissa sekä erilaisissa täyttötöissä”, sanoo CO_2ncrete Solution -projektin projektipäällikkö *Tommi Kekkonen*.

Åbo Akademin jatkoprojekti on askel eteenpäin

Yksi varteenotettava vaihtoehto betonimurskeena kiertoon saadun aineksen käytölle on hyödyntää sitä maanparannusaineena. Åbo Akademin CO_2ncrete Solution -projektiin liittyvä tutkimusprojekti aloitettiin syksyllä 2022. Siinä on selvitetty betonimurskeen hienoaineen käyttöä maaperän neutraloinnissa ja stabiloinnissa. Hyvien tulosten saattelemana projektin jatko-osa alkoi syksyllä 2023.

”Tutkimusryhmämme on tehnyt viime vuosina paljon tutkimusta liittyen happamien sulfaattisavien stabilointiin sekä neutralointiin turvallisesti sekä ympäristöystävällisesti käyttämällä erilaisia teollisuuden sivuvirtoja. Betonimurskeen hienoaineksen testaaminen näissä tarkoituksissa oli luonteva jatko. Kierrätysbetonimurskeen hieno-osa on erinomaista materiaalia juuri neutralointia ajatellen. Sen käyttö sideainereseptin osana myös stabiloinnissa on antanut lupaavia tuloksia, mutta koska vaihtelua tuloksissa on, on lisätutkimus tarpeen”, kertovat Åbo Akademin tutkijat *Thomas Kronberg* ja *Jan-Erik Eriksson*.

Mitä hienompaa kierrätysbetonia, sitä enemmän stabilointikykyä

Åbo Akademin stabilointitutkimuksen ensimmäinen kierros tehtiin murskaamalla kierrätysbetonin suurempia kappaleita laboratoriossa leukamurskaimella ja seulomalla tehdystä murskeesta fraktioita 0–1 mm ja 0–100 µm. Testit tehtiin varsinaissuomalaisella kaivuusavella sekoittamalla siihen stabiloiva aines ja pakkaamalla massa stabilointiputkeen. Kappaleiden puristuslujuutta mitattiin eri aikapisteissä.

”Testit aloitettiin kartoittamalla murskeen potentiaali tutkimalla betonimurskeen stabiloiva vaikutus ainoana sideaineena, jolloin sen vaikutus näkyi paremmin. Tämä ei ole optimaalinen ratkaisu käytännössä”, Thomas Kronberg sanoo.

Verrattuna pelkkään saveen, saatiin 0–1 mm betonimurskefraktiolla (120 kg/m³) nostettua puristuslujuus yli 40 kPa, kun pelkkä savi jäi noin 10 kPa:n lujuuteen. Saveen sekoitettu hienompi <100 µm murske nosti puristuslujuuden yli 60 kPa:n 91 päivän mittauksessa 120 kg/m³

1, 2 Yksi varteenotettava vaihtoehto betonimurskeena kiertoon saadun aineksen käytölle on hyödyntää sitä myös maanparannusaineena. Åbo Akademin CO_2ncrete Solution -projektiin liittyvä tutkimusprojektissa on selvitetty betonimurskeen hienoaineen käyttöä maaperän neutraloinnissa ja stabiloinnissa.

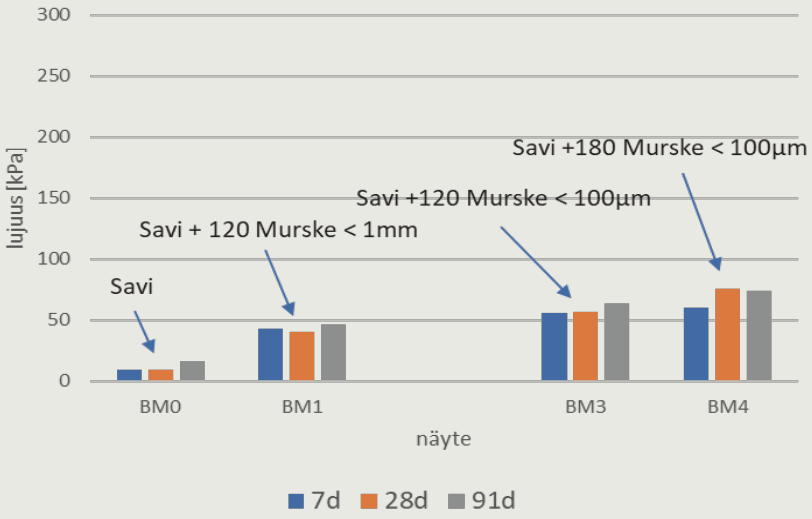
Rudus Oy

1

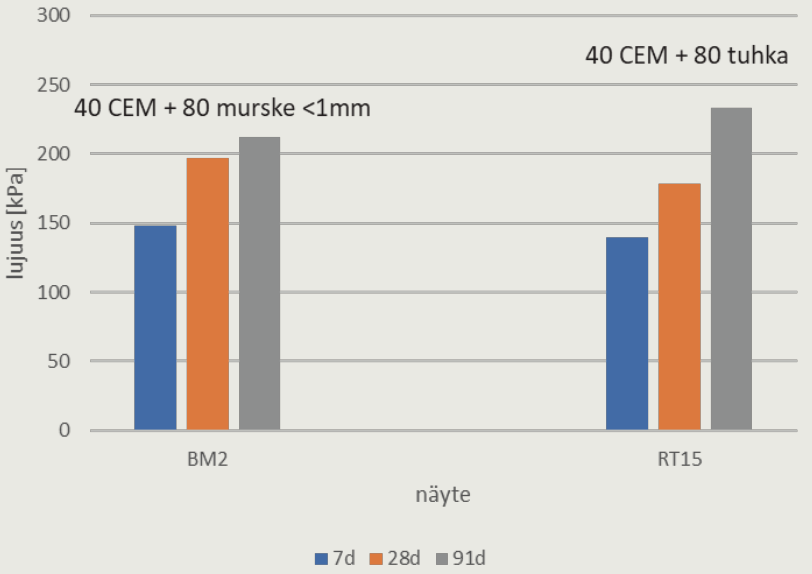
2

Rudus Oy

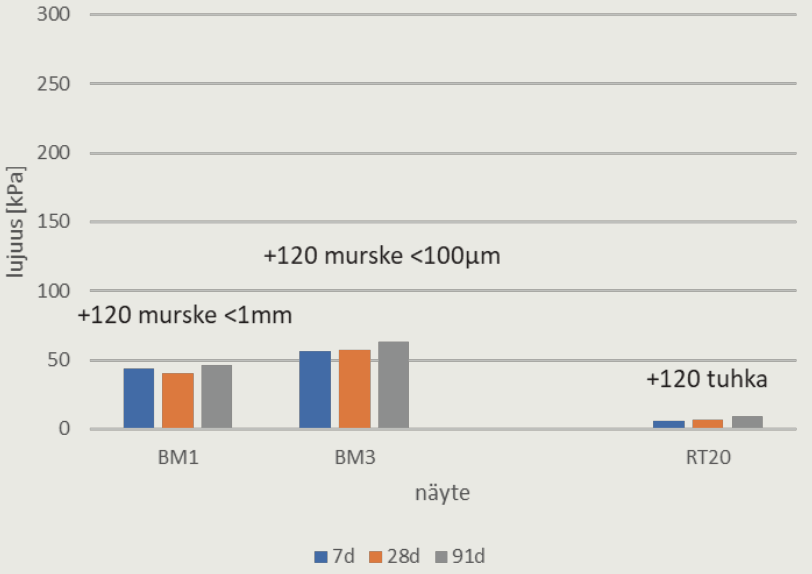
Kuva 1 Mitattuja puristuslujuuksia 7, 28, ja 91 päivän kohdilla. Massat ovat savea sekä siihen lisättyä betonimursketta <1 mm ja <100 µm fraktioilla.



Kuva 2 Puristuslujuus näytteissä missä on 40 kg/m^3 sementtiä + 80 kg/m^3 betonimursketta < 1 mm (vasemmalla) sekä 40 kg/m^3 sementtiä + 80 kg/m^3 tuhkaa (oikealla).



Kuva 3 Puristuslujuus savi + 120 kg/m^3 betonimurske < 1mm, betonimurske < 100 µm ja tuhkaa



3 Pilaantuneita maita kunnostetaan kiinteyttämällä eli stabilisoimalla. Kiinteytys sitoo ympäristölle vaaralliset aineet maaperään niin, etteivät ne pääse liukenemaan esimerkiksi pohjaveteen tai kulkeutumaan muualle maastoon.

Betoniteollisuus
3

sekä 180 kg/m³ -lisäyksillä. Stabiloinnissa usein käytetty tavoite on puristuslujuuden osalta 150 kPa. Täten pelkällä murskeella tästä jäädään hieman alle, mutta sementtiä lisäämällä saavutetaan helposti tarvittava puristuslujuus. Lisäämällä saveen 40 kg/m³ sementtiä ja 80 kg/m³ <1 mm betonimursketta, nousi puristuslujuus yli 200 kPa:n 91 päivän kohdalla.

Betonimurskeella (<1 mm) ja lisäsementillä tehtyä stabilointikoetta verrattiin vastaaviin testeihin, jossa sementin lisäksi oli käytetty teollista tuhkaa, joka on yleisesti käytetty maan stabiloinnissa. Betonimurskeella tehty stabilointi vastasi sementillä ja tuhkalla saavutettuja tuloksia.

”Vertailtaessa pelkän betonimurskeen eri fraktioiden stabilointikykyä pelkkään teolliseen tuhkaan, saavutettiin selkeästi pelkkää tuhkaa korkeampia puristuslujuuksia kummallakin testatulla partikkelikoolla”, Kronberg toteaa.

Stabilointikokeita jatkettiin seulomalla valmiista betonimurskeesta 0–2 mm fraktio, jolla tavoiteltiin teollisesti helpommin saavutettavaa partikkelijakaumaa. Betonimursketta lisättiin tällä kertaa ruoppausmassaan eri suhteissa, minkä lisäksi sementin määrää vaihdeltiin.

”Betonimurskeella tällä fraktiolla ei saatu aikaan mainittavaa stabiloivaa vaikutusta, joka oli ehkä odotettavaakin, koska kyseessä oli vetelä ruoppausmassa”, Jan-Erik Eriksson kommentoi.

Betonimurskeen hienompi fraktio antaa viitteitä, että sillä olisi käyttökohteita myös maamassojen stabiloinnissa. Yhtä millimetriä pienemmillä fraktioilla päästiin tuloksiin, joiden perusteella kierrätysbetonia voitaisiin käyttää maan stabilointiin, esimerkiksi puistoalueratkaisuissa. Kahta millimetriä pienemmillä partikkeleilla betonimurske sisältää enemmän hiekkaa ja hienoa kiviainesta, jolloin hienon sementtipastan suhteellinen määrä vähenee ja näin stabilointikykyä ei käytännössä ole.

”Mitä hienompaa kierrätysbetoni on, sitä enemmän sillä on stabilointikykyä. Se herättää voimakkaan mielenkiinnon betonimurskan hienomman aineksen jatkokäsittelyyn”, Tommi Kekkonen miettii.

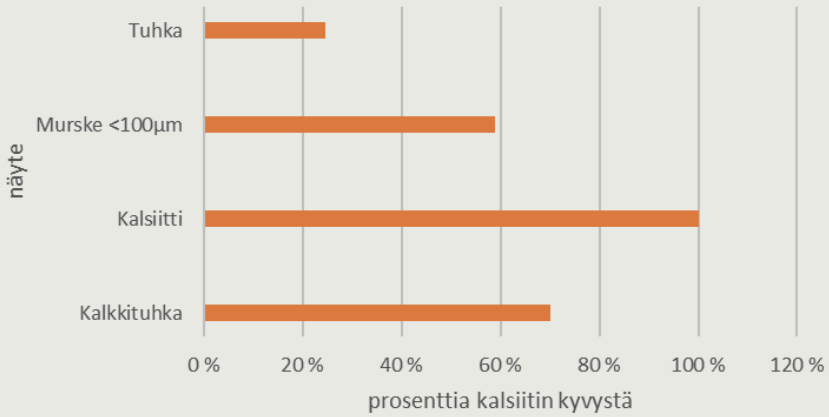
Betonimurskeen neutralointikyky on erittäin hyvä

Stabilointikokeita vastaavilla betonimurskejakeilla tutkittiin myös niiden neutralointikykyä happamien sulfidisavien kanssa. Hienoksi jauhettu kalkkikivi eli kalsiitti on yleisimmin tavanomaisissa sovelluksissa käytetty neutralointiaine, jonka vaikutuksiin betonimursketta kokeissa verrattiin.

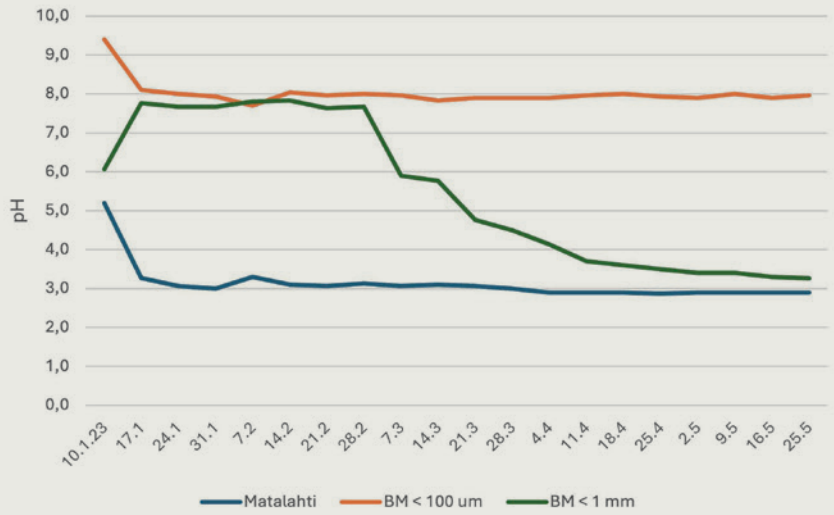
0–100 µm fraktion neutralointikyky mitattiin titraamalla ja kokonaisneutralointikyvystä laskettiin tarvittava määrä sekoituksiin. Kuvaajassa (kuva 4) kalsiitin neutralointikyky on 100 % ja sitä verrattiin betonimurskeen lisäksi teolliseen tuhkaan ja kalkkituhkaan. Betonimurskeen tässä käytetyllä fraktiolla saavutettiin noin 60 prosentin kalsiitin neutralointikyvystä.

Neutraloitavien massojen pH:ta mitattiin ajan funktiona inkubointitestissä ja täten seurattiin betonimurskeen neutralointikykyä.

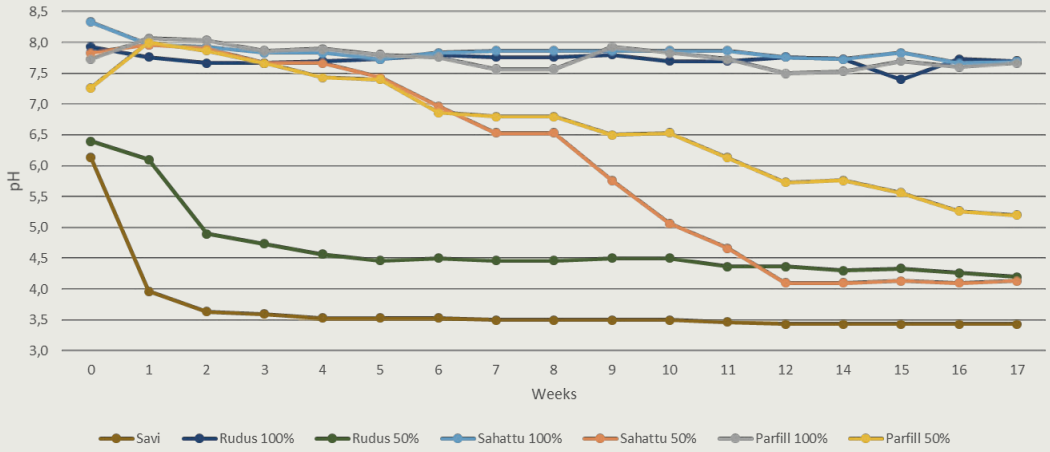
Kuva 4 Eri neutralointiaineiden neutralointikyky.



Kuva 5 Neutralointi seurattiin mittaamalla pH viikoittain 18 viikkoa.



Kuva 6 Neutralointitulokset 17 viikon jälkeen.



Lisätty betonimurskeen määrä oli 51 kg/m³ ruoppausmassaa, joka oli Naantalin Matalahdesta.

”Kuvaajasta nähdään, että ilman käsittelyä ruoppausmassan pH laskee jo noin viikossa kolmen tasolle, joka on huomattavan hapanta. Ruoppausmassaan tarvittava neutralointimäärä oli laskettu <100 µm fraktion mukaan ja siksi <1 mm fraktion neutralointikyky loppui kesken. Vaikuttavan hienon sementtipastan määrä jäi kokeessa liian alhaiseksi. Pienempi fraktio puolestaan piti neutraloivan vaikutuksensa koko mittausjakson ajan”, Eriksson sanoo.

Neutralointikokeiden seuraava vaihe tehtiin 0–2 mm kierrätysbetonimurskeella sekä betonituotetehtaalta saadusta sahauslietteellä, johon oli lisätty tiilimurskaa. Verrokkina toimi jälleen kalsiitti ja käytetty hapan sulfidisavi (kaivuusavi) oli peräisin Kaarinan Torppalasta. Neutralointikyky määritettiin titraamalla ja tulokset suhteutettiin kalsiitin vastaavaan tulokseen. Neutralointikyky tutkittiin 100 % ja 50 % -annostuksilla, jolloin varmistuttiin mittauksen toimivuudesta.

Kuvassa 6 ”Rudus” viittaa 0–2 mm fraktioon betonimurskeesta. ”Sahattu” tarkoittaa betonituotetehtaan sahauslietettä ja ”Parfill” on kaupallinen kalsiitti. Kuvaajasta nähdään, että molemmat betonimurskenäytteet, 0–2 mm seulottu hienompiaines sekä sahausliete neutraloivat hapanta sulfidisavea yhtä hyvin kuin kaupallinen tuote. Kaikkien neutralointiaineiden 50 %:sen seoksen pH laski mittauksen edetessä. Se oli tarkoituskin, eli mittaus toimi. Kuvaajasta nähdään myös, että ilman käsittelyä saven pH laskee parissa viikossa kolmen tasolle.

Betonimurskeen neutralointikyky voidaan testien perusteella todeta erittäin hyväksi. Haasteen käytännön sovelluksille heittää kuitenkin jätelainsäädäntö, joskin EEJ-asetuksen mukaista betonimursketta voisi jo käyttää tämän tyyppisesti.

CO_2ncrete Solution -projektin projektipäällikkö Tommi Kekkonen toteaa kierrätysbetonista saadun murskeen erittäin mielenkiintoiseksi sen, että mikäli murske on varastoitu optimaalisesti ja sen varastointiolosuhteet voidaan todentaa, on kyseessä hiilinegatiivinen tuote.

Thomas Kronberg ja Jan-Erik Eriksson muistuttavat, että hiilipäästöjen osalta on aina huomioitava se, mihin niitä verrataan.

”Kierrätysbetonia ajatellen lähes kaikki sen hiilipäästöt ovat syntyneet betoniin rakennusvaiheessa käytetyn sementin kalsinoinnissa. Tämä voidaan määrätyissä olosuhteissa saada

Kuva 7 Korvausrakentamisen hiilitase.

Skaalan hahmottamisen avuksi kuvaajassa on mallinnettu korvaavan rakentamisen tilannetta, jossa vanha, stereotyyppinen (Foreconin betonikanta-analyysin mallin mukainen) asuinkerrostalo on purettu ja sen purkubetoni on kierrätetty projektissa kehitetyllä metodilla. Puretun rakennuksen tilalle rakennetaan uusi identtinen asuinkerrostalo vähähiilisellä (CEM III/B) betonilla. Vihreä pylväikkö kuvaa purkubetonin hiilensidontaa. Punainen pylväikkö kuvaa rakentamisen aiheuttamia päästöjä. Sininen käyrä on rakennushankkeen hiilitase, joka jää n. 23 %:in rakentamisen aiheuttamasta hiilipiikistä projektin lopussa.

suurelta osin talteen murskeen karbonatisoituessa. Siten murskeen voidaan ajatella olevan tosiaankin lähes hiilineutraali sivuvirta. Myös kierrätysmateriaalien käyttö neitseellisten raaka-aineiden sijaan edistää hiilineutraaliutta", tutkijat toteavat.

Seuraavaksi Åbo Akademin tutkimusprojektissa on vuorossa pilotointivaihe kenttäolosuhteissa nyt, kun betonimurskeen käytön edut ja rajoitteet stabiloinnissa ja neutraloinnissa on pystytty kartoittamaan laboratoriotesteissä. •

Lisätietoja: Tommi Kekkonen
tommi.kekkonen@concretia.fi
puh. +358 50 350 8820
https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/betonin-hiilensidonta/hienomurskeen-potentiaali/

Tiesitkö?

Suomen Litorina-vaiheen aikana merenpohjaa olleet rannikkoalueet sisältävät runsaasti potentiaalisesti happamoituvia sulfidimaita. Jos sulfidimaat pääsevät kuivumaan ja hapettumaan kosketuksessa ilman kanssa, ne happamoituvat. Maan kohoamisen seurauksena näitä happamoituvia sulfaattimaita on nyt merenpinnasta noin 40 metrin korkeudelle asti ulottuvalla vyöhykkeellä. Tämä aiheuttaa rannikkoalueilla haasteita muun muassa rakentamiselle heikon kantavuuden, teräsrakenteiden korroosioriskin ja varsinkin happamien, liukoisia metalleja sisältävien valumavesien vuoksi. Siksi sulfaattimaat päätyvät usein läjitettyinä maankaatopaikoille, ja niiden tilalle joudutaan laittamaan maanrakennushankkeissa muualta tuotua maa-ainesta.

Happamiin sulfaattimaihin liittyvät riskit todennäköisesti lisääntyvät ilmastonmuutoksen seurauksena, kun kuivat kaudet edistävät maaperän happamoitumista ja happamuuden huuhtoutumista.

Jotta sulfaattimaamassoja voidaan turvallisesti hyödyntää, ne on neutraloitava tai stabiloitava, jotta niitä voitaisiin käyttää erilaisissa täytöissä tai maisemoinneissa sekä rakennuspohjana.

Useimmiten maa-ainesmassojen neutraloinnin ja stabiloinnin prosessi kuitenkin tuottaa merkittäviä hiilidioksidipäästöjä, sillä siihen käytetään sementti- ja kalkkipohjaisia aineita.

Betonimurske voisi toimia osana kokonaisuutta, varsinkin neutraloinnissa, jolloin saavutetaan etuja hiilijalanjäljen ja kierrätysasteen näkökulmasta.

Jälkijännitetyn palkin leikkauskestävyys

Atte Kurko, dipl.ins.
Sitowise Oy, suunnittelija, Sillat ja korjaussuunnittelu
atte.kurko@sitowise.com

Anssi Laaksonen, professori, TkT
Tampereen Yliopisto, Betoni- ja siltarakenteiden tutkimusryhmä
anssi.laaksonen@tuni.fi

Diplomityön tuloksena on esitetty viimeisimmän teoriatiedon mukaiset rakenteen analysointimenetelmät. Menetelmät on tiivistetty käytännössä sovellettavaan muotoon. Työn tulokset tulevat vaikuttamaan lähes kaikkien esijännitettyjen rakenteiden suunnitteluun lähitulevaisuudessa. Työ vaikuttaa merkittävästi suunnittelutyön ja rakenteiden laatuun.

Betoni ja esijännitetyt rakenteet

Betonin alhaisen vetolujuuden, mutta korkean puristuslujuuden vuoksi betoni soveltuu hyvin esijännitettäväksi. Esijännittäminen parantaa betonin ominaisuuksia myös leikkauskestävyyden näkökulmasta. Erityisesti jälkijännittäminen parantaa leikkauskestävyyttä, sillä jälkijännittäminen mahdollistaa kaarevan jännegeometrian, jolloin puristusjännitystä voidaan suoraan jännekulkuun verrattuna muodostaa enemmän päävetojännitysten suuntaisesti. Diplomityössä tutkittiin jälkijännitetyn palkin leikkauskestävyyttä. Tavoitteena oli selkeyttää vastikään julkaistun toisen sukupolven betonieurokoodin käyttöä jälkijännitetyn palkin leikkausmitoituksessa sekä verrata laskentamenetelmiä ja tuloksia nykyisin käytössä oleviin suunnitteluohjeisiin, ensimmäisen sukupolven betonieurokoodiin sekä sen soveltamisohjeeseen NCCI2:seen.

Taustaa:

Palkkien leikkauskestävyyden määritys on yksi monimutkaisimmista, mutta olennaisimmista aiheista teräsbetonipalkkien suunnittelussa. Ilmiön tutkimiseen saatavilla oleva data on perinteisesti koostunut yksiaukkoisten palkkien koekuormitusaineistosta ja usein on tarkasteltu ainoastaan palkin taipumaa ja kuorman suuruutta. Aineistosta saatujen havaintojen perusteella suunnitteluohjeiden laskentakaavat ovat kalibroitu, monesti empiirisin menetelmin laajoihin tietokantoihin perustuen. Myös mekaanisia malleja on ehdotettu rationaaliseksi lähestymistavaksi leikkausmitoitukseen. Erilaisten mittaustekniikoiden, kuten digitaalisen kuvakorrelaation kehittyminen on mahdollistanut erilaisten leikkausmitoituksen mekaanisten mallien ja niissä esiintyvien leikkausrasitusten siirtymismekanismien tarkemman tutkimisen.

Suomessa leikkauskestävyyden mitoitus tehdään tällä hetkellä ensimmäisen sukupolven betonirakenteiden eurokoodin [4] mukaisesti. Poikkeuksena tähän ovat taitorakenteet, joissa noudatetaan ensisijaisesti eurokoodin betonirakenteiden soveltamisohjetta NCCI 2 [2]. Toisen sukupolven betonieurokoodi [5] on julkaistu, mutta kansallisia liitteitä ei ole vielä julkaistu, eikä standardia ole vielä otettu suunnittelutyössä käyttöön. Jälkijännitetyn palkin leikkausmitoituksessa on muuttunut erityisesti leikkausraudoittamattoman palkin mitoitus, joka toisen sukupolven betonieurokoodissa perustuu uuteen mitoitusteoriaan (critical shear crack theory). Uusi mitoitusteoria perustuu mekaaniseen malliin, kun aiemmin leikkausraudoittamattoman palkin leikkausmitoitus on perustunut empiiriseen malliin. Myös leikkausraudoitetun palkin leikkauskestävyyden laskentakaavoja on päivitetty, mutta mitoitus perustuu edelleen muuttuvakulmaiseen ristikkomalliin, joten muutokset eivät ole yhtä merkittäviä kuin leikkausraudoittamattoman palkin tapauksessa.

Teräsbetonirakenteen leikkauskestävyyttä tarkastellaan yleensä murtotilanteessa, jolloin poikkileikkaus oletetaan halkeilleeksi. Leikka-

Jälkijännitetyn palkin leikkauskestävyys
Atte Kurko, Tampereen yliopisto, diplomityö

”Työn tuloksena on esitetty viimeisimmän teoriatiedon mukaiset rakenteen analysointimenetelmät. Menetelmät on tiivistetty käytännössä sovellettavaan muotoon. Työn tulokset tulevat vaikuttamaan lähes kaikkien esijännitettyjen rakenteiden suunnitteluun lähitulevaisuudessa. Työ selkeyttää hyvin vaikean aihepiirin. Diplomityön aihe onkin uusien rakenteiden päästöjen vähennystarpeiden ja olemassa olevien rakenteiden käyttöiän jatkamisen kannalta hyvin olennainen.

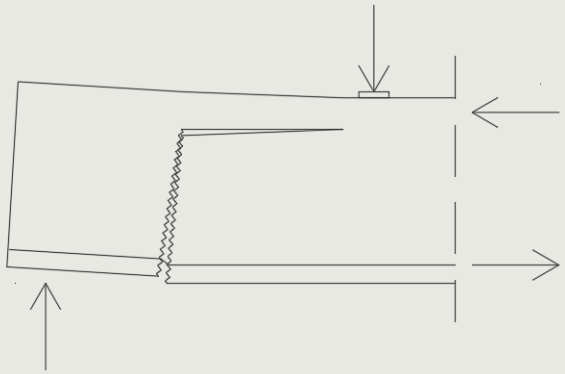
Työ vaikuttaa merkittävästi suunnittelutyön ja rakenteiden laatuun. Työ on luonut perustan, jolla rakenteiden suunnitteluohjeet tullaan tämän aiheen osalta päivittämään. Työ on ohessa myös tuottanut uusimman teoriatiedon mukaista ajantasaista suomenkielistä kirjallisuutta.”

– Anssi Laaksonen, professori,
Tampereen Yliopisto

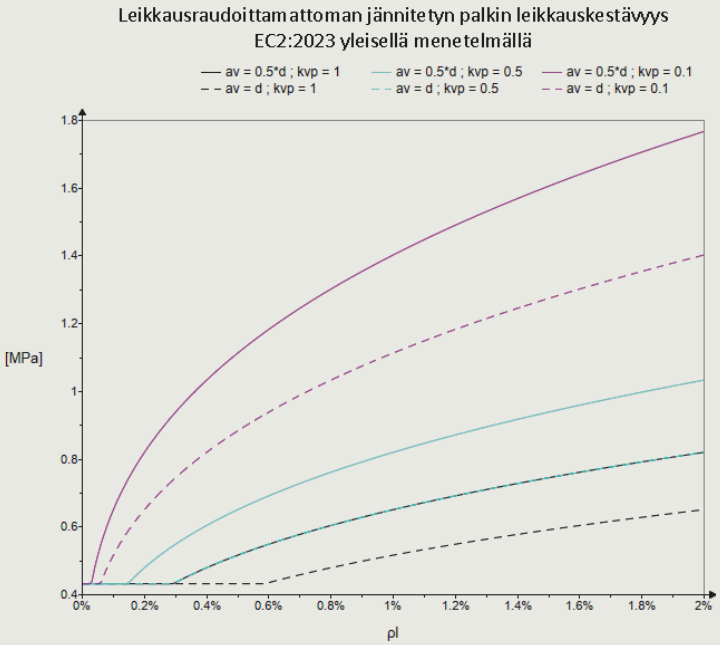
Tutustu Atte Kurkon diplomityöhön täältä:
https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202407197677

1 Kuvituskuva. Kalkkisten silta, Asikkala. Kanava yhdistää Päijänteen ja Ruotsalaisen vesistön. 1315 metriä pitkä kanava on rakennettu 1875 – 78 ja uusittu vuosina 1961 – 64. Kanavan ylittävän kiinteän sillan alikulkukorkeus on 11 metriä. **1**

Taitorakennerekisteri



Kuva 1 Yksinkertaistus "Critical Shear Crack" -teorian mukaisen mallin toiminnasta kuormitustason ollessa korkea.Halkeama kehittyy aluksi avautumalla, kunnes lopulta halkeama alkaa kehittyä palkin pituusakselin suuntaisesti, jolloin pystysuuntaisessa halkeamassa alkaa muodostua pintojen välistä liukumaa. Kuva on muokattu alun perin Aurelio Muttonin esittämästä mallista [3].



Kuva 2 Leikkausraudoittamattoman aksiaalisesti puristetun palkin leikkauskestävyys raudoitussuhteen funktiona eri mekaanisen leikkausjänteen a_v ja aksiaalisen voiman huomioon ottavan kertoimen k_{vp} arvoilla toisen sukupolven betonieurokoodin mukaisesti. Laskenta on tehty seuraavilla lähtöarvoilla: d = 850 mm, f_{ck} = 35 MPa, D_{lower} = 16 mm, γ_V = 1,4 ja fyd = 500 MPa / 1,15.

usrasitukset välittyvät halkeilleessa betonirakenteessa monin eri tavoin: Halkeilemattoman betonin puristusvyöhykkeen välityksellä, runkoaineksen lukkiutumisesta, pääraudoituksen vaarnavaikutuksella, leikkausraudoituksella ja betonin jäännösvetolujuuden avulla. Leikkausmitoitusmallista riippuen joidenkin välittymismekanismien vaikutuksia ei välttämättä oteta huomioon.

Teräsbetonirakenteella leikkauskestävyyden laskennassa käytetään eri laskentamallia riippuen siitä, onko rakenne leikkausraudoitettu vai leikkausraudoittamaton. Teräsbetonipalkeilla leikkausraudoittamattomaksi käsitetään rakenne, johon on sijoitettu vähimmäisleikkausraudoitus. Vastaavasti leikkausraudoitetussa rakenteessa leikkausraudoituksen määrä on tätä suurempi. Leikkausraudoitetussa rakenteessa leikkausmurron otaksutaan tapahtuvan leikkausraudoituksen venymän, betonin kaltevan puristuskentän murtumisen tai näiden yhteisvaikutuksen seurauksena. Tällöin halkeilu on jakaantunutta ja rakenteella on muodonmuutoskykyä. Leikkausraudoittamattomissa rakenteissa sen sijaan leikkausmurron otaksutaan tapahtuvan, kun venymä keskittyy paikallisesti kriittiseen leikkaushalkeamaan, jolloin muodonmuutoskyky on hyvin rajallinen.

Toisen sukupolven betonieurokoodin leikkausraudoittamattoman palkin mitoitusmenettely perustuu "Critical Shear Crack" -teoriaan. Teorian pääotaksuma on, että leikkauskestävyyden määrittää kriittisen leikkaushalkeaman kehittyminen, joka häiritsee leikkausrasitusten välittymistä betonissa. Leikkauskestävyys näin ollen riippuu kriittisen leikkaushalkeaman avaumasta ja karheudesta sekä betonin puristuslujuudesta. Mitä suurempi halkeaman avauma on, sitä pienempi on rakenneosan leikkauskestävyys. Tyypillisesti halkeama alkaa kehittyä vetoalueelta taivutushalkeamasta. Palkin kuormitustason edelleen kasvaessa, halkeama alkaa kehittyä palkin pituussuuntaan, jolloin pystysuuntaisen halkeaman eri pinnat liukuvat toisiinsa nähden kuvan 1 mukaisesti. Teorian mekaanisen mallin perusolettama on, että kriittisen leikkaushalkeaman leveys w on suoraan verrannollinen kontrollisyvyyden pituussuuntaisen muodonmuutoksen ε_{ref} ja rakenneosan tehollisen korkeuden d tuloon kaavan (1) mukaisesti.

$$w \propto \varepsilon_{ref} \cdot d \quad [1]$$

Tämän olettaman pohjalta on muodostettu yksinkertainen analyyttinen muoto murtokriteerille, joka voidaan esittää hyperbolisena funktiona kaavan (2) mukaan.

$$V_c = \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d \cdot \frac{1/3}{1 + 120 \cdot \varepsilon_{ref} \cdot \frac{d}{d_{g0} + d_g}} \quad [2]$$

jossa

f_c = betonin puristuslujuus

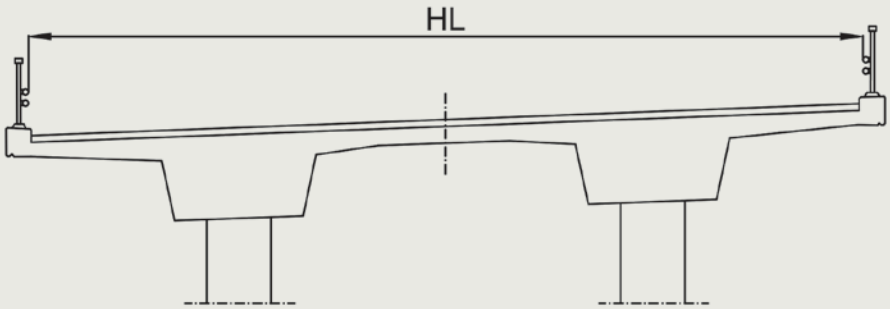
b = rakenneosan leveys

d_{g0} = betonin runkoaineskoon vertailuarvo (16 mm)

d_g = runkoaineskoon enimmäisarvo

Parametri ε_{ref} tarkoittaa pituussuuntaista muodonmuutosta etäisyydellä 0,6 · d puristetusta pinnasta, joka on johdettu poikkileik-

Kuva 3 Todellinen sillan poikkileikkaus, joka laskentatarkastelussa kuvattiin arina- ja palkkimallin avulla.



kausanalyysistä olettaen lineaarielastinen materiaalimalli ja jättäen betonin vetolujuuskapasiteetti huomioimatta. Toisen sukupolven betonirakenteiden eurokoodiin laskentakaava on vielä kalibroitu ja johdettu edelleen helpommin käytettävään muotoon, jolloin poikkileikkaussuureiden sekä poikkileikkauksessa vaikuttavien voimasuureiden avulla voidaan määrittää leikkauskestävyys kaavan (3) mukaan.

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0{,}66}{\gamma_V} \cdot \left(100\rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{k_{vp} \cdot a_v}\right)^{\frac{1}{3}} \quad [3]$$

jossa

γ_V = leikkausmitoituksen osavarmuuskerroin

ρ_l = raudoitussuhde

d_{dg} = kokovaikutus, joka kuvaa halkeaman ja murtopinnan karheutta, huomioiden betonityypin ja sen runkoaineksen ominaisuudet

kvp = aksiaalisen voiman huomioon ottava kerroin

a_V = mekaaninen leikkausjänne

$\frac{d_{dg}}{k_{vp} \cdot a_v}$ sisältää kaksi teräsbetonisen palkin leikkauskestävyyteen merkittävästi vaikuttavaa tekijää: Leikkausjänteen vaikutuksen ja kokovaikutuksen.

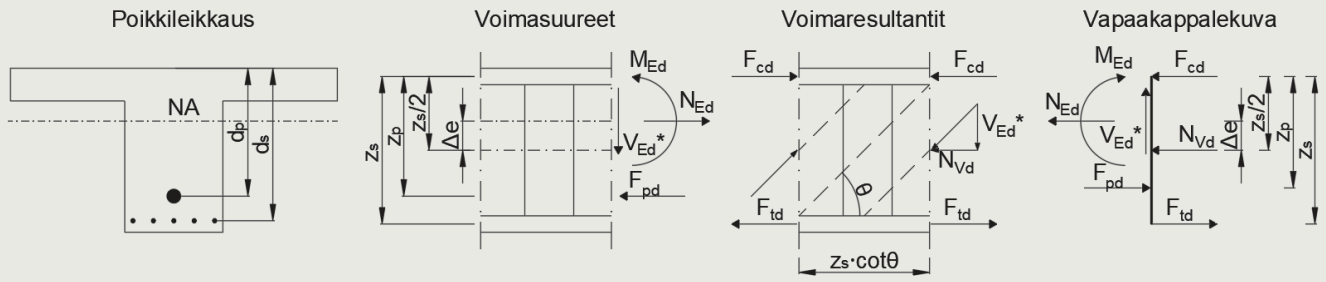
Leikkausjänteen arvo riippuu palkin kuormitusasennosta. Yleistäen esimerkiksi pistekuormalla kuormitetulla yksiaukkoisella palkilla leikkausjänteen suuruus on sama kuin kuorman etäisyys tuelta. Kun kuorma on lähellä tukea, taivutushalkeamat eivät ulotu betonin sisäiseen kaltevaan puristussauvaan, jolloin vetoraudoitus myötää ja täysi plastinen kestävyys saavutetaan. Kun kuormaa viedään pidemmälle tuelta betonin sisäisen kalteva puristussauva alkaa taittua taivutushalkeilun ulottuessa yhä enemmän puristusvyöhykkeelle. Tällöin vetoraudoitus ei myötää ja plastinen kestävyys yliarvioi palkin kestävyyden. Edelleen kuorman siirtyessä kauemmas tuelta vetoraudoitus myötää jälleen ja plastinen kestävyys saavutetaan. Yleistäen voidaan siis sanoa, että hyvin pienellä tai riittävän suurella leikkausjänteellä saavutetaan täysi leikkauskapasiteetti. Tässä työssä ei tarkastella tilannetta, jossa leikkausjänne on hyvin pieni.

Kokovaikutus tarkoittaa sitä, kun teräsbetonirakenteen tehollisen korkeuden kasvaessa myös kaltevan halkeaman leveys kasvaa, jolloin runkoaineksen lukkiutumisen avulla halkeaman yli välittyy vähemmän leikkausrasitusta eli rakenneosan normalisoitu leikkauskestävyys pienenee. Kokovaikutus on riippuvainen myös raudoitussuhteesta sekä leikkausjänteestä, johon vaikuttaa rakenneosan aksiaalinen voima. Kokovaikutus ei ole yhtä merkittävä leikkausraudoitetulla rakenteella, sillä raudoitus estää halkeamien avautumista. Toisin sanoen leikkausraudoitus sitoo halkeamapintoja yhteen, jolloin runkoaineksen lukkiuma säilyy leikkausraudoitetulla rakenteella paremmin verrattuna leikkausraudoittamattomaan rakenteeseen.

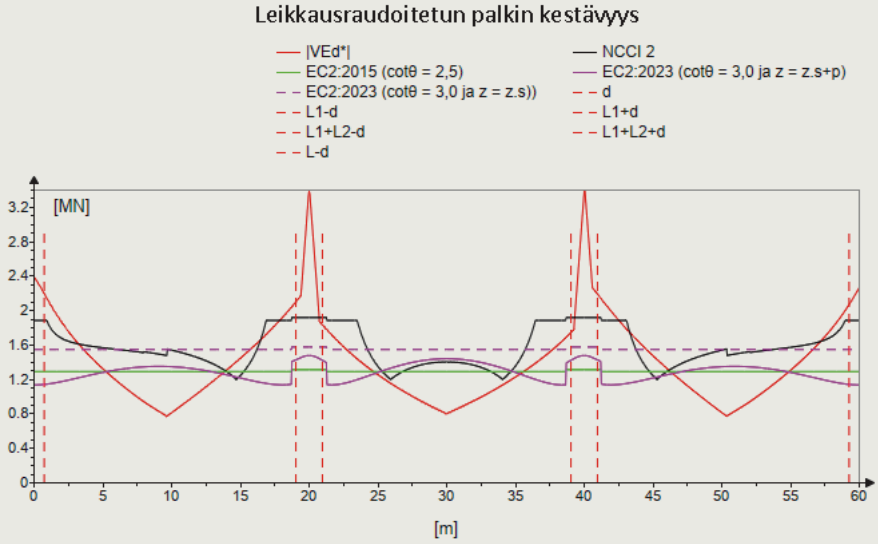
Kuvassa (2) on esitetty toisen sukupolven eurokoodin mukaisia leikkausraudoittamattoman aksiaalisesti puristetun palkin leikkauskestävyyden tuloksia raudoitussuhteen funktiona, varioiden mekaanista leikkausjännettä a_V sekä aksiaalisen voiman huomioon ottava kerrointa k_{vp}. Mekaaninen leikkausjänne voi saada arvoja välillä $0{,}5 \cdot d \ldots 1{,}0 \cdot d$ ja aksiaalisen voiman huomioon ottava kerroin 0,1...1,0. Mitä pienemmät arvot ovat, sitä suurempi leikkauskestävyys saavutetaan, mikä voidaan nähdä myös kuvaajasta.

Tutkimusasetelmat:

Tutkimus koostuu teoriaosuudesta sekä laskentatarkasteluista. Laskentatarkasteluissa tarkasteltiin jälkijännitettyjen palkkien leikkauskestävyyttä sekä leikkausrasituksesta aiheutuvaa lisävetovoimaa 12:lla eri jälkijännitettyä kaksipalkkista palkkisiltaa (kuva 3) jäljittelevällä palkkimallilla. Laskentatapauksista 6 on kaksiaukkoisia ja 6 kolmiaukkoisia palkkeja. Palkkeihin vaikuttivat NCCI 1 [1] mukaiset tieliikenteen siltojen kuormat. Malleja analysoitiin koko palkin pituudelta ja tuloksia vertailtiin



Kuva 4 Leikkausraudoitetun ankkurijännemenetelmällä jälkijännitetyn palkin leikkausmitoituksen laskentamalli epäsymmetriselle poikkileikkaukselle, jossa jännevoima F_{pd} on otettu huomioon omana komponenttinaan. Kuvassa esitetään voimaresultanttien sijainti poikkileikkauksessa, joiden avulla voidaan muodostaa vapaakappalekuva ja vapaakappalekuvan perusteella määrittää vetopaarteen F_{td} ja puristuspaarteen F_{cd} voimat. Muut termit: Δe on neutraaliakselin etäisyys poikkileikkauksen korkeuden puolivälistä, M_{Ed} ja N_{ed} ovat taivutusmomentti ja normaalivoima ilman jännevoiman vaikutusta, V_{Ed}^* on leikkausvoima jännevoiman vaikutukset huomioiden, ϑ on puristuskentän kulma ja N_{Vd} on koko poikkileikkauksen leikkauksesta aiheutuva lisävetovoima.



Kuva 5 Erään laskentatapauksen (silta 7) leikkauskestävyyden tulokset leikkausraudoitettuna minimileikkausraudoituksella koko palkin pituudella ensimmäisen ja toisen sukupolven betonieurokoodien sekä soveltamisohjeen NCCI 2 mukaisesti. Laskentatuloksia tarkasteltiin sekä "painotetulla" sisäisellä momenttivarrella z_{s+p}, että ainoastaan tavanomaisen vetoraudoituksen huomioivalla sisäisellä momenttivarrella z_s. Pystysuorat viivat ovat etäisyydet tehollisen korkeuden d päässä tuelta. Palkin laskentatuloksista voidaan nähdä, että leikkauskestävyys ei olisi riittävä minkään laskentamenetelmän mukaan, mutta NCCI 2 mukaisesti saavutetaan suurin leikkauskestävyys.

suunnitteluohjeiden betonirakenteiden eurokoodin ensimmäisen ja toisen sukupolven sekä soveltamisohjeen NCCI 2 välillä (kuvat 4 ja 5). Kriittisissä poikkileikkauksissa, eli tehollisen korkeuden päässä tuilta, laskentatulokset taulukoitiin numeroarvoina. Lisäksi tehtiin yksittäisiä laskentatarkasteluja, joissa tutkittiin eri yksittäisten tekijöiden vaikutusta jälkijännitettyjen palkkien leikkauskestävyyteen. Yksittäisissä laskentatarkasteluissa laskentatapaukset valikoitiin edellä mainituista 12 laskentatapauksesta, mutta jännevoima sekä jännityshäviöt määritettiin tarkasti.

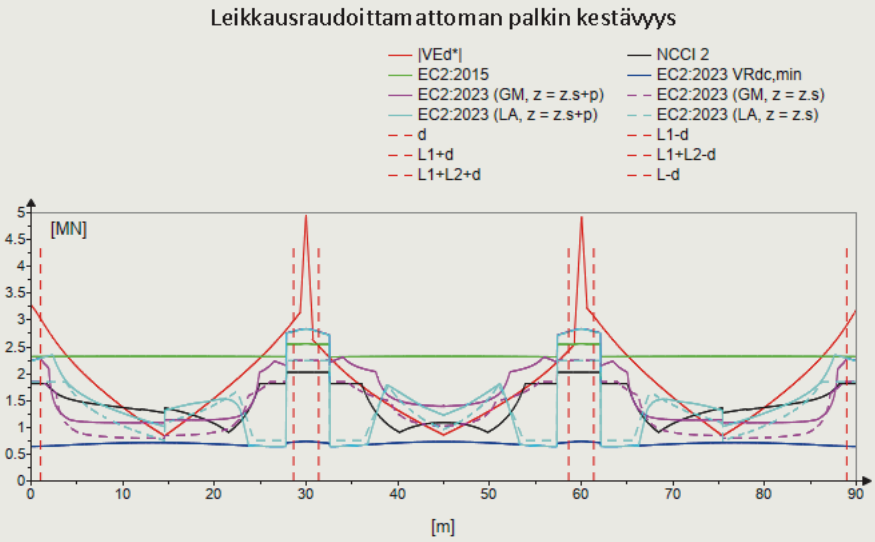
Teräsbetonirakenteen toiminta leikkausrasituksessa voidaan jakaa kolmeen alakohtaan:

1. Halkeilemattoman betonirakenteen toiminta
2. Halkeilleen leikkausraudoittamattoman betonirakenteen toiminta
3. Halkeilleen leikkausraudoitetun betonirakenteen toiminta

Näistä kohdan 1. rakenteiden oletetaan toimivan homogeenisen rakenteen tavoin ja mitoitus tehdään pääjännityksiä tarkastelemalla. Työssä tarkasteltiin rakenteita vain kohtien 2. ja 3. mukaisesti, sillä toisen sukupolven betonieurokoodin mitoitusmallit otaksuvat halkeilleen poikkileikkauksen. Tutkimuksessa leikkausraudoittamattomalla palkilla tarkoitetaan siis palkkia, johon on sijoitettu vähimmäisleikkausraudoitus. Täysin raudoittamattomat matalat palkit rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle. Laskentatarkasteluissa leikkausraudoitettuihin palkkeihin oli sijoitettu ainoastaan eurokoodin mukainen vähimmäisleikkausraudoitus.

Tutkimuksen tavoitteena oli selkeyttää toisen sukupolven betonirakenteiden eurokoodin käyttöä leikkausmitoituksessa sekä löytää hyviä käytäntöjä jälkijännitettyjen palkkien suunnitteluun toisen sukupolven eurokoodin mukaisesti. Leikkausraudoittamattoman sekä leikkausraudoitetun rakenteen mitoitukseen ja lisävetovoiman määritykseen pyrittiin löytämään suunnittelun kannalta käytännöllisiä ratkaisuja. Laskentatarkastelujen tavoitteena oli vertailla eroja leikkauskestävyydessä ensimmäisen ja toisen sukupolven betonieurokoodin sekä eurokoodin soveltamisohjeen NCCI 2 välillä, sekä selvittää eri laskentatapauksilla eroja leikkauskestävyydessä leikkausraudoitettuna minimileikkausraudoituksella ja leikkausraudoittamattomana eurokoodin toisen sukupolven eurokoodin mukaisesti.

Toisen sukupolven betonirakenteiden eurokoodissa rakenteen leikkauskestävyys määritetään käyttäen jännityksiä. Tällöin leikkauskestävyyden suuruusluokan arviointi on helpompaa poikkileikkauksesta riippumatta, verraten leikkauskestävyyden tarkasteluun voimana. Työssä kuitenkin leikkauskestävyyttä tarkasteltiin voimana, jolloin vertailu



Kuva 6 Erään laskentatapauksen (silta 2) leikkauskestävyyden tulokset leikkausraudoittamattomana koko palkin pituudella ensimmäisen ja toisen sukupolven betonieurokoodien sekä soveltamisohjeen NCCI 2 mukaisesti. Laskentatuloksia tarkasteltiin sekä "painotetulla" sisäisellä momenttivarrella z_{s+p}, että ainoastaan tavanomaisen vetoraudoituksen huomioivalla sisäisellä momenttivarrella z_s. GM tarkoittaa toisen sukupolven betonieurokoodin yleistä menetelmää (General Model) ja LA tarkoittaa lineaarista menetelmää (Linear Approach). Pystysuorat viivat ovat etäisyydet tehollisen korkeuden d päässä tuelta. Palkin laskentatuloksista voidaan nähdä, että suurin leikkauskestävyys saavutetaan toisen sukupolven betonieurokoodin mukaisilla laskentamenetelmillä. Tuloskäyristä havaitaan myös momentin nollakohdan vaikutus laskentatuloksiin välitukialueen vasemmalla puolella. Kun vedetty pinta vaihtuu ja näin ollen tehollinen korkeus muuttuu, leikkauskestävyys vähenee nopeasti, mutta nousee uudelleen välitukialueelle mentäessä.

eri suunnitteluohjeiden laskentakaavoihin sekä laskentatuloksiin oli helpompaa.

Laskentatulosten tarkastelu:

Leikkausmitoituksessa palkin sisäinen momenttivarsi z lasketaan yksinkertaistettuna kaavalla $z = 0{,}9 \cdot d$, jossa d on tehollinen korkeus. Toisen sukupolven eurokoodin mukaisessa leikkauskestävyyden laskennassa tulee lähtökohtaisesti käyttää jänneraudoituksen ja tavanomaisen vetoraudoituksen poikkileikkausalalla painotettua tehollista korkeutta (kaava 4), ellei pelkkä tavanomainen raudoitus pysty vastaanottamaan poikkileikkauksessa vaikuttavaa vetovoimaa. Tehollisen korkeuden lisäksi jänneraudoite huomioidaan vastaavasti myös raudoitussuhteen laskennassa (kaava 5).

$$\rho_l = \frac{d_s \cdot A_s + d_p \cdot A_p}{b_w \cdot d^2} \quad [4]$$

$$d = \frac{{d_s}^2 \cdot A_s + {d_p}^2 \cdot A_p}{d_s \cdot A_s + d_p \cdot A_p} \quad [5]$$

jossa

d_s = tavanomaisen raudoituksen tehollinen korkeus

d_p = jänneraudoituksen tehollinen korkeus

A_s = tavanomaisen raudoituksen poikkileikkausala

A_p = jänneraudoituksen poikkileikkausala

Laskentatuloksista havaittiin, että toisen sukupolven eurokoodin mukainen leikkausraudoittamattoman jälkijännitetyn palkin leikkauskestävyys oli parempi, kun palkin tehollselle korkeudelle ja raudoitussuhteelle käytettiin jänneraudoitteen poikkileikkausalan huomioivia arvoja. Vaikka jänneraudoite yleisesti on tavanomaisen vetoraudoituksen sisäpuolella poikkileikkauksessa ja näin ollen vähentää tehollisen korkeuden arvoa, joka johtaa leikkauskestävyyden vähenemiseen, niin toisaalta jänneraudoite nostaa merkittävästi raudoitussuhdetta, joka puolestaan parantaa leikkauskestävyyttä. Kokonaisvaikutukseltaan jänneraudoituksella havaittiin olevan leikkauskestävyyttä lisäävä vaikutus. Tämä todennettiin vielä tarkastelemalla yhtä laskentatapausta varioimalla pääraudoitussuhdetta välillä 0,4 %...2,0 %. Havainnon todettiin helpottavan leikkausraudoittamattoman rakenteen mitoitusta, sillä ei erikseen tarvitse tarkastella pystyykö tavanomainen vetoraudoitus vastaanottamaan poikkileikkauksessa vaikuttavan vetovoiman, vaan jänneraudoite voidaan ottaa aina laskennassa huomioon, kun määritetään leikkausmitoituksessa käytettävää sisäistä momenttivartta ja raudoitussuhdetta.

Leikkausraudoitettuna mitoitetulla jälkijännitetyllä palkilla sen sijaan ns. painotetun tehollisen korkeuden mukaan laskettu leikkauskestävyyden arvo on luonnollisesti pienempi kuin käytettäessä pelkän tavanomaisen vetoraudoituksen tehollista korkeutta, mikäli jänneraudoite sijaitsee tavanomaisen raudoitteen sisäpuolella poikkileikkauksessa. Tutkimuksessa kuitenkin todettiin, että mikäli leikkausrasituksesta aiheutuva lisävetovoima otetaan laskennassa huomioon leikkausmitoitusmallin mukaisesti (kuva 6), voidaan leikkausraudoitetun palkin leikkausmitoituksessa käyttää aina tavanomaisen vetoraudoituksen mukaista tehollisen korkeuden arvoa.

Toisen sukupolven betonieurokoodissa leikkausraudoitetun palkin leikkausmitoitusmallin puristuskentän kulma voidaan valita tavanomaisilla betonirakenteilla väliltä n. 21,8...45°. Poikkileikkauksen ollessa puristettu keskimäärin vähintään 3 MPa, voidaan puristuskentän kulmaksi valita loivimmillaan n. 18,4°. Laskentatarkasteluissa käytettiin loivinta mahdollista kulmaa, jolloin saavutettiin suurin mahdollinen leikkauskestävyys. Useimpien laskentatapausten leikkauskestävyys oli suurempi leikkausraudoitettuna minimileikkausraudoituksella kuin leikkausraudoittamattomana toisen sukupolven eurokoodin mukaan laskettaessa.

Huomioitavaa kuitenkin on, että työssä ei tarkasteltu käyttörajatilan ilmiöitä, kuten uuman halkeilua. Loivan puristuskentän kulman käyttö vaatii suurempia venymiä leikkausraudoitukselta ja vähentää kaltevan puristuskentän kestävyyttä sekä näin ollen aiheuttaa uuman halkeilua. Ilmiötä olisi mahdollista tarkastella toisen sukupolven betonieurokoodin liitteen G mukaisesti tasomuodonmuutostilan avulla.

Laskentatulosten vertailussa ensimmäisen ja toisen sukupolven eurokoodin ja NCCI 2 välillä havaittiin, että suurin leikkauskestävyys leikkausraudoittamattomana saavutettiin toisen sukupolven eurokoodin laskentamenetelmillä. Leikkausraudoitetulla palkilla

laskenta on lähes vastaava eri eurokoodiversioiden kesken, joten ero niiden välillä johtui ainoastaan toisen sukupolven eurokoodin sallimasta loivemmasta puristuskentän kulmasta. Kuitenkin NCCI 2 mukaan laskettu minimileikkausraudoituksella leikkausraudoitetun palkin leikkauskestävyys oli suurempi kuin kummankaan eurokoodiversion mukaan laskettu. NCCI 2 mukaista parempaa leikkauskestävyyttä selittää se, että NCCI 2 mukaisessa laskentatavassa leikkausraudoitetulla rakenteella leikkauskestävyydessä voidaan huomioida myös betonin osuus, jota lisäksi voidaan korottaa palkin ollessa puristettu.

Jälkijännitetyn palkin leikkauskestävyyteen vaikuttavat tekijät:
Kaarevalla jännegeometrialla jännevoima yleensä aiheuttaa leikkausvoimaa nähden vastakkaissuuntaisen komponentin, joka luonnollisesti vähentää betonirakenteeseen kohdistuvaa leikkausrasitusta sekä leikkausraudoittamattomalla, että leikkausraudoitetulla palkilla. Leikkausraudoitettuna mitoitetulla jälkijännitetyllä palkilla leikkauskestävyyteen vaikuttavat tekijät voidaan helposti määrittää ja niiden vaikutukset leikkauskestävyyteen ovat selkeitä. Näitä tekijöitä ovat leikkausraudoitussuhde, puristuskentän kaltevuus sekä leikkauspaneelin poikkileikkauksen pinta-ala, mikä riippuu sisäisen momenttivarren korkeudesta sekä leikkaukselle toimivan poikkileikkauksen leveydestä. Lisäksi poikkileikkauksen ollessa puristettu, voidaan puristuskentän kulmaa loiventaa, mutta vaikutus kestävyyteen on enintään 20 % suurempi tavanomaiseen teräsbetonipalkkiin verrattuna.

Leikkausraudoittamattomalla palkilla esijännityksen vaikutus leikkauskestävyyteen on suurempi. Leikkausraudoittamattomalla palkilla leikkauskestävyyteen vaikuttaa merkittävästi kokovaikutus, leikkausjänne, jännegeometria ja aksiaalinen rasitus sekä raudoitussuhde. Näistä esijännitys vaikuttaa myös leikkausjänteeseen tavallisesti pienentäen sen arvoa, jolloin leikkauskestävyys paranee.

Toisen sukupolven betonieurokoodin erityispiirteet leikkausmitoituksessa:
Toisen sukupolven betonieurokoodin mukaisessa jälkijännitetyn palkin leikkausmitoituksessa havaittiin muutamia erityispiirteitä. Lähtökohtaisesti leikkausmitoituksessa jännevoima otetaan voimasuureissa huomioon. Tämä ei kuitenkaan ole välttämättä selvää eurokoodia käytettäessä, sillä voimasuureiden merkinnät ovat samoja jännevoima huomioituna voimasuureissa tai pelkillä ulkoisilla voimasuureilla. Tämän takia työssä käytettiin eri merkintää voimasuureille, joissa jännevoiman vaikutus on mukana. Myöskään käytettävän uuman leikkauspaneelin korkeuden eli sisäisen momenttivarren korkeuden määritys ei ole laskennassa aina selvää. Tutkimuksessa todettiin, että suurimman leikkauskestävyyden leikkausraudoittamattomana saa käyttäen jänneraudoitteen huomioivaa sisäistä momenttivartta ja leikkausraudoitettuna käyttäen ainoastaan tavanomaisen vetoraudoituksen mukaista sisäistä momenttivartta. Lisäksi laskentakaavat voivat olla vaikeasti tulkittavia jälkijännitetyn rakenteen tapauksessa ja erityisesti mikäli käytetään epäsymmetristä poikkileikkausta. Esimerkiksi leikkausraudoitetun palkin mitoituksessa laskentakaavat esitetään suorakaidepoikkileikkaukselle ja epäsymmetrisen poikkileikkauksen tapauksessa voimasuureet tulee muuttaa niin, kuin ne vaikuttaisivat leikkausmitoituksessa käytettävän sisäisen momenttivarren korkeuden puolivälissä. Jälkijännitetylle palkille lisävetovoiman huomioon ottamista mitoituksessa ei toisen sukupolven eurokoodissa ole yksityiskohtaisesti ohjeistettu.

Yleisesti leikkauskestävyyden tarkastelu voidaan tehdä kahdella tavalla: Joko laskemalla aluksi kapasiteetti ja sen jälkeen vertaamalla sitä vaikuttaviin leikkausrasituksiin tai toisinpäin. Leikkauskapasiteetin laskentaa leikkausraudoittamattomana ennen voimasuureiden laskemista siltarakenteissa ei voida tehdä tarkasti, sillä leikkausjännettä ei tiedetä ennen voimasuureiden laskentaa, johtuen liikkuvasta kuormasta. Mikäli esijännitysvoima, poikkileikkaus ja rakenteen kuormitusasento on tiedossa, on myös leikkauskapasiteetti leikkausraudoittamattomana mahdollista määrittää ilman iteraatiota. Tämän vuoksi siltarakenteilla leikkausmitoitus leikkausraudoittamattomana on suositeltavaa tehdä vasta voimasuureiden määrityksen jälkeen. Leikkauskapasiteetin määritys puolestaan leikkausraudoitetulla palkilla voidaan tehdä, sillä voimasuureiden ei tarvitse olla tiedossa leikkauskestävyyden määritystä varten.

Yhteenveto:
Työssä tutkittiin jälkijännitetyn palkin leikkauskestävyyttä kirjallisuusselvityksenä, että laskennallisin tarkasteluin. Teoriaosassa koottiin yhteen tämänhetkinen teoria jälkijännitettyjen palkkien leikkauskestävyydestä. Laskentatarkasteluissa keskityttiin erityisesti toisen sukupolven betonieurokoodin mukaiseen laskentaan ja vertailulaskentaa tehtiin myös ensimmäisen sukupolven betonieurokoodin sekä eurokoodin soveltamisohjeen NCCI 2 mukaan.

Laskentatuloksia tarkasteltiin 12 eri jälkijännitettyä palkkisiltaa jäljittelevällä palkkiallilla ja tulokset analysoitiin verraten muihin laskentamenetelmiin. Tulokseksi saatiin esimerkinomaiset prosessikaaviot toisen sukupolven betonieurokoodin mukaisesta leikkausmitoituksesta sekä leikkausraudoitettuna, että leikkausraudoittamattomana. Lisäksi avattiin haastavia kohtia toisen sukupolven eurokoodin mitoitusmenettelyssä ja annettiin suosituksia laskentaan. Tuloksia voidaan hyödyntää myöhemmin eurokoodin kansallisen liitteen ja soveltamisohjeen päivitystyössä. •

Lähteet:
[1] Eurokoodin soveltamisohje: Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1. Liikennevirasto, Helsinki, 2017.
[2] Eurokoodin soveltamisohje: betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. Väylävirasto, 2022.
[3] A. Muttoni and J. T. Simões. "Shear and punching shear according to the Critical Shear Crack Theory: background, recent developments and integration in codes". In: Revista IBRACON de Estrutas e Materiais 16.3 (2023)
[4] SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2015.
[5] SFS-EN 1992-1-1:2023. Eurocode 2. Design of concrete structures. Part 1–1: General rules and rules for buildings, bridges and civil engineering structures. Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2023.

Työskentely osana Tampereen yliopiston betoni- ja siltarakenteiden tutkimusryhmää
Aloitin työskentelyn tutkimusryhmässä tammikuussa 2024. Ennen diplomityön aloitusta olin kysellyt vastuuohjaaja Anssi Laaksoselta mahdollista aihetta ja kun kerroin omat mielenkiinnon kohteeni eli rakenteiden mitoittamisen ja betonirakenteet, niin oli hienoa, että sain juuri näihin liittyvän aiheen. Pääsin hyödyntämään työssäni omaa osaamistani ja olin silloin sekä olen vieläkin hyvin kiinnostunut diplomityön aiheesta, mikä varmasti oli yksi merkittävimmistä tekijöistä työn onnistumisessa. Olin jo aiemmin muuttanut toiselle paikkakunnalle kesken opiskelujen, mutta työn tekeminen oli joustavaa ja sopi hyvin omaan tilanteeseeni. Tein työtä etänä, mutta kävin myös aktiivisesti paikan päällä työskentelemässä, sillä koen että paikan päällä käydyissä keskusteluissa sain paljon sellaisia uusia ajatuksia, joita ei muuten olisi herännyt. Yllätyin kuitenkin positiivisesti siitä, että diplomityön tekemistä selvästi arvostettiin ja työn sisällöstä sekä sen etenemisestä oltiin kiinnostuneita. Ohjausta koin saavani juuri niin paljon kuin oli tarpeen.

Ohjauksesta oli suuri apu siinä, ettei työ lähtenyt paisumaan liikaa työtä tehdessä, mikä työn alussa tuntui enemmän kuin todennäköiseltä. Määräaika antoi myös selkeät raamit työn edistymiselle. Uskoisin, että ilman samanlaista ohjausta, työ ei olisi valmistunut yhtä joutuisasti.

Diplomityön ohessa pääsi myös seuraamaan muun tutkimusryhmän työskentelyä. Oli mielenkiintoista nähdä koekuormituksen valmistelua ja toteutusta. Kaiken kaikkiaan ainakin itselle muodostui uudenlainen kuva positiivisessa mielessä tutkimusryhmässä työskentelystä ja suosittelen diplomityön tekemistä tutkimusryhmässä, hyvä ohjaus on yksi osa onnistunutta diplomityötä.

Linkki diplomityöhön:
https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202407197677

Shear Strength in Post-tensioned Beam

The objective of the thesis is clarify shear design according to second-generation Eurocode for concrete structures (EN 1992-1-1:2023) for post-tensioned beam and identify good practical solutions for shear design and determination of additional tensile force due to shear. The objective is also gather up the current theoretical knowledge about the shear phenomenon in post-tensioned reinforced concrete structures and shear design models based on the calculation methods of the EN 1992-1-1:2023. Computational analysis is to compare the differences in shear resistance between first- and second-generation Eurocodes for concrete structures and NCCI 2/2022. Furthermore, difference in shear resistance between shear reinforced beams with minimum shear reinforcement and beams without shear reinforcement in accordance with EN 1992-1-1:2023 are investigated in different calculation cases.

The thesis consists of a literature review and computational analysis. In a literature review examines prestressed concrete structures, shear resistance of reinforced and post-tensioned concrete structures, and also shear design according to various design guidelines. The shear design of the post-tensioned beam is examined in accordance with the first- and second-generation Eurocode for concrete structures and NCCI 2/2022. Computational section are divided into analyses for multiple bridges and individual cases. For multiple bridge analyses, we assess the shear resistance of post-tensioned beams and the additional tensile force due to shear in 12 different simulated double beam bridges with beam models where the determination of the prestressing force has been simplified. The effect of individual factors on the shear strength of post-tensioned beams is investigated in individual analyses.

In post-tensioned concrete beam without shear reinforcement, the shear resistance was found to be greater, when the area of prestressed reinforcement is considered in the values of the effective depth of the flexural reinforcement and reinforcement ratio. In shear reinforced post-tensioned concrete beam, the shear resistance was found to be higher when the area of prestressed reinforcement neglected in the values of the effective depth of the flexural reinforcement and reinforcement ratio. Flow diagrams for shear design were created separately for shear reinforced post-tensioned concrete beam and beam without shear reinforcement in accordance with EN 1992-1-1:2023. The shear resistance of the beam without shear reinforcement was higher according to EN 1992-1-1:2023 than the shear resistance according to the NCCI 2/2022 in the studied cases. The shear resistance of the shear reinforced beam was higher according to the NCCI 2/2022 than EN 1992-1-1:2023 in the studied cases. Overall, shear design with shear reinforcement was found to be more practical for post-tensioned beams according to EN 1992-1-1:2023 in most cases.

Betonin tiivistyslaadun arviointi

Hassan Ahmed
Väitöskirjatutkija, TkT
Rakennustekniikan laitos, Aalto-yliopisto
hassan.ahmed@aalto.fi

Artikkelissa käsitellään betonin tiivistystä ja tiivistyksen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Tässä artikkelissa esitetään väitöskirjan pääkohdat lyhyesti. Tarkemmat tiedot löytyvät väitöskirjasta https://aaltodoc.aalto.fi/items/44d99e5e-1238-4392-892d-243ae-cea4427

Betonin tiivistyksestä

Betonin tiivistyksen kannalta betonin huokosista olennaisia ovat tiivistyshuokoset sekä jossain määrin myös suojahuokoset. Tiivistyshuokoset ovat ei-toivottuja huokosia ja ne syntyvät tahattomasti betonin sekoituksen ja valun aikana. Suojahuokoset ovat sen sijaan hyödyllisiä ja niitä tarvitaan parantamaan betonin pakkasenkestävyyttä. Raja suoja- ja tiivistyshuokosten välillä on yleensä 0,8 mm, tätä suuremmat huokoset ovat tiivistyshuokosia, eivätkä ne juurikaan paranna betonin pakkasenkestävyyttä. Tiivistyshuokosten määrä sekoituksen jälkeen voi olla 5–20 % tuoreen betonin tilavuudesta ja tiivistyksen jälkeen niiden määrä on pudonnut muutamaan prosenttiin. Tiivistyshuokosten määrä vaikuttaa olennaisesti betonin mekaanisiin ominaisuuksiin. Tutkimukset osoittavat, että jo 1 %-yksikön lisäys tiivistyshuokosissa voi vähentää lujuutta 5–9 %. Tehokkaalla tiivistyksellä voidaan vähentää tiivistyshuokosten määrää, mutta toisaalta riskinä on betonin erottuminen.

Erottuminen tarkoittaa betonin komponenttien kuten kiviainesten, sementtipastan ja ilmahuokosten epätasaista jakautumista betonirakenteen sisällä betonin valun ja tiivistyksen seurauksena. Erityisesti kiviaines erottuu helposti sementtipastasta tiheyserojen vuoksi. Kun betonia ei tiivistetä, kiviainekset rakeet eivät juurikaan liiku, koska sementtipastan viskositeetti on varsin korkea, poikkeuksena lähinnä itsetiivistyvä betoni. Betonin tiivistys vibraamalla muuttaa kuitenkin olennaisesti sementtipastan reologisia ominaisuuksia, ja kiviainesrakeet pyrkivät alaspäin painovoiman vaikutuksesta.

Liian pitkäkestoinen tiivistys tai liian tehokkaan täryttimen käyttäminen lisää betonin erottumisriskiä. Myös betonin koostumuksella on vaikutuksia: erottumisriski kasvaa betonin notkeuden kasvaessa, samoin betonin ilmamäärän kasvaessa erottumisriski kasvaa. Erottumisherkimpiä betoneita ovat S4 tai S5-notkeusluokan huokostetut betonit. Itsetiivistyvät betonit eivät yleensä ole kovinkaan erottumisherkkiä, koska niitä ei tärytetä. Sinänsä jonkin asteinen erottuminen on luonnollinen ilmiö betonille, onhan kiviainesten tiheydet selvästi sementtipastan tiheyttä suurempia. Kuitenkin mikäli erottumistaso nousee liian suureksi, se vaikuttaa negatiivisesti betonin mekaanisiin ja säilyvyysominaisuuksiin. Erottuminen ei useinkaan näy betonipinnalla, poikkeuksena on hyvin voimakas erottuminen, mikä näkyy raitoina ja suurina huokosina betonin pinnassa.

Optimaalinen tiivistys on tasapainoilua kahden edellä mainitun epätoivotun ilmiön välillä: riittämätön tiivistys jättää betoniin ylimääräisiä tiivistyshuokosia, mutta toisaalta liian tehokas tiivistys voi johtaa betonin erottumiseen. Käytännössä betonia tulisi tiivistää niin kauan, että aikakin valtaosa tiivistyshuokosista poistuisi betonista, mutta ei kuitenkaan niin kauaa, että betoni merkittävästi erottuisi.

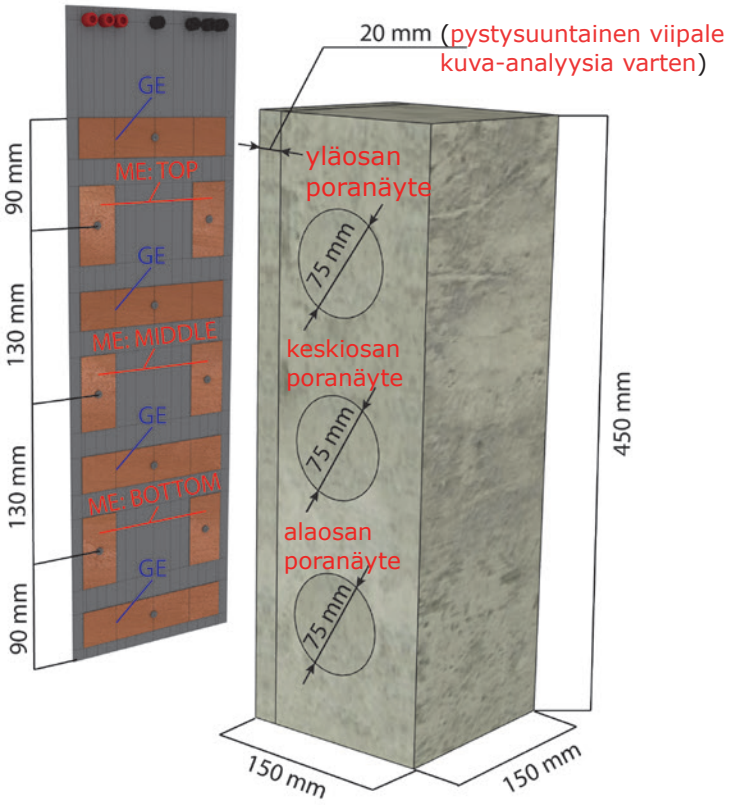
1

Hassan Ahmed

2

1 Sauvatäryttimet ovat kehittyneet entistä tehokkaimmiksi. Täryttimet toimivat aikaisempaa korkeammilla taajuuksilla ja suuremmilla amplitudeilla. Samanaikaisesti betonin notkeudet ovat kasvaneet ja betonin korkeampi notkeustaso säästää työtä valun yhteydessä.

2 Betonin erottumisen osalta päätavoitteena oli kehittää reaaliaikainen mittausmenetelmä, joka voisi havaita betonin erottumisen tuoreesta betonista jo tiivistyksen aikana. Tämä mahdollistaisi tiivistysajan säätämisen niin, ettei merkittävää erottumista pääse tapahtumaan.



Kuva 1 Vasemmalla elektrodipaneeli, jossa on kolme kerrosta mittauselektrodeja (ME) – ylä-, keski- ja alaosassa – sekä maadoituselektrodeja (GE). Sen vieressä on betoninäyte, jossa on merkitty poranäytteiden paikat (ylä-, keski- ja alaosa) sekä pystysuuntainen viipale digitaalista kuva-analyysiä (DIA) varten.

Sauvatäryttimet keksittiin jo 1930-luvulla ja erityisesti viimeisten vuosikymmenien aikana sauvatäryttimet ovat kehittyneet entistä tehokkaimmiksi. Täryttimet toimivat aikaisempaa korkeammilla taajuuksilla ja suuremmilla amplitudeilla. Samanaikaisesti betonin notkeudet ovat kasvaneet, betonin korkeampi notkeustaso säästää työtä valun yhteydessä. Pelkästään pumppauksen yleistyminen on kasvattanut selvästi betonien notkeustasoja. Myös kiviainesten osalta siirrytään entistä enemmän murskattuihin kiviaineksiin. Käytännössä tarvitaankin yhä enemmän notkistavia lisäaineita ja tehonotkistimet ovat kehittyneet koko ajan tehokkaimmiksi. Betonissa käytetään aikaisempaa enemmän seosaineita ja muita lisäaineita, myös nämä vaikuttavat betonin reologisiin ominaisuuksiin ja sitä kautta myös betonin tiivistettävyyteen. Kokonaisuutena voidaankin todeta, että betoni on vuosien kuluessa muuttunut notkeammaksi ja myös erottumisherkemmäksi ja samalla tiivistyskalusto on kehittynyt tehokkaammaksi.

Huolimatta edellä mainituista merkittävistä muutoksista, betonin tiivistysprosessi on edelleen työmaahenkilöstön subjektiivisesti valvomaa. Perinteisesti on ohjeistettu lopettamaan tiivistys, kun betonin pinnalle ei enää nouse ilmakuplia. Oletetaan että tällöin valtaosa tiivistyshuokosista on poistunut betonista. Tämän käytännön luotettavuutta ei ole kuitenkaan vahvistettu betonin erottumisen kannalta. Betonin erottumiseen on kiinnitetty varsin vähän huomiota. Tiivistyshuokosten nouseminen pintaan ja betonin erottuminen ovat kaksi eri ilmiötä. Siten on nähty selkeä tarve betonin tiivistyslaadun yksityiskohtaiselle tutkimukselle.

Tutkimuksen tavoitteet

Hassan Ahmedin väitöskirjatutkimuksessa tavoitteena oli arvioida betonin tiivistyslaatua analysoimalla betonin erottumista sekä tiivistyshuokosten määrää betonissa. Tutkimus keskittyi analysoimaan näiden tekijöiden välistä suhdetta. Tutkimuksessa analysoitiin sekä tuoretta että kovettunutta betonia.

Betonin erottumisen osalta päätavoitteena oli kehittää reaaliaikainen mittausmenetelmä, joka voisi havaita betonin erottumisen tuoreesta betonista jo tiivistyksen aikana. Tämä mahdollistaisi tiivistysajan säätämisen niin, ettei merkittävää erottumista pääsisi tapahtumaan. Kovettuneen betonin osalta keskityttiin erilaisten indikaattorien kehittämiseen betonin erottumisen mittaamiseksi. Tällä hetkellä ei ole standardoitua menetelmää betonin erottumisen arvioimiseksi.

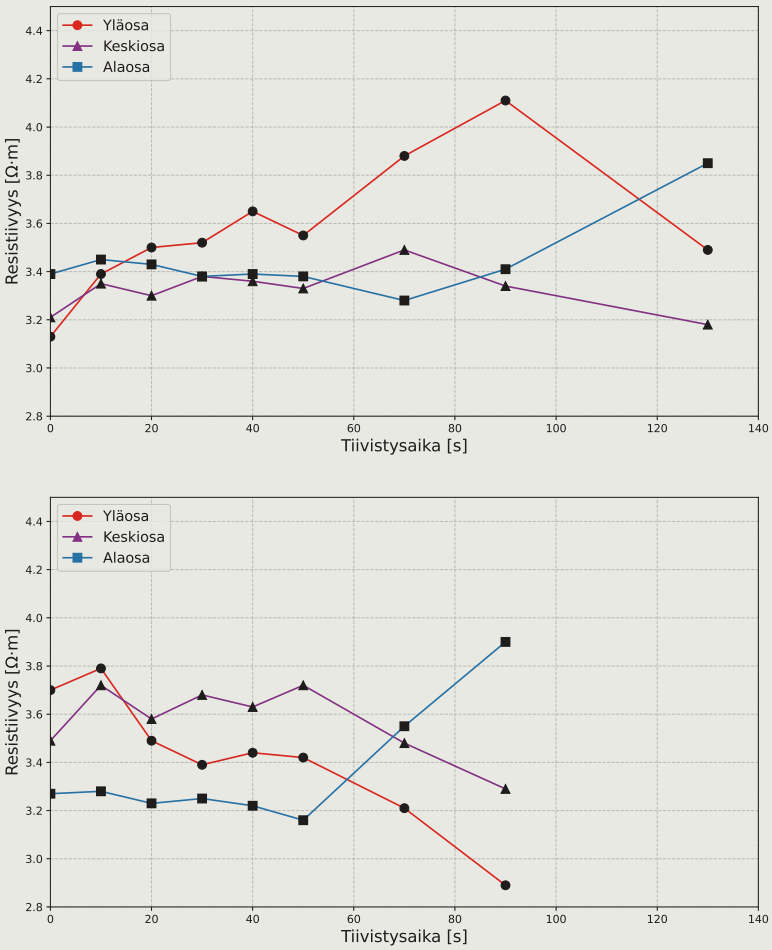
Tiivistyshuokosten osalta tavoitteena on analysoida ilmakuplien nousua betonin pinnalle jo tiivistyksen aikana. Haluttiin tarkistaa voidaanko tiivistysaika optimoida sen perusteella, milloin ilmakulien nousu loppuu. Kovettuneen betonin osalta tavoitteena on tutkia tiivistyshuokosten ominaisuuksia betoninäytteissä, joita oli tiivistetty eri pituisia aikoja. Tavoitteena oli saada selkeämpi käsitys tiivistyshuokosten määrästä ja jakautumisesta betonin sisällä.

Erottumisen seuranta tuoreessa betonissa AC-impedanssispektroskopian (ACIS) avulla

ACIS on ainettarikkomaton sähköinen testausmenetelmä, jonka avulla mitataan materiaalin impedanssia johtamalla siihen vaihtovirtaa eri taajuuksilla. Betonin kiviainesten sähkönjohtavuus on sementtipastaa alhaisempi ja siten kiviainesten tilavuuden kasvu näkyy betonin kokonaisresistiivisyyden (BR = Bulk Resistivity) kasvuna. Teoreettisesti betonin erottumista voidaan siten arvioida reaaliaikaisesti kokonaisresistiivisyyden muutosten avulla.

Menetelmän toimivuutta tutkittiin seitsemän betoninäytteen avulla, jotka merkittiin koodeilla S130-1...4, S90-1, S90-2 ja S50-1. Neljä ensimmäistä tiivistettiin 130 sekuntia, kaksi seuraavaa 90 sekuntia ja viimeinen 50 sekuntia. Koekappaleet tiivistettiin tärypöydällä ja siten tiivistysajat ovat verrattain pitkiä. ACIS-mittauksia tehtiin tietyin välein tiivistyksen aikana. Kukin näyte valettiin PVC-muottiin, jonka koko oli 510 × 150 × 100 mm³ ja johon oli asennettu mittauselektrodit. Mittauselektrodit (ME) asetettiin muotin ylä-, keski- ja alapintaan, ja maadoituselektrodit (GE) sijoitettiin vähentämään sähkökentän leviämistä kerrosten välillä.

Impedanssimittausten vertailua varten sovellettiin kahta lisämenetelmää: poranäytteiden tiheysmittauksia ja digitaalista kuva-analyysiä (DIA). Kuvan 1 mukaisesti kustakin näytteestä otettiin kolme 75 mm poranäytettä ylä-, keski- ja alaosasta, joiden tiheydet mitattiin. Digitaalista kuva-analyysia varten leikattiin



Kuva 2 Kokonaisresistiivisyyksien muutokset tiivistysajan funktiona näytteissä: (a) S130-1 ja (b) S90-2.

pystysuuntainen noin 20 mm paksuinen viipale, ja karkeiden kiviainesten suhde (RCA) ylä-, keski- ja alaosassa laskettiin MATLAB-ohjelmistolla. Tarkempia tietoja menetelmistä ja valetusta betonista löytyy julkaisusta [1].

Kuva 2 näyttää kokonaisresistiivisyyden arvojen muutokset tiivistysajan funktiona näytteiden S130-1- ja S90-2- ylä-, keski- ja alapinnoille. Näytteen S130-1 yläkerroksen resistiivisyys nousi jyrkästi 90 sekuntiin asti, mikä todennäköisemmin johtuu tiivistysilman nousemisesta ylöspäin. Keski- ja alakerrokset osoittivat pienempiä vaihteluita, mutta alakerroksen resistiivisyys alkoi nousemaan noin 70 s tiivistyksen jälkeen. Oletettavasti kiviaineksen osuus alaosassa kasvoi betonin erottumisen seurauksena. Näytteen S90-2 kohdalla yläkerroksen resistiivisyys pieneni tasaisesti lyhyen alkukasvun jälkeen, mikä todennäköisesti johtuu kiviainesten erottumisesta. S90-2 keski- ja alakerrosten käyttäytyminen muistutti S130-1 trendiä, mutta osoitti vielä nopeampaa muutosta. Tämä samankaltainen käyttäytyminen viittaa siihen, että molemmat näytteet, S130-1 ja S90-2, olivat erottuneita, kiviainesten osuus alakerroksessa kasvoi tiivistyksen vaikutuksesta.

Erottumisen tason arvioimiseksi kullekin näytteelle määriteltiin resistiivisyyspohjainen erottumisindeksi (SI_{BR}) lopullisten resistiivisyysarvojen (BR) erona ylä- ja alaosien välillä:

$$SI_{BR} = BR_{final}\,(top) - BR_{final}\,(bottom) \quad (1)$$

missä SI_{BR} on BR-erottumisindeksi (Ω • m), BR_{final} *(top)* on yläosan lopullinen BR-arvo [Ω • m] ja BR_{final} *(bottom)* on alaosan lopullinen BR-arvo [Ω • m]. Huomionarvoista on, että vaikka sekä kahta tutkittua betonia (S90-1 ja S90-2) tiivistettiin täsmälleen sama aika, S90-2:n SI_{BR}-arvo oli viisi kertaa suurempi kuin S90-1, mikä osoittaa selvästi suurempaa erottumista.

SI_{BR}-indeksin luotettavuuden varmistamiseksi määriteltiin myös toinen erottumisindeksi karkeiden kiviainesten osuuden perusteella, SI_{RCA}:

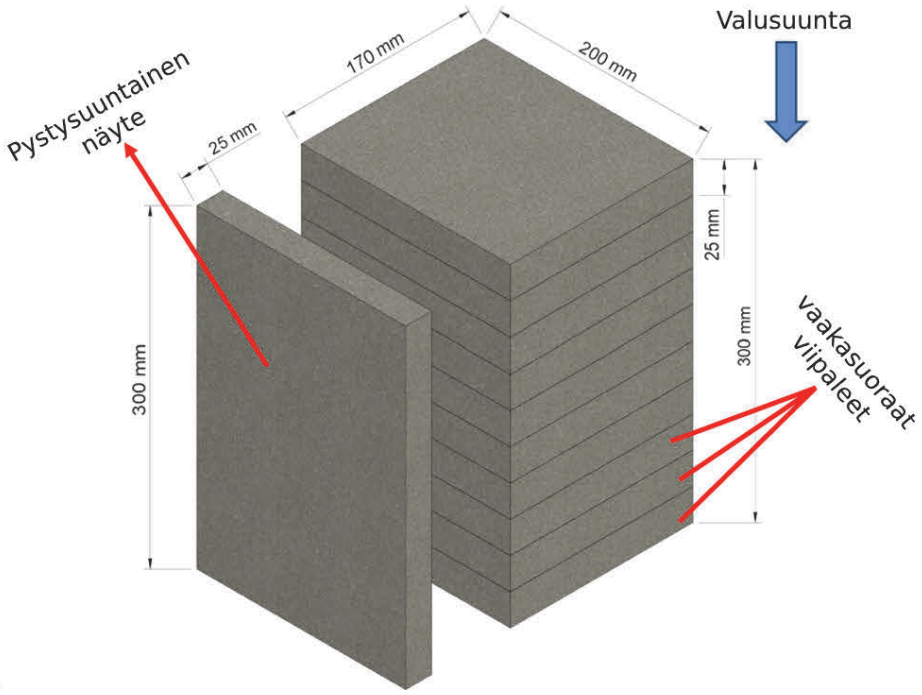
$$SI_{RCA} = RCA(top) - RCA(bottom) \quad (2)$$

missä SI_{RCA} on kiviaineserottumisindeksi prosenttiyksikköinä, *RCA(top)* on yläosan RCA-arvo [%] ja *RCA(bottom)* on alaosan RCA-arvo [%]. Edellä esitettyjen kahden erottumisindeksin SI_{RCA} ja SI_{BR} välillä oli vahva negatiivinen korrelaatio (R = -0,948), mikä osoittaa, että ACIS-mittaukset pystyvät arvioimaan tehokkaasti karkeiden kiviainesten osuutta betonissa. Huomionarvoista on, että näytteen S90-1 SI_{RCA}-arvo oli noin kolmasosa S90-2 arvosta, mikä viittaa selvästi suurempaan erottumiseen samasta tiivistysajasta huolimatta.

Erottumisen taso arvoitiin myös tiheyksien perusteella lasketulla erottumisindeksillä, SI_{core_DEN}.

$$SI_{core_DEN} = Density(top) - Density(bottom) \quad (3)$$

missä SI_{core_DEN} on kiviaineserottumisindeksi [kg/m³], ja *Density(top)* sekä *Density(bottom)* ovat ylä- ja alaosan betonien tiheydet [kg/m³]. Tiheysindeksiin vaikuttaa kiviainesten painumisen lisäksi myös ilmakuplien nouseminen ylöspäin. Aiemmin mainittujen indeksien tapaan betonilla S90-1ä oli pienempi SI_{core_DEN} -arvo kuin betonilla S90-2. Näiden havaintojen perusteella ACIS-mittaukset ovat käyttökelpoinen menetelmä havaitsemaan kiviaineksen erottumista betonissa reaaliaikaisesti tiivistysprosessin aikana.



Kuva 3 Betonista sahatut näytekappaleet.

Erottumisen arviointi kovettuneessa betonissa

Koska kovettuneen betonin erottumisen arvioimiseksi ei ole standardoituja menetelmiä, tutkimuksessa kehitettiin kolme erottumisindeksiä. Indeksit on kuvattu tarkemmin julkaisussa [2]. Indeksien määrittämiseksi tiivistettiin kaksi ryhmää betonia käyttäen eri tiivistysaikoja. Ensimmäinen ryhmä tiivistettiin tärysauvalla ja betonit merkittiin kirjaimella 'P', jota seurasi tiivistysaika sekunteina, vaihteluvälin ollessa 12–40 sekuntia. Toinen ryhmä tiivistettiin tärypöydällä ja merkittiin kirjaimella "T" tiivistysajan vaihdellessa 40–140 sekunnin välillä. Kaikki betonit olivat huokostettuja, ilmamäärän ollessa 6,0 ± 1,0 %. Poikkeuksena kaksi näytettä, P6_8 ja P40_8, joissa ilmamäärä oli korkeampi (8 %), kyseiset betonit tiivistettiin 6 ja 40 sekunnin ajan.

Erottumisen analysoimiseksi koekappaleista sahattiin näytteet kuvassa 3 esitetyllä tavalla. Vaakasuoran viipaleiden (25 mm) tiheys määritettiin, ja viidelle kymmenestä viipaleesta laskettiin kiviainesten jakautuma digitaalisen kuva-analyysin avulla. Samalla tavalla pystysuoran osan kiviainesten jakautuma määritettiin.

Kunkin viipaleen tiheydet mitattiin ja tulokset esitettiin tiheyden jakaumakuviona. Kuvassa 4 on esitetty selvästi erottuneen betonin tiheysvaihtelut. Kuvasta havaitaan, että tiheydet betonipinnan läheisyydessä ovat selvästi alhaisempi kuin näytteen pohjaosissa. Tiheysmittausten perusteella laskettiin erottumisindeksi, SI_{slice_DEN}, joka on vaakasuorien viipaleiden tiheyksien keskihajonta. Erottuminen on sitä suurempaa, mitä suurempi SI_{slice_DEN} on. Kyseinen erottumisindeksi toimii vain vaakasuorille viipaleille ja kerralla tulee tarkastella yhtä valukerrosta. Esim. vaakasuoraan poratuista näytteistä ei voida määrittää kyseistä erottumisindeksiä.

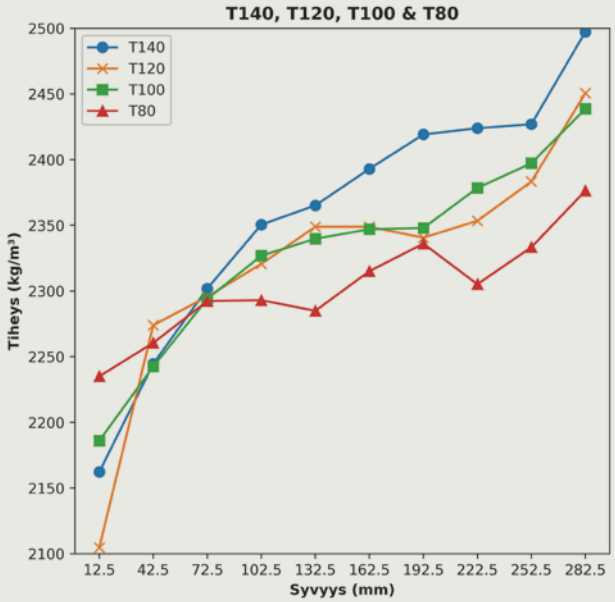
SI_{slice_DEN}-arvot sekä sauva- (P) pöytätärytetyille (T) näytteille on esitetty kuvissa 5a ja 5b. Erottumisindeksi SI_{slice_DEN}-perusteella ehdotettiin seuraavia erottumistasoja (Segregation Levels):

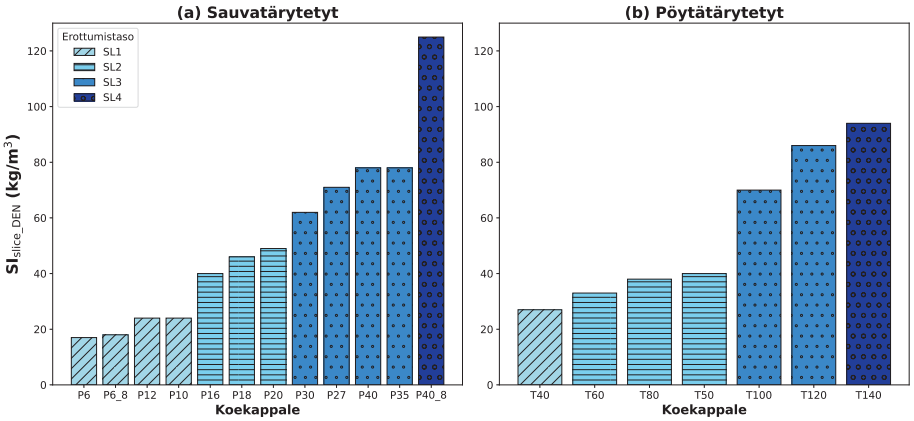
- SL1: <30 kg/m³,
- SL2: 30–60 kg/m³,
- SL3: 60–90 kg/m³ ja
- SL4: >90 kg/m³.

Hyväksyttävä erottumistaso vaihtelee rakenteiden mukaan. Esimerkiksi vesitiiveissä rakenteissa tai korkeasti rasitetuissa rakenteissa tulee tavoitella mahdollisimman alhaista erottumistasoa. Tarvitaan vielä lisätutkimuksia, jotta hyväksyttävät erottumistasot voidaan määritellä eri käyttötarkoituksiin.

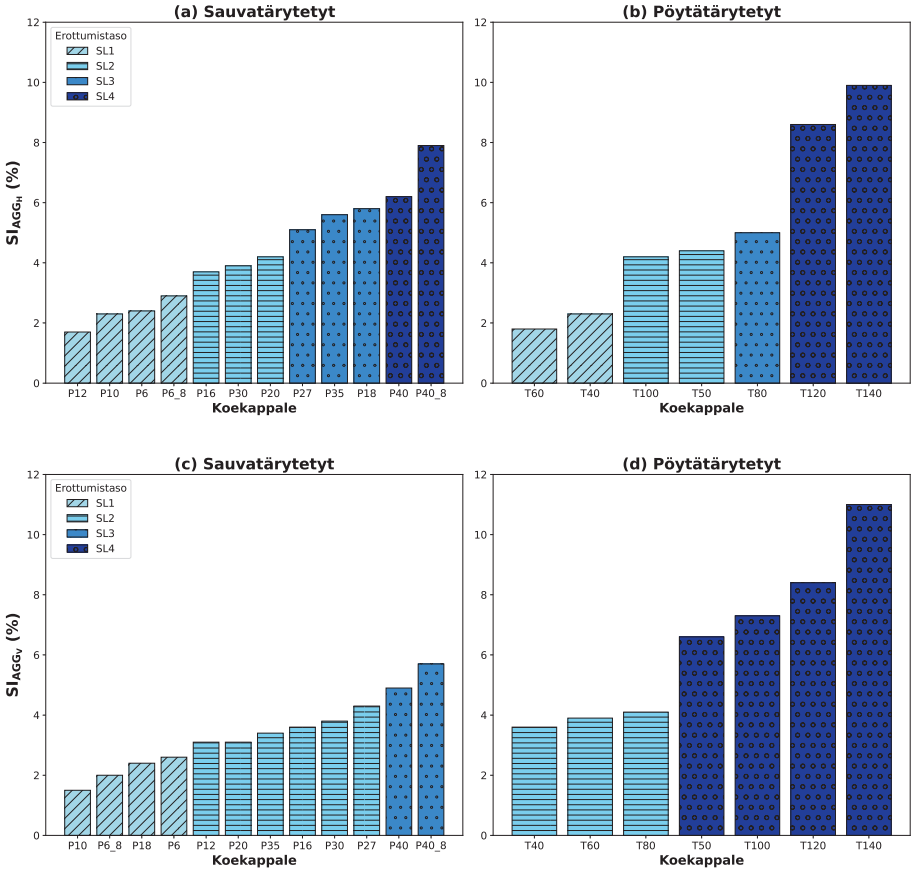
Edellä esitetyn tiheyseroihin perustuvat erottumisindeksin lisäksi tutkimuksessa esitetään kaksi muuta indeksiä erottumisen arvioimiseksi. Indeksit perustuvat karkean kiviainesten (> 5 mm) jakautuman määrittämiseen. Indeksi, SI_{AGG_H}, perustuu karkean kiviainesten osuuden keskihajontaan viidessä vaaka-

Kuva 4 Ylitiivistettyjen betonien tiheysprofiilit: T140, T120, T100 ja T80. Etäisyys on matka betonin valupinnasta.





Kuva 5 Sauva- (P) ja pöytätärytettyjen (T) betonin erottumisindeksit SI_{slice_DEN} sekä niitä vastaavat erottumistasot. (a) Sauvatärytetyt betoninäytteet, (b) Pöytätärytetyt betoninäytteet.



Kuva 6 Karkean kiviaineksen osuuteen perustuvat erottumisindeksit SI_{AGG_H} ja SI_{AGG_V} ja niitä vastaavat erottumistasot. (a) SI_{AGG_H} Sauvatärytetyt betoninäytteet, (b) SI_{AGG_H} Pöytätärytetyt betoninäytteet, (c) SI_{AGG_V} Sauvatärytetyt betoninäytteet, (d) SI_{AGG_V} Pöytätärytetyt betoninäytteet.

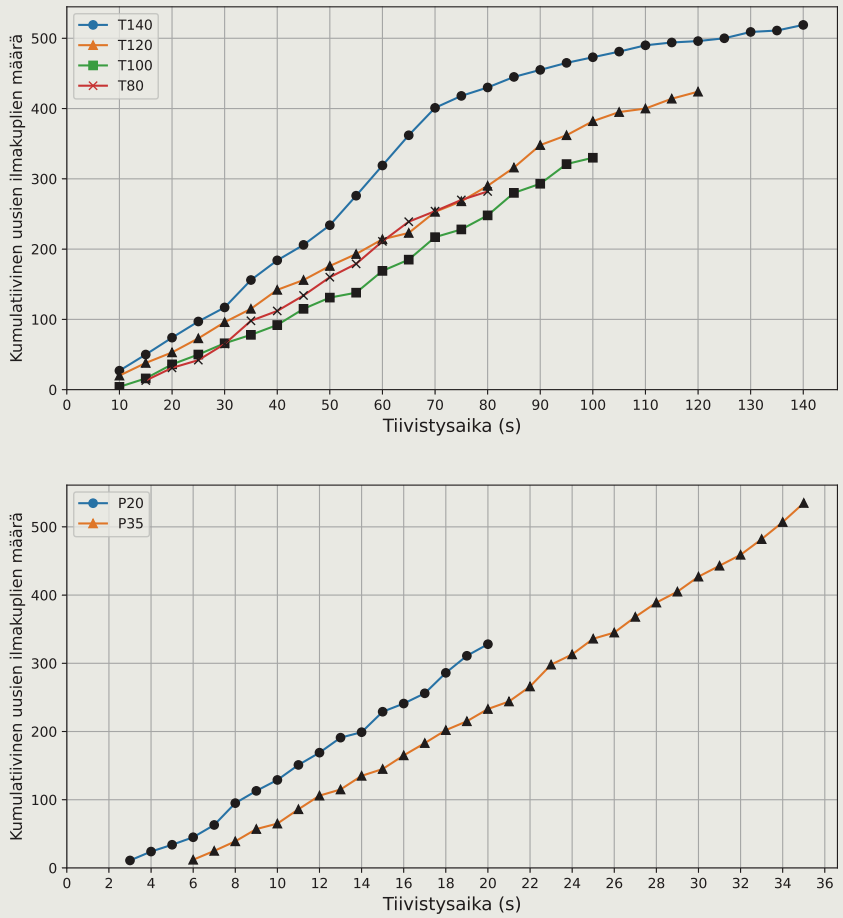
suorassa viipaleessa. Toinen indeksi, SI_{AGG_V}, edustaa pystysuoran leikkeen karkean kiviainesten osuuden keskihajontaa kymmenessä digitaalisesti jaetussa viipaleessa. Lasketut SI_{AGG_H}-arvot on esitetty tutkituille betoneille kuvissa 6a ja 6b, ja vastaavat SI_{AGG_V}-arvot kuvissa 6c ja 6d. SI_{AGG_H}- ja SI_{AGG_V}-indekseille ehdotettiin erottumistasoja seuraavasti: SL1 arvoille alle 3 %, SL2 arvoille 3–4,5 %, SL3 arvoille 4,5–6 % ja SL4 arvoille yli 6 %.

Karkean kiviaineksen osuuteen perustuvien indeksien SI_{AGG_H} ja SI_{AGG_V} toimivuutta arvioitiin vertaamalla niitä tiheyspohjaiseen indeksiin SI_{slice_DEN}. SI_{AGG_H}:n osalta saavutettiin voimakas korrelaatio tiheyspohjaisen indeksin kanssa (R^2: 0,846 (P) ja 0,891 (T)). Samoin SI_{AGG_V} korreloi voimakkaasti tiheyspohjaisen indeksin kanssa (R^2: 0,758 (P) ja 0,876 (T)). Tulosten perusteella betonin erottumista voidaan arvioida sekä tiheyserojen että karkean kiviaineksen jakautuman perusteella.

Erottumisindeksit tarjoavat myös mahdollisuuden analysoida betonin erottumisherkkyyttä. Esimerkiksi voidaan määrittää tiheyspohjaisen erottumisindeksin muutos tärytysajan suhteen. Tutkimuksessa pöytätärytettyjen betonien erottumisindeksi kasvoi 0,6 kg/m³* s suhteessa tärytysaikaan. Erottumisherkällä betonilla tämä arvo on luonnollisesti suurempi kuin vähemmän erottumisalttiilla betonilla. Toinen lähestymistapa olisi tarkastella reseptimuutosten vaikutuksia erottumisindeksiin. Näin voitaisiin optimoida betonin niin, että erottumisherkkyys olisi mahdollisimman pieni.

Pintaan nousevien ilmakuplien analysointi tiivistyksen aikana

Perinteisesti betonin tiivistys on katsottu riittäväksi, kun ilmakuplien nousu betonin pinnalle loppuu. Tämä käytäntö on hyväksytty Yhdysvaltojen, Australian sekä Britannian ja Euroopan ohjeissa/standardeissa. Esimerkiksi standardi EN 12390-2 suosittelee betonin tiivistämistä niin kauan, kunnes suuria kuplia ei enää nouse pinnalle, mutta varoitetaan kuitenkin erottumisriskistä. Käytännössä tiivistysaika perustuu tiivistystä suorittavan henkilön arvioon kuplien nousun loppumisesta, mikä aiheuttaa huomattavaa subjektiivisuutta tiivistysprosessiin. Tutkimuksessa kuplien nousemista on arvioitu digitaalisen kuva-analyysin avulla, kuten julkaisussa [3] on kuvattu.



Kuva 7 Kumulatiivinen uusien ilmakuplien määrä tiivistysajan funktiona. (a) Pöytätärytetyt betoninäytteet, (b) Sauvatärytetyt betoninäytteet.

Betonin pintaa kuvattiin tiivistyksen aikana 4k-kameralla. Tämän jälkeen video leikattiin pysäytyskuviksi, ja kuvissa olevat ilmakuplat valittiin manuaalisesti MATLAB-sovelluksen avulla. Ilmakuplien valintaa hienosäädettiin edelleen Pythonissa edustamaan kussakin ruudussa juuri nousseita kuplia. Uusien ilmakuplien kumulatiivinen määrä arvoitiin tiivistysajan funktiona, kuten kuvassa 7 esitetään.

Pöytätärytetyllä T80-näytteella havaitaan varsin tasainen kuplien nousunopeus, kun taas muilla näytteillä havaitaan lievää kuplien nousunopeuden hidastumista, erityisesti näytteellä T140 kuplien nousunopeus vähenee selvästi. Toisaalta sauvatärytetyillä betoninäytteillä (kuva 7b) ei havaita ilmakuplien nousunopeuden hidastumista koko testausjakson aikana. Näitä hienovaraisia muutoksia on vaikea havaita paljaalla silmällä työmaalla. Lisäksi nousunopeus ei missään tapauksessa laskenut nollaan, mikä viittaa siihen, että tiivistystä olisi pitänyt edelleen jatkaa.

Kyseiset betoninäytteet tutkittiin erottumisen osalta hyödyntäen SI_{slice_DEN}-indeksiä, ja todettiin, että kaikki tutkitut betoninäytettä olivat erottuneet eri asteisesti. Yksikään näytteistä ei sijoittunut alimpaan erottumistasoon (SL1). Pöytätärytettyjen betonien osalta T80N erottumisindeksi oli 38 kg/m³, näytteen T100 erottumisindeksi oli 70 kg/m³ mikä vastaa erottumistasoa SL3 ja näytteellä T120 vastaavasti 86 kg/m³ (SL3). Näytteelle T140 mitattiin korkein erottumisindeksi 94 kg/m³ (SL4). Sauvatärytettyjen ryhmässä näyte P20 sai erottumisindeksin 49 kg/m³ (SL2) ja vastaavasti P35 sai erottumisindeksin 78 kg/m³ (SL3).

Nämä havainnot vahvasti kyseenalaistavat perinteisen käytännön, jossa ilmakuplien nousun loppumista käytetään tiivistysajan määrittämiseen. Ilmakuplien nousu betonin pinnalla jatkui, vaikka betoni oli jo selvästi erottunut. Lisäksi pöytätärytetyillä näytteillä havaittiin kolme erilaista kuplien nousumallia: tasainen nousu, korkea alkuvaiheen nousunopeus, jota seurasi jyrkkä lasku, tai matala alkuvaiheen nousunopeus, jossa jonkin verran vaihtelua. Tällainen vaihtelu korostaa ilmakuplien nousun epäjohdonmukaisuutta ja osaltaan kyseenalaistaa pintakuplien tarkkailun luotettavuuden, korostaen tarvetta moderneimmille tiivistyksen arviointimenetelmille.

Tiivistyshuokosten analyysi kovettuneessa betonissa röntgentomografialla (XCT)

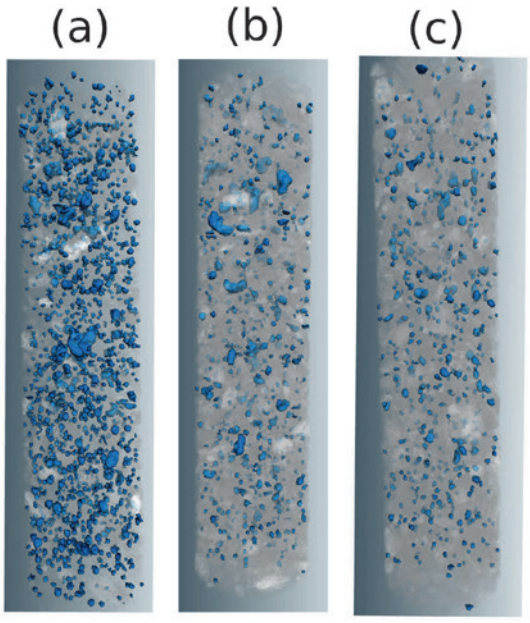
Kovettuneen betonin tiivistyshuokoset ovat jääneet vähälle huomiolle, koska niiden on oletettu poistuvan tiivistyksen aikana. Tässä tutkimuksessa on tutkittu tiivistyshuokosten määrää ja niiden jakaumaa betonin sisällä [4]. Tiivistyshuokosia on tutkittu eri notkeusluokkien betoneilla käyttäen erilaisia tiivistysaikoja.

Tutkimuksessa käytettiin kolmea betonierää, joiden notkeudet *säädettiin* tehonotkistimen annostuksia muuttamalla notkeusluokkiin S2, S3 ja S4. Jokaisesta erästä valettiin kolme näytettä normaaliin lieriömuottiin. Tiivistys suoritettiin tärypöydällä käyttäen kolmea eri tiivistysaikaa: 5, 20 ja 45 sekuntia. Näin saavutettiin korkea, keskitason ja matala tiivistyshuokosmäärät. Näytteet merkittiin notkeusluokan ja tiivistysajan mukaan (esim. S2-5: notkeusluokka: S2, tiivistysaika: 5 s). Kunkin koekappaleen keskeltä porattiin 70 mm poranäyte. Näytteen skannattiin röntgentomografialla ja tämän jälkeen näytteet sahattiin kymmeneen vaakasuoraan viipaleeseen erottumisen analysoimiseksi tiheysmittausten avulla.

Taulukko 1

Röntgentomografialla (XCT) määritetty tiivistyshuokosten määrä.

Näyte	S2-5	S2-20	S2-45	S3-5	S3-20	S3-45	S4-5	S4-20	S4-45
Tiivistyshuokoisuus	2,2 %	1,5 %	0,7 %	1,8 %	1,3 %	0,8 %	1,3 %	1,2 %	0,7 %



Kuva 8 Tiivistyshuokosten 3D-rekonstruktiot 2D-kuvana. (a) S2–5, (b) S2–20, (c) S2–45.

Tiivistyshuokosten kokonaismäärä määritettiin röntgentomografian avulla. Tiivistyshuokosiksi katsottiin yli 0,8 mm läpimittaiset huokoset. Tulokset on esitetty taulukossa 1. Tiivistyshuokosten hyväksyttävä tasona pidetään yleisesti 1–2 %. Tutkimuksessa betonin notkeus vaikutti tiivistyshuokosten määrään kaikilla tiivistysajoilla: jäykemmissä betoneissa tiivistyshuokosten määrä oli yleensä korkeampi. Tämä trendi on selkeä erityisesti lyhyillä tiivistysajoilla, mutta väheni tiivistysajan kasvaessa; 45 sekunnin tiivistysjalla eri notkeusluokkien tiivistyshuokosten määrät olivat samalla tasolla, mikä viittaa siihen, että suurin osa tiivistyshuokosista oli jo poistunut.

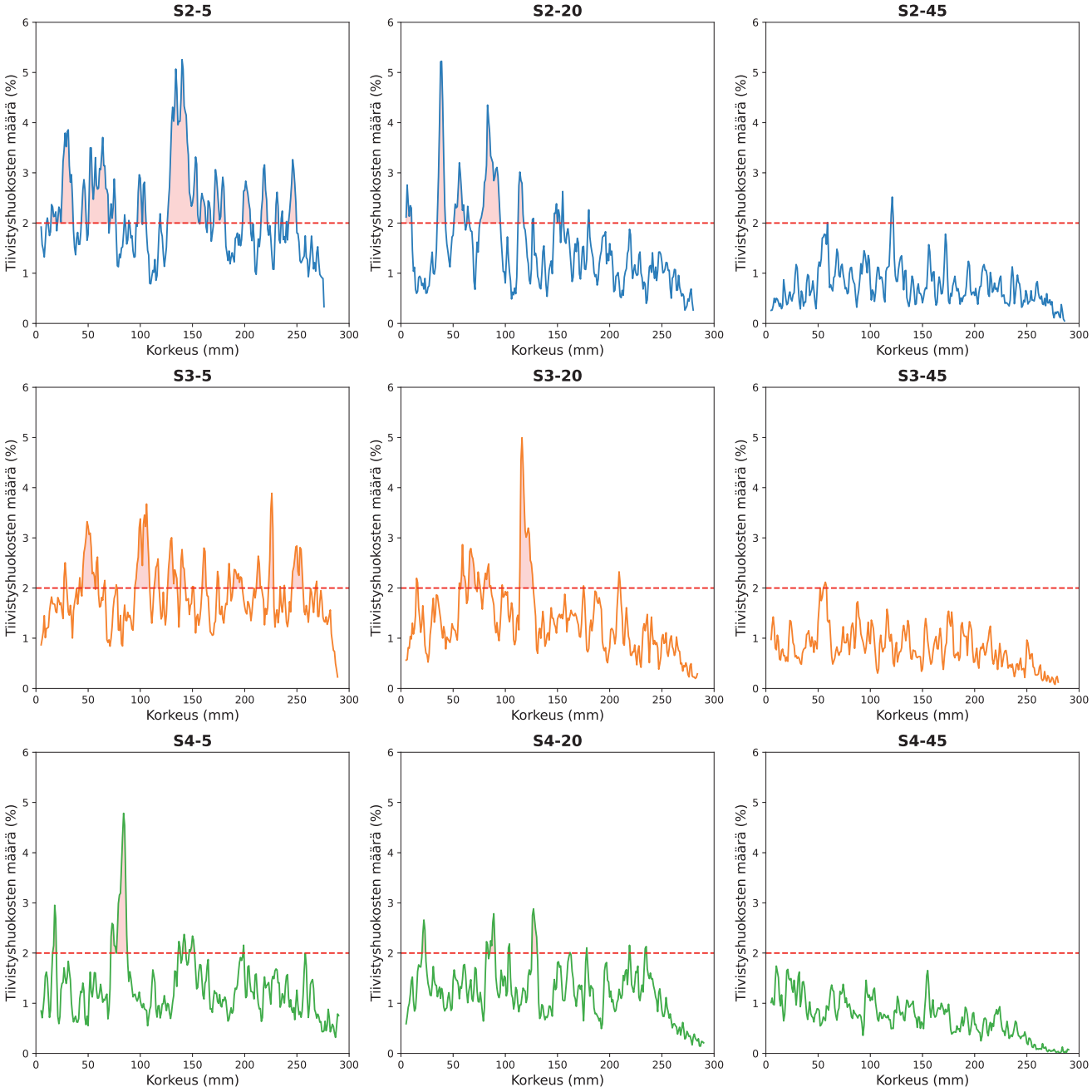
Kuva 8 esittää tiivistyshuokosten 3D-rekonstruktioita 2D-kuvana näytteissä S2–5, S2–20 ja S2–45. Näytteessä S2–5 (kuva 14a) tiivistyshuokosia ovat runsaasti koko näytteen korkeudella. Näytteessä S2–20 (kuva 14b) havaitaan huomattava huokoisuuden väheneminen, ja suuremmat huokoset ovat keskittyneet lähelle näytteen yläosaa. Näytteessä S2–45 (kuva 14c) huokosten määrä vähenee edelleen, erityisesti suurempien huokosten osalta. Tämä kehitys korostaa tiivistysajan merkitystä tiivistyshuokosten määrän osalta.

Kuva 9 esittää tiivistyshuokosprofiilit käyttäen 0,1 mm paksuisia digitaalisia leikkeitä. Arvo on leikkeen keskimääräinen tiivistyshuokosten määrä ja vertailutasona on yleisesti käytetty 2 % tiivistyshuokosten määrä. Näytteellä S2–5 tämä vertailutaso ylittyy useita kertoja, mikä viittaa korkeaan tiivistyshuokosten määrään. Näytteellä S2–20 on vähemmän vertailutason ylityksiä ja pääosin lähempänä betonin pintaa. Pitkään tärytetyssä S2–45 *näytteessä* 2 %:n vertailutaso ylittyy vain harvakseltaan.

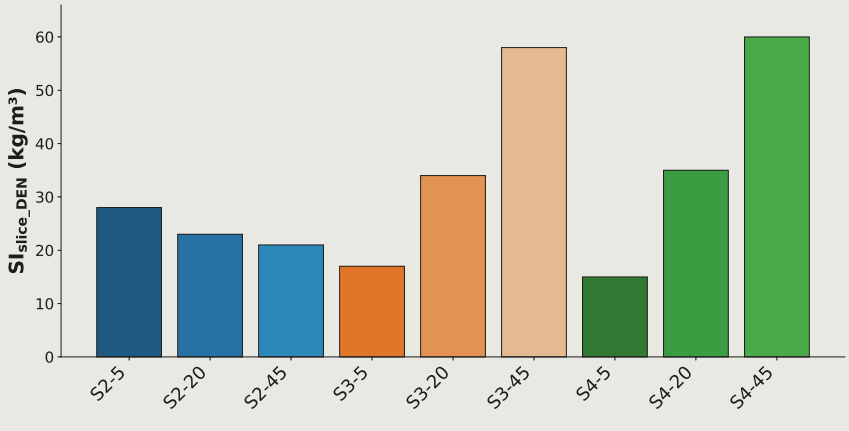
Vastaava ilmiö havaitaan myös S3- ja S4-notkeusluokkien näytteissä. Lyhyillä tiivistysajoilla (S3–5 ja S4–5) tiivistyshuokosten määrä ylittää usein 2 %: vertailutason. Tiivistysajan pidentyessä (S3–20 ja S4–20) 2%:n vertailutaso ylittyy harvemmin, ja pisimmillä tiivistysajoilla (S3–45 ja S4–45) vertailutaso ylittyy vain harvoin. Koesarja osoittaa tiivistysajan merkittävän vaikutuksen tiivistysilman määrään, tiivistysilman kokonaismäärä vähenee olennaisesti tiivistysajan pidentyessä. Pidemmät tiivistysajat tuottavat myös tasaisempia tiivistysilman jakautumia kaikissa tutkituissa notkeusluokissa.

Myös betonin notkeus vaikuttaa tiivistyshuokosten määrään. Notkeusluokan kasvaessa 2 % vertailutason ylittävä alue pienenee, erityisesti 5 ja 20 sekuntia tiivistetyissä näytteissä. Pidemmillä tiivistysajoilla (45 s) notkeusluokan vaikutus vähenee jossain määrin, kaikilla notkeusluokilla päästiin pääosin alle 2% tason.

Betoninäytteiden erottumista arvioitiin tiheyspohjaisen erottumisindeksin SI_{slice_DEN} avulla (kuva 10). S2-notkeusluokassa havaittiin vähäistä erottumista, erottumisindeksin arvot jäivät alle 30 kg/m³. Sen sijaan notkeusluokissa S3- ja S4 erottumisindeksit kasvoivat tiivistysajan myötä, nousten suurimmillaan lähelle 60 kg/m³. Nämä havainnot osoittavat, että jäykemmät betonit ovat selvästi vähemmän alttiita erottumiselle ja hyötyvät pidemmistä tiivistysajoista. Toisaalta notkeammilla betoneilla tiivistys poistaa tehokkaammin tiivistyshuokoset, mutta betonit ovat alttiimpia erottumiselle, erityisesti pidemmillä tiivistysajoilla.



Kuva 9 Tiivistyshuokosten määrä eri notkeusluokilla ja eri tiivistysajoilla. Katkoviiva merkitsee 2 % vertailutasoa. Huomautus: Näytteiden yläosa vastaa korkeutta = 0.



Kuva 10 Sahattujen vaakasuorien viipaleiden tiheyksien keskihajonnat (= erottumisindeksi SI_{slice_DEN}) betoninäytteistä,

Johtopäätökset ja tulevat tutkimuskohteet
Tämä tutkimus korostaa kokonaisvaltaisen lähestymistavan tarvetta betonin tiivistyksen laadunvalvonnassa. Betonin tiivistyksessä tulee huomioida sekä betonin erottumisriski että tiivistyshuokosten poistuminen betonista. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että nämä ongelmat voivat ilmetä samanaikaisesti tiivistyksen aikana. Betonin erottuminen voi alkaa jo ennen kuin tiivistyshuokoset ovat poistuneet betonista. Havainnot korostavat myös reaaliaikaisen seurannan merkitystä tiivistyksen aikana. Perinteisten indikaattorien, kuten pinnalle nousevien ilmakuplien, sijaan tarvitaan kehittyneempiä menetelmiä, kuten esimerkiksi ACIS-tekniikkaa.

Tutkimuksessa kehitetyt erottumisindeksit tarjoavat hyödyllisen työkalun eri betonilaatujen erottumisherkkyyden arvioimiseen ja mahdollistavat kohdennetut säädöt tiivistysstrategioihin. Yhdistämällä tiivistysajan betonikohtainen arviointi edistyneeseen tiivistyksen monitorointiin parantaisi merkittävästi betonin tiivistyksen laatua.

Tämä tutkimus avaa uusia näkökulmia betonin tiivistyslaadun parantamiseksi. Lupaavia alueita ovat ACIS-seurantajärjestelmän kehittäminen automaattisen kerrosanalyysin avulla sekä älypuhelinsovellusten luominen tiivistystarpeen arviointiin. Toteutuneiden rakenteiden tutkimukset auttaisivat tarkentamaan erottumisindeksejä ja parantamaan luokittelun tarkkuutta. Syvällisempi ymmärrys tiivistyslaatuun vaikuttavista tekijöistä mahdollista tiivistyksen seurantamenetelmien kehittymisen, mikä parantaa betonirakentamisen laatua ja voi johtaa suunnittelun varmuuskertoimien pienentymiseen ja siten tarjota taloudellisia ja ympäristöhyötyjä. •

Viitteet

[1] T. Ojala, H. Ahmed, P. Kuusela, A. Seppänen, and J. Punkki, "Monitoring of concrete segregation using AC impedance spectroscopy," *Constr Build Mater*, vol. 384, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131453.

[2] H. Ahmed and J. Punkki, "Methods for Assessing Concrete Segregation Due to Compaction," *Nordic Concrete Research*, vol. 70, no. 1, pp. 1–23, Jun. 2024.

[3] H. Ahmed and J. Punkki, "Surface Bubbles Emergence as an Indicator for Optimal Concrete Compaction," *Materials*, vol. 17, no. 10, May 2024, doi: 10.3390/ma17102306.

[4] H. Ahmed, J. Kuva, and J. Punkki, "Analysing entrapped pores in concrete via x-ray computed tomography: Influence of workability and compaction time," *Constr Build Mater*, vol. 417, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135322.

Abstract: Evaluating Concrete Compaction: A Multi-modal Approach

Concrete compaction quality is crucial for structural strength and durability, as entrapped pores weaken concrete while segregation risks uneven material distribution. Hassan Ahmed at Aalto University analyzed compaction effectiveness by measuring segregation and pore distribution in fresh and hardened concrete. Using AC-impedance spectroscopy (ACIS), the study introduced a segregation index that evaluates aggregate segregation in fresh concrete. For hardened concrete, indices based on density and aggregate distribution quantified segregation levels, revealing variations across vibration durations and mix consistencies. Additionally, X-ray tomography was used to examine entrapped pores, showing that longer compaction times effectively reduce porosity in low-workability concretes while posing segregation risks for high-workability mixes. Traditional indicators, like observing bubble emergence to the surface, proved unreliable, highlighting the need for advanced, objective monitoring techniques. Findings suggest that incorporating real-time monitoring and the new segregation indices can optimize concrete quality by balancing air expulsion and minimizing segregation. Future research aims to refine ACIS monitoring and explore smartphone-compatible on-site tools, contributing to improved construction practices and potentially reducing environmental impact.

Hassan Ahmed väitteli 29.11.2024 Aalto-yliopistolla "Evaluating Concrete Compaction: A Multi-modal Approach" . Väitöstyö käsitteli betonin tiivistystä ja tiivistyksen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Väitöskirjan vastaväittäjänä toimi prof. Andrzej Cwirzen Luulajan teknillisestä yliopistosta. Työn esitarkastajina toimivat prof. Andrzej Cwirzen ja prof. Stefan Jacobsen. Työn valvojana toimi prof. Jouni Punkki. Tässä artikkelissa on esitelty väitöskirjan pääkohdat lyhyesti.

Työn tekijä ja oppilaitos: Väitöskirjatutkija Hassan Ahmed. Betonitekniikka, Rakennustekniikan laitos, Aalto-yliopisto.
Työn otsikko ja aihe: "Evaluating Concrete Compaction: A Multi-modal Approach"
Työn valvoja ja ohjaaja: Professori (POP) Jouni Punkki
Väitöskirjan esitarkastajat: Prof. Andrzej Cwirzen, LUT, Ruotsi ja prof. Stefan Jacobsen, NTNU, Norja
Vastaväittäjä: Prof. Andrzej Cwirzen, LUT, Ruotsi
Väitöskirja löytyy sähköisesti: https://aaltodoc.aalto.fi/items/44d99e5e-1238-4392-892d-243aecea4427

Massiivivalubetonin nesteputkijäähdytys

Henri Tähkänen , dipl.ins.
siltasuunnittelija, Sweco Oy
henri.tahkanen@sweco.fi

Jouni Punkki
professori (PoP), Betonitekniikka
Aalto-yliopisto
jouni.punkki@aalto.fi

Jarkko Niiranen
professori (Assoc. Prof.), Rakentamisen laskennallinen tekniikka Aalto-yliopisto
jarkko.niiranen@aalto.fi

Artikkelissa esitellyssä diplomityössä on käsitelty betonin jäähdytystä kovettumisen aikana. Mikäli massiivibetonin lämpötila kovettumisen aikana nousee liian korkeaksi (> +60˚C), voi betonin lujuus- sekä myös säilyvyysominaisuudet heikentyä merkittävästi.Työssä simuloidaan nesteputkistolla jäähdytetyn massiivibetonin lämpötilajakaumaa, lämpöjännityksiä sekä halkeilua. Työ tulee olemaan merkittävässä roolissa kehitettäessä kansallisia ohjeita massiivisten betonirakenteiden jäähdytyksen suunnitteluun.

Betonirakenteiden valunaikaiset korkeat lämpötilat ovat nousseet esille erityisesti infrarakenteissa. Infrarakenteet ovat usein massiivisia ja lisäksi tiukat betonin koostumusvaatimukset (erityisesti P-luku) kasvattavat tarvittavan sementin määrää. Lisäksi betonin lämpötiloihin kiinnitetään nykyään ylipäänsä entistä enemmän huomioita. Onkin varsin tavallista, että massiivisia infrarakenteita joudutaan jäähdyttämään, jotta maksimilämpötilat pysyvät sallituissa rajoissa. Betoniyhdistys ry on julkaissut uuden ohjeen liittyen betonirakenteiden jäähdyttämiseen: by78 Betonin jäähdytystarpeen arvioiminen.

Sementin reaktiot ovat eksotermisia eli ne tuottavat lämpöä. Ohuemmissa rakenteissa lämmöntuotto ei yleensä aiheuta ongelmia, mutta kun rakenteen ohuin mitta alkaa olla metrin luokkaa, lämpötilat saattavat nousta liian korkeiksi. Joissakin tapauksissa jo metriä ohuemmatkin rakenteen ovat riskialttiita. Betonin maksimilämpötilaan vaikuttavat rakenteiden dimensioiden lisäksi betonin koostumus ja erityisesti sementtiklinkkerin määrä, betonin lähtölämpötila valettaessa sekä jossain määrin myös ulkoilman lämpötila. Betonin maksimilämpötilaa voidaan tehokkaasti rajoittaa masuunikuonan avulla, mutta P-luku rajoittaa masuunikuonan käyttömäärää infrarakenteissa.

Sekä talon- että infrarakentamisen vaatimusten mukaan betonin maksimilämpötilan tulisi pysyä alle +60 ˚C. Kuitenkin vielä alle +70 ˚C lämpötilat voidaan hyväksyä, mutta tällöin betonille on tehtävä lujuuskatolaskelmat. Mikäli lämpötila nousee yli +70 ˚C, tulee vaikutukset betonin lujuus- ja säilyvyysominaisuuksiin selvittää kokeellisesti. Korkeat lämpötilat alentavat betonin lujuusominaisuuksia ja voivat aiheuttaa kosteissa olosuhteissa myöhäissyntyisen ettringiitin muodostumisen (DEF = delayed ettringite formation). Myöhäissyntyinen ettringiitti voi vaurioittaa betonirakenteen kymmenien vuosien päästä. Maksimilämpötilojen lisäksi kriittisiä ovat lämpötilaerot rakenteen sisällä, sillä lämpötilaeron kasvaessa rakenteen halkeiluriski kasvaa. Lämpötilaeron tulisi pysyä alle 20 ˚C, mutta talon- ja infrarakentamisessa tulkitaan vaatimusta hieman eri tavoin. Kyseinen 20 ˚C:een vaatimus lämpötilaerolle on erittäin tiukka monissa käytännön rakenteissa ja voidaan usein saavuttaa vain käyttämällä jäähdytystä.

Suomessa on otettu betonin jäähdyttäminen käyttöön erityisesti massiivisten infrarakenteiden osalta. Kuitenkaan varsinaisia mitoitusperusteita ei ole käytettävissä. Henri Tähkäsen diplomityössä tarkastellaan betonirakenteiden lämpötilan hallintaa nestejäähdytysputkiston avulla. Työn tavoitteena oli

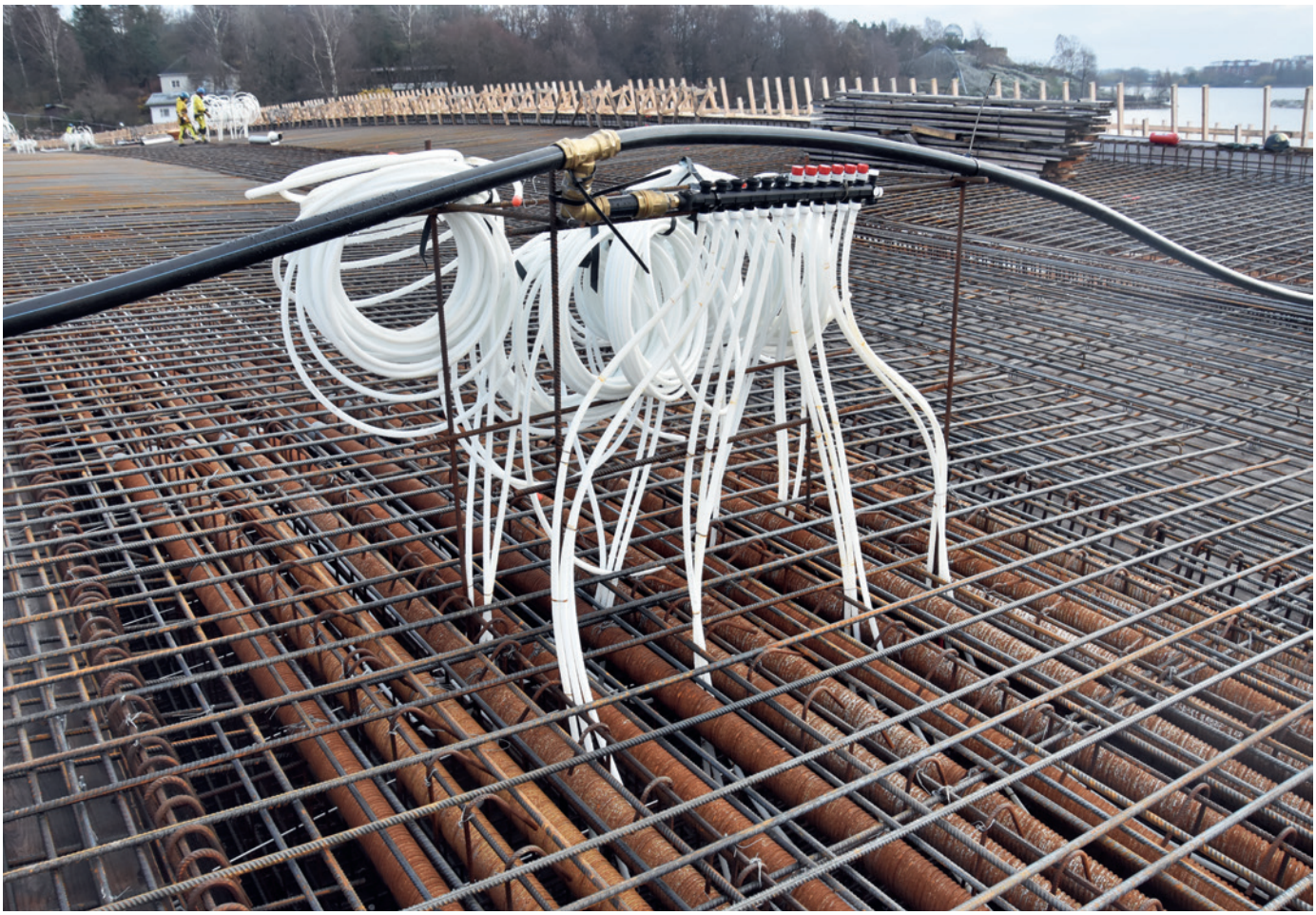
1, 2 Suomessa on otettu betonin jäähdyttäminen käyttöön erityisesti massiivisten infrarakenteiden osalta.

Kuvituskuva

1

2

Kuva: TYL Kruunusillat / YIT Oy



Taulukko 1

Jäähdytysparametrien vaihteluvälit

Parametri	Putken halkaisija [mm]	Putkien jakoväli [mm]	Virtaama [l/min]	Veden lämpötila [°C]	Betonin alkulämpötila [°C]
Vaihteluväli	15–35	200–2000	2,4–60	0–25	5–30

Taulukko 2

Lämpöominaisuudet

Lämpöominaisuus	Arvo
Betonin lämmönjohtavuus k	1,87 [W/(m.K)]
Betonin ominaislämpökapasiteetti C_c	900 [J/(kg.K)]
Betonin tiheys ρ_c	2500 [kg/m³]
Teräsputken lämmönjohtavuus $k_{p,s}$	44,5 [W/(m.K)]
Muoviputken (PE) lämmönjohtavuus $k_{p,p}$	0,38 [W/(m.K)]
Muoviputken (PE) tiheys ρ_p	930 [kg/m³]
Muoviputken ominaislämpökapasiteetti C_p	1900 [J/(kg.K)]

Taulukko 3

Eri sementtien lämmöntuoton parametrit

Sementti	E_a[kJ/mol]	H_r[kJ/kg]	t_{ref}[h]	β [-]
CEM I	46,0	510	17	0,65
CEM II / B	45,1	470	16	0,58
CEM III / A	40,0	475	35	0,56

tuottaa perustietoa vesiputkijäähdytteisten massiivibetonirakenteiden fysiikasta ja mallintamisesta sekä antaa perustiedot vesiputkijäähdytysjärjestelmän mitoittamiseen. Työssä tarkastellaan nesteputkijäähdytteisen betonin lämpötilajakaumaa, jännityksiä ja halkeilua kaksi- ja kolmiulotteisten laskentamallien avulla. Näin pystytään arvioimaan eri jäähdytysparametrien ja rakenteen geometrian vaikutusta betonin lämpötilajakaumaan. Työ keskittyy ilmiön fysikaalisen ja matemaattisen perustan tarkasteluun sekä jäähdytysjärjestelmän mitoituksen osalta putkiston teoreettiseen ja laskennalliseen mitoittamiseen.

Fysikaalinen tausta

Fysiikan näkökulmasta massiivibetonin vesiputkijäähdytys on ajasta (t) riippuvan lämpöyhtälön (1) mukainen lämmönjohtumistehtävä, joka kuitenkin kovettuvan betonin tapauksessa on epälineaarinen, sillä sementin hydrataatioreaktio (yhtälössä f) sekä betonin lämmönjohtavuus (k) ja ominaislämpökapasiteetti (C_c) ovat riippuvaisia valun lämpötilasta (T). Tällöin betonin lämpötilajakaumaa on hyvin vaikeaa ratkaista analyyttisesti, ja ratkaisuun tarvitaankin numeerisia menetelmiä, esimerkiksi elementtimenetelmää. Yhtälö (2) on esimerkki menetelmän tuottamasta yhtälöryhmästä, jossa lämpötila-arvot muodostavat vektorin $\boldsymbol{d}$ (ks. [A]). Hydrataatioon, lämmönjohtavuuteen ja ominaislämpö-kapasiteettiin vaikuttavat myös muut seikat, kuten betonin kosteus, mutta työssä keskityttiin lämpötilariippuvuuteen. Lämmönjohtavuutta ja ominaislämpökapasiteettia mallinnettiin hydrataatioasteesta riippuvina siten, että ne olivat valun alussa hieman suuremmat ja laskivat hydrataation edetessä kovettuneelle betonille mitattuihin arvoihin.

$$\rho_c C_c \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (k \nabla T) = f \quad (1)$$

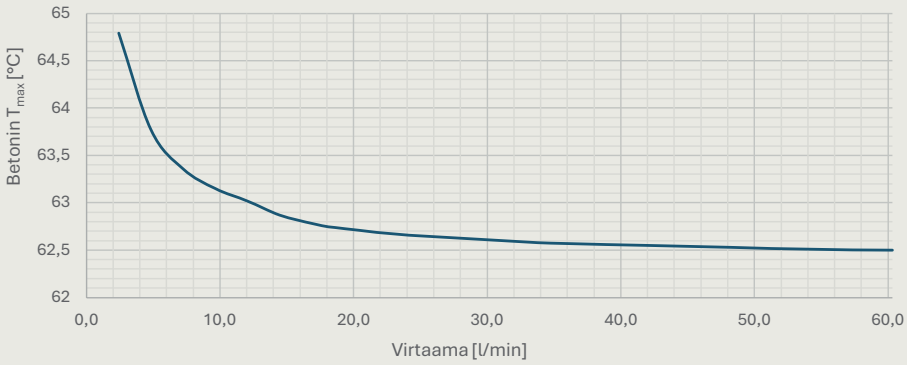
$$\boldsymbol{M(d)d + K(d)d = f(d)} \quad (2)$$

Betonin jännitysten ja halkeilun arvioimiseksi lämpötehtävään täytyy kytkeä myös mekaniikka. Kovettuvassa massiivibetonissa keskeisimmät muodonmuutokset ovat lämpövenymä ja viruma, jota voidaan arvioida Norton-Bailey-virumamallilla. Venymien avulla voidaan puolestaan laskea jännitykset. Kun samalla mallinnetaan betonin vaurioitumista faasikenttämallilla, voidaan vaurioituneen betonin nimellisjännityksiä arvioida yhteydellä $\sigma = (1–D)\,\overline{\sigma}$, jossa parametri D kuvaa vaurioitumisastetta ja $\overline{\sigma}$ betonin tehollista jännitystä. Mekaniikan lisäksi lämpötehtävään voitaisiin kytkeä myös kosteus.

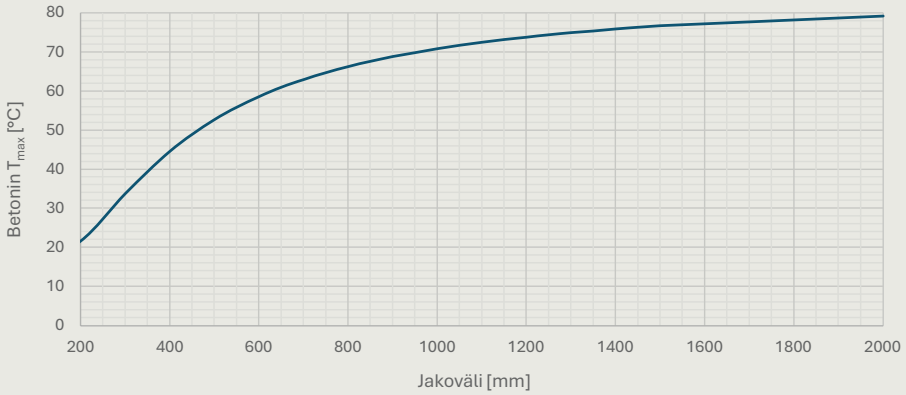
Jäähdytysjärjestelmän parametrit ja mallinnusten lähtötiedot

Massiivibetonin lämpötilaan voidaan vaikuttaa säätämällä vesiputkijäähdytysjärjestelmän parametrejä, joita ovat jäähdytysputken materiaali, putkien pituus ja halkaisija, jäähdytysveden lämpötila ja virtausnopeus sekä putkien etäisyys toisistaan eli jakoväli. Osa parametreistä, kuten putkien halkaisija ja jakoväli, täytyy valita jo ennen putkien asennusta, kun taas virtausnopeutta ja veden lämpötilaa voidaan säädellä vielä valun aikanakin. Yleisimmät putkimateriaalit ovat teräs ja muovi, joista muovia käytetään nykyisin yleisemmin sen joustavuuden, muotoiltavuuden ja suhteellisen edullisuuden vuoksi. Putkien pituuden määrää kohde, mutta pidemmässä putkessa vesi ehtii lämmetä enemmän kuin lyhyessä, jolloin jäähdytys putken loppupäässä heikkenee. Työssä käytettiin taulukon 1 mukaisia jäähdytysparametrien vaihteluvälejä. Mallinnuksissa lähtötilanteessa käytettiin halkaisijaltaan 20 mm muovista jäähdytysputkea, putkien jako-

Kuva 1 Jäähdytysveden virtaaman vaikutus C35/45 P50-betonin maksimilämpötilaan käytettäessä 450 kg/m³ CEM II / B-tyypin sementtiä.



Kuva 2 Jäähdytysputkien jakovälin vaikutus C35/45 P50-betonin maksimilämpötilaan käytettäessä 450 kg/m³ CEM II / B-tyypin sementtiä.



väliä 700 mm, jäähdytysveden alkulämpötilaa 10 °C ja betonin alkulämpötilaa 20 °C. Betonina toimi C35/45 P50, joka sisälsi 450 kg/m³ CEM II / B-tyypin sementtiä.

Lämpötilan ja jännitysten mallintamiseen käytettäväksi ohjelmistoksi valittiin Comsol Multiphysics, sillä se soveltuu hyvin monifysikaalisten ilmiöiden mallintamiseen ja on kaupallisena ohjelmistona helposti saatavilla. Lisäksi ohjelmisto on hyvin dokumentoitu [B]. Ohjelmisto käyttää lämpötehtävän ratkaisemiseen elementtimenetelmää. Koska lämpötehtävä on epälineaarinen, ohjelmisto hyödyntää ratkaisemisessa iteratiivista Newton-Raphson-menetelmää. Jotta betonin lämpötilajakaumaa ja jännityksiä voitiin mallintaa, valittiin sementille, betonille ja jäähdytysjärjestelmälle taulukoiden 2 ja 3 mukaiset ominaisuudet. Betonin lämpötilajakaumien tarkastelemiseksi muodostettiin kaksi- ja kolmiulotteiset laskentamallit, jotka perustuvat yhden putken jäähdyttämän betonialueen eli jäähdytyssolun tarkasteluun. Mallit validoitiin vertailemalla niiden antamia lämpötiloja kirjallisuudessa esitettyihin arvoihin sekä analyyttiseen ratkaisuun.

Jäähdytysparametrien ja geometrian vaikutus

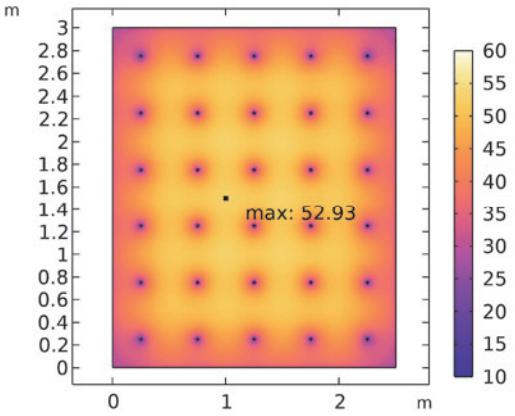
Vesiputkijäähdytteisen massiivibetonin lämpötilamallinnusten avulla pystyttiin arvioimaan eri jäähdytysparametrien vaikutusta betonin maksimilämpötilaan ja lämpötilaeroihin. Putken materiaalin osalta havaittiin, että teräsputki jäähdyttää muoviputkea tehokkaammin, mutta samalla betonin sisäinen lämpötilaero kasvaa. Jäähdytysputken halkaisijan kasvattaminen puolestaan tehostaa jäähdytystä lineaarisesti siten, että vaikutus jäähdytyssolun maksimilämpötilaan on noin 7 astetta, kun siirrytään 15 mm putkesta 50 mm putkeen. Putken halkaisijan kasvaessa kasvavat kuitenkin sekä jännitykset putken ympärillä että jäähdytysputkiston hinta. Myös jäähdytysveden lämpötilan vaikutus on varsin lineaarinen: kun veden lämpötilaa kasvatetaan 0 asteesta 25 asteeseen, kasvaa betonin maksimilämpötila keskimäärin 8 astetta. Vaikutus riippuu kuitenkin myös muista tekijöistä, kuten betonin alkulämpötilasta. Veden lämpötilan laskiessa betonin sisäiset lämpötilaerot ja niiden myötä sisäinen halkeiluriski kuitenkin kasvavat. Betonissa mahdollisesti oleva raudoitus tasaa betonin lämpötilajakaumaa ja siten yleensä laskee maksimilämpötilaa.

Edellä mainittuja parametrejä voimakkaammin betonin maksimilämpötilaan vaikuttavat kuitenkin betonin alkulämpötila, jäähdytysveden virtaama ja etenkin jäähdytysputkien jakoväli. Betonin alkulämpötilan vaikutus on lineaarinen siten, että valun alkulämpötila kasvaessa 5 astetta nousee betonin maksimilämpötila keskimäärin 6,5 astetta. Virtaaman ja jäähdytysputkien jakovälin vaikutus betonin maksimilämpötilaan on esitetty vastaavasti kuvissa 1 ja 2. Virtaaman osalta vaikutus on suurin välillä 2,4–18 l/min, kun virtaus muuttuu laminaarista turbulentiksi. Putkien jakovälin kasvaessa betonin maksimilämpötila kohoaa.

Betonirakenteen poikkileikkauksen geometrian vaikutustarkasteluissa lähtötilanteena käytettiin suorakaidepoikkileikkausta (3 m × 2,5 m), jossa jäähdytysputket olivat 500 mm välein. Kutakin poikkileikkausta tarkasteltiin kahdella eri reunaehtovaihtoehdolla. Eristetyllä reunalla lämpövuo reunan yli oletetaan mitättömän pieneksi (ns. Neumann-reunaehto). Konvektioreunalla lämpövuo reunan yli on verrannollinen alueen

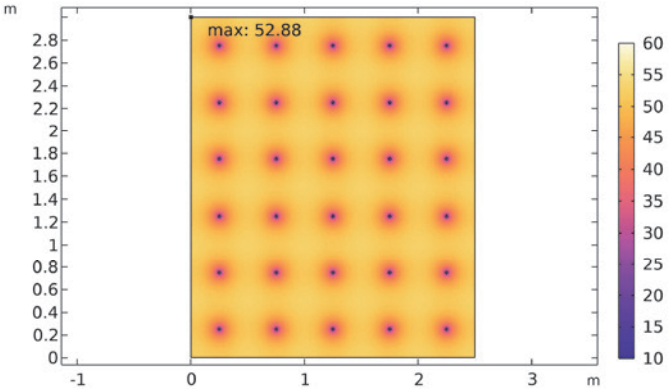
Kuva 3

Konvektiollinen vertailupoikkileikkaus



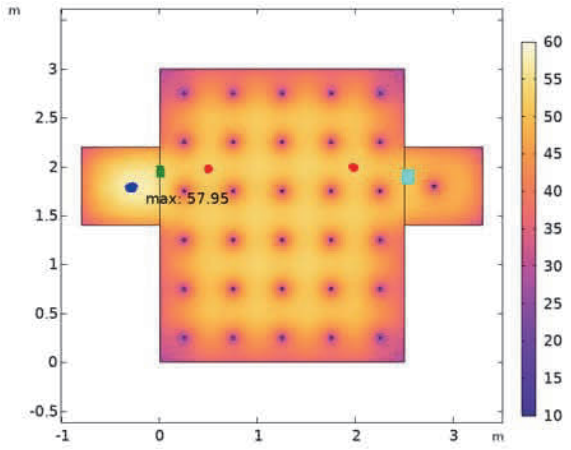
Kuva 4

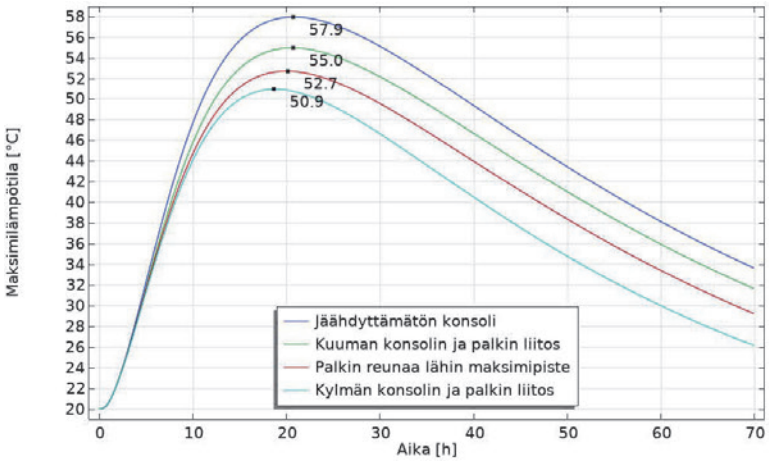
Eristetty vertailupoikkileikkaus



Kuva 5

Konsolillisen, konvektiollisen tilanteen lämpötilajakauma ja -käyrät

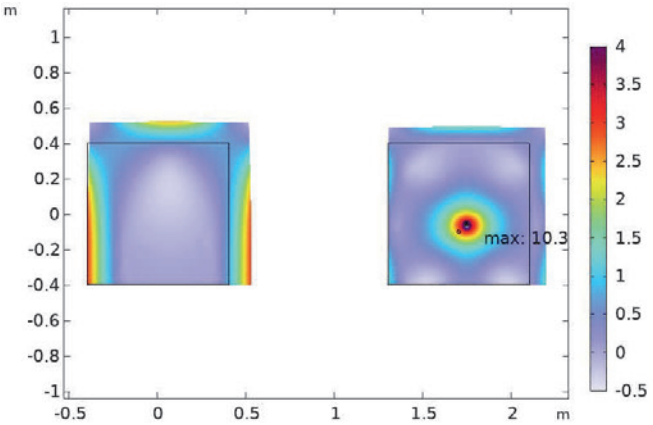




ulkopinnan läheisyydessä vaikuttavan konvektiovirtauksen aiheuttamaan, Newtonin jäähtymislain mukaiseen lämpötilaeroon (ns. Robin-reunaehto). Tyypillisesti betonirakenteen ulkopinnan läheisyydessä vaikuttaa jäähdyttävä ilmavirta, vedenalaisessa rakenteessa rakennetta jäähdyttää ympäröivä vesi. Kuva 3 esittää konvektiollisen ja kuva 4 eristetyn betonipoikkileikkauksen lämpötilajakauman. Kyseiset lämpötilajakaumat toimivat vertailukohtana, kun tarkasteltiin ulokkeellisten betonikappaleiden lämpötilajakaumia. Kun konvektiolliseen vertailupoikkileikkaukseen lisätään jäähdyttämätön konsoli vasemmalle puolelle ja jäähdytetty konsoli oikealle, havaitaan, että jäähdyttämätön konsoli kasvattaa konsolin ja jäähdytetyn betonin rajapinnan lämpötilaa, sillä verrattuna konsolittomaan tilanteeseen rajapinta muuttuu konvektiopinnasta lämmönlähteeksi. Tämä ilmenee kuvasta 5. Jäähdyttämättömän konsolin vaikutus ulottuu maksimissaan noin 500 mm syvyydelle jäähdytettyyn betoniin. Jäähdytetyn konsolin vaikutus on vieläkin vähäisempi. Jäähdytyksen vaikutus ei myöskään juuri yllä jäähdyttämättömään ulokkeeseen. Samansuuntaisia havaintoja tehtiin myös muiden tarkasteltujen ulokkeiden, kuten laattojen, seinien ja tukimuurin, osalta. Eristetyssä tilanteessa ulokkeiden vaikutus on hyvin samankaltainen kuin konvektiollisessakin, suuruus vain hieman eroaa. Ulokkeiden vaikutus riippuu myös jäähdytysputkien jakovälistä ja sementin määrästä: mitä suurempia jakovälejä ja mitä enemmän sementtiä käytetään, sitä enemmän ulokkeet vaikuttavat jäähdytetyn betonin lämpötilajakaumaan.

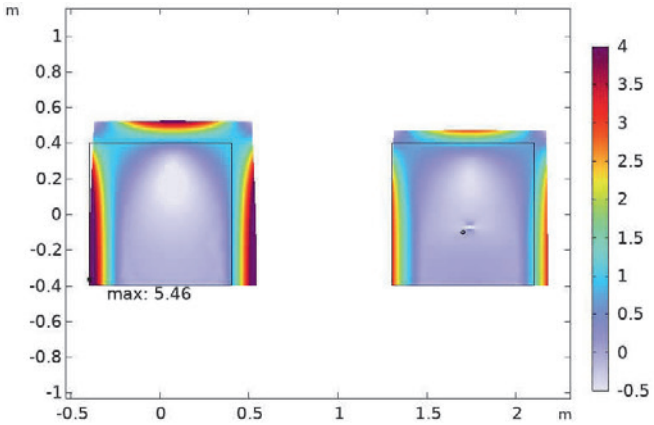
Kuva 6

Jännitykset hetkellä t = 25 h, MPa



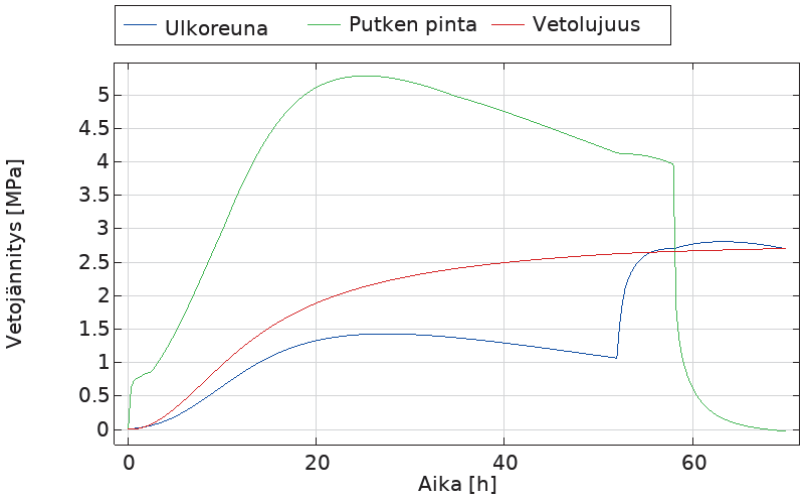
Kuva 7

Jännitykset hetkellä t = 55 h, MPa



Kuva 8

Jäähdytetyn betonin eri pisteiden vetojännitykset ja -lujuus



Betonin jännitykset ja halkeilu

Vesiputkijäähdytetyn betonin jännityksiä ja halkeiluriskiä tarkasteltiin rullatuilla olevan neliöpoikkileikkauksen (700 mm × 700 mm) avulla. Kappaleen alareuna oletettiin eristetyksi ja muut reunat konvektiollisiksi. Reunojen konvektio oli aluksi pieni ja kasvoi 52 tunnin kuluttua muottien poistamisen seurauksena. Jäähdytyksen kesto oli 48 tuntia. Lämpötilamallinnuksen perusteella jäähdytysputkisto alentaa kyseisen betonikappaleen maksimilämpötilaa noin 10 asteella.

Kuvat 6 ja 7 esittävät betonin jännityksiä vastaavasti ajanhetkillä t = 25 h ja t = 55 h. Kuvissa vasemmanpuoleinen betonikappale on jäähdyttämätön ja oikeanpuoleinen jäähdytetty. Kuvien perusteella jäähdyttämättömässä betonissa vetojännityksiä alkaa muodostua kappaleen ulkoreunoille, kun taas jäähdytetyssä kappaleessa suurimmat vetojännitykset keskittyvät jäähdytysputken ympärille. Jäähdytyksen loputtua kummankin kappaleen pinnalla on vetojännitystä, mutta jäähdytetyssä kappaleessa vetojännitykset ovat pienempiä. Jäähdyttämättömän betonin keskiosat ovat koko ajan puristuksessa, kun taas jäähdytetyn betonin keskiosiin puristus muodostuu vasta jäähdytyksen loputtua.

Kuva 8 puolestaan esittää vetojännitykset betonikappaleen ulkopinnalla ja jäähdytysputken pinnalla sekä betonin vetolujuuden kehittymisen, kun jäähdytys kestää 58 tuntia. Tällöin vetojännitys jäähdytetyn betonin ulkopinnalla pysyy koko ajan pääosin pienempänä kuin betonin vetolujuus. Jäähdytysputken pinnalla vetojännitykset kuitenkin kohoavat selkeästi betonin vetolujuutta suuremmiksi, jolloin siis jäähdytetyllä betonilla halkeilua esiintyy todennäköisimmin jäähdytysputken ympärillä, kun taas jäähdyttämättömällä betonilla halkeiluriski on suurin ulkopinnoilla.

Johtopäätökset

Työn perusteella vesijäähdytysputkistolla voidaan varsin tehokkaasti alentaa massiivi-betonin valunaikaista maksimilämpötilaa ja hallita muodostuvia lämpötilaeroja. Toisekseen jäähdytysputket pienentävät huomattavasti jännityksiä betonikappaleen ulkopinnoilla, jolloin ulkopintojen halkeiluriski pienenee oleellisesti. Tämä parantaa betonin säilyvyyttä. Jäähdytysputket aiheuttavat kuitenkin betoniin mahdollista sisäistä halkeilua putkien ympärille, mutta tällaiset betonirakenteen keskiosassa olevat halkeamat eivät aiheuta säilyvyysriskejä. Myöskään rakenteen toiminnan kannalta ne eivät normaalisti ole kriittisiä.

Jäähdytykseen tarvittavaa putkien jakoväliä voidaan arvioida CEM II / B-tyypin semen-

Taulukko 4 Jäähdytysputkien jakovälit sementille CEM II / B, kun käytössä 100 m muovinen jäähdytysputki, veden lämpötila 10 °C ja betonin alkulämpötila 20 °C.

Sementin määrä [kg/m³]	Jakoväli min. [mm]	Jakoväli max. [mm]
345	600	900
360	450	800
400	450	650
450	400	600
470	350	550

Taulukko 5 Jäähdytysparametrien laskennallinen vaikutus C35/45 P50 -betonin maksimilämpötilaan käytettäessä 450 kg/m³ CEM II / B-tyypin sementtiä.

Parametri	Veden lämpötila (0–25 °C)	Putken halkaisija (15–50 mm)	Betonin alkulämpötila (5–30 °C)	Virtaama 2,4–10 [l/min] (50 m putki)	Virtaama 10–22 [l/min] (50 m putki)	Virtaama > 22 [l/min] (50 m putki)
Vaikutus betonin maksimilämpötilaan	+0,3–0,6 [°C / °C]	-0,2 [°C / mm]	+1,3 [°C / °C]	-0,71 [°C / (l/min)]	-0,1 [°C / (l/min)]	-0,02 [°C / (l/min)]

tistä valmistetulle betonille luonteeltaan suuntaa antavan taulukon 4 avulla, kun käytetään 100 m jäähdytysputkea ja aiemmin esitettyä lähtötilannetta. Taulukko soveltuu parhaiten putkien mitoitukseen betonin keskiosissa, jos massiivibetonin poikkileikkaus on suorakulmainen ja pysyy rakenteen läpi kutakuinkin samana. Vastaavat taulukot on esitetty diplomityössä myös sementeille CEM I ja CEM III. Muiden jäähdytysparametrien keskimääräistä vaikutusta CEM II / B-tyypin sementistä valmistetun C35/45 P50-betonin maksimilämpötilaan voidaan arvioida taulukon 5 avulla. Vaikutuksen etumerkki määräytyy sen mukaan, suureneeko (+) vai pieneneekö (-) betonin maksimilämpötila kasvatettaessa tietyn jäähdytysparametrin arvoa. Jos betonirakenne on niin kapea, että betonin ulkoreunojen konvektio korostuu, tai jos rakenteen poikkileikkaus ei pysy vakiona, tarvitaan jäähdytysputkien mitoitukseen kuitenkin tasomallia tai kolmiulotteista laskentamallia.

Geometrian vaikutuksen tarkastelu osoitti, että jäähdytettyjä ja niihin liitettyjä jäähdyttämättömiä betonikappaleita voidaan lähtökohtaisesti käsitellä lämpötilojen näkökulmasta erillisinä, eli kummallekin voidaan mitoittaa oma jäähdytysputkistonsa. Vaikutukset liityntäalueilla on kuitenkin tarkastettava, jotta lämpötila pysyy sallituissa rajoissa.

Nesteputkijäähdytyksellä voidaan siis tehokkaasti säädellä betonin lämpötilaa ja sitä kautta rajoittaa muodostuvia vetojännityksiä ja halkeilua. Putkisto siirtää halkeiluriskiä betonin pinnalta sisäosiin parantaen betonin säilyvyyttä, ja putkisto voidaan mitoittaa joko taulukoilla tai tarkemmilla FEM-malleilla. Jäähdytysputkistoon liittyen voisi tarkastella edelleen tarkemmin eri jäähdytysparametrien riippuvuuksia toisistaan, putkiston käytännön sijoittelua betonissa esimerkiksi raudoitukset huomioiden ja betonin sisäosien halkeilun vaikutusta betonin säilyvyyteen ja lujuuteen.

Henri Tähkänen suoritti kandidaatti- ja maisteriopintonsa Aalto-yliopistossa, Rakennustekniikan laitoksella. Opinnoissaan hän keskittyi rakennetekniikkaan. Hän valmistui diplomi-insinööriksi kesällä 2024. Nykyisin hän työskentelee siltasuunnittelijana. •

Viitteet

[A] Tähkänen, Henri. 2024. Nesteputkijäähdytteisen massiivivalubetonin fysikaalinen mallinnus. Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Diplomityö. https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202408255719

[B] COMSOL. 2019. Heat Transfer Module: User's Guide. COMSOL Documentation. https://doc.comsol.com/6.2/docserver/#!/com.comsol.help.heat/html_HeatTransferModuleManual.html

Nesteputkijäähdytteisen massiivivalubetonin fysikaalinen mallinnus

Henri Tähkänen,
Aalto-yliopisto, diplomityö

”Henri Tähkäsen työ käsittelee betonin jäähdytystä kovettumisen aikana. Mikäli massiivibetonin lämpötila kovettumisen aikana nousee liian korkeaksi (> +60˚C), voi betonin lujuus- sekä myös säilyvyysominaisuudet heikentyä merkittävästi. Aihe on maailmalla tunnettu jo pitkään ja on noussut Suomessakin ajankohtaiseksi viime vuosien aikana. Esimerkiksi nykyisellään massiivisia siltarakenteita jäähdytetään yleisesti vesiputkien avulla. Suomessa ei kuitenkaan ole mitoitusohjeita jäähdytysputkistojen suunnitteluun. Henri Tähkäsen työssä simuloidaan nesteputkistolla jäähdytetyn massiivibetonin lämpötilajakaumaa, lämpöjännityksiä sekä halkeilua. Elementtimenetelmään perustuvan simuloinnin avulla tarkastellaan tilannetta erilaisissa massiivisissa betonirakenteissa kaksi- ja kolmeulotteisesti. Mallinnuksen avulla määritetään parametrit, joilla betonin jäähdytystä voidaan tehokkaimmin säädellä. Työ tulee olemaan merkittävässä roolissa kehitettäessä kansallisia ohjeita massiivisten betonirakenteiden jäähdytyksen suunnitteluun.”

– *Jouni Punkki*, professori,
Aalto-yliopisto

Tutustu Henri Tähkäsen diplomityöhön:
https://aaltodoc.aalto.fi/items/ecc08922-93b1-4b70-8290-3621c53b9a69

Physical modelling of pipe-cooled massive concrete.

High temperatures due to heat of hydration are a common phenomenon in early-age massive concrete structures. As too high maximum temperatures and temperature differences may cause strength and durability problems in concrete, the temperature of concrete during hardening must be limited according to by78 and other instructions. One method to control the temperature of early-age concrete is pipe-cooling which Henri Tähkänen from Aalto University considered in his master's thesis called Physical modelling of pipe-cooled massive concrete.

The purpose of the thesis was to simulate the temperature distribution, thermal stresses, and cracking of early-age massive concrete with waterpipe cooling system to make sure that the maximum temperatures and temperature differences stay between the limit values and that concrete does not crack excessively. The modelling was performed using two- and three-dimensional calculation models based on finite element method. The aim of the modelling was to evaluate the effects of different pipe-cooling parameters and concrete geometry on the temperature distribution, thermal stresses and cracking of concrete.

Results concluded that pipe-cooling can effectively control the maximum temperature and temperature differences of early-age concrete. It also reduces thermal stresses at the outer surface of concrete structure which improves the durability of concrete. The distance between cooling pipes, concrete initial temperature and the flow rate of cooling water were found to be the most effective parameters controlling the temperature of pipe-cooled concrete. The effects of geometry on the temperature distribution of concrete are mostly limited to areas which join cooled and non-cooled concrete. The required distance between cooling pipes and the effects of different cooling parameters on the maximum temperature of concrete can be evaluated utilizing simple tables or calculation models presented in the thesis.

Ontelolaatan pintabetoni palotilanteessa

Janne Kihula,
Jaospäällikkö, Betoniteollisuus ry
janne.kihula@rt.fi

Pasi Salmela, Suunnittelupäällikkö, Parma Oy
pasi.salmela@consolis.com

Esijännitettyjä ontelolaattoja käytetään Suomessa keskimäärin yli 2 miljoonaa neliötä vuosittain. Käyttökohteita löytyy lähes kaikkien rakennustyyppien ala-, väli- ja yläpohjista. Ontelolaatta on tehokas, tuttu ja turvallinen tuote – ja siksi erittäin paljon käytetty.

Betoni lehden numerossa 1–2014 oli artikkeli, missä käsiteltiin yhteiseurooppalaista Holcofire-projektia. Holcofire-projektissa tutkittiin vuosina 2010–2013 ontelolaatastojen palonkestävyyttä tekemällä uusia polttokokeita, analysoimalla yhteensä 162 vanhaa polttokoetta ja tekemällä FEM- ja muita simulointeja sekä kantokykylaskelmia.

Projektin tulokset osoittivat, että ontelolaatta on paloteknisesti turvallinen tuote, eikä suomalaista suunnittelukäytäntöä ole myöskään tarpeen muuttaa. Kuitenkin projektin yhtenä havaintona oli, että rakenteellisen pintabetonin paksuuden huomioiminen palotilanteessa vaatii lisäohjeistusta.

Ontelolaatan pintabetonin vaikutus palotilanteessa

Rakenteellisen ja raudoitetun pintabetonin avulla ontelolaatan jäykkyys kasvaa ja sitä käytetään monesti myös kasvattamaan ontelolaatan leikkauskestävyyttä laatan päässä lähellä tukea. Paksulla pintabetonilla tiedetään myös olevan negatiivisia vaikutuksia ontelolaattaan palotilanteessa, kuten uumien vaakasuuntainen halkeilu.

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

Pintabetonin paksuuden ei todettu olevan tärkein muuttuja tarkasteltaessa pakkovoimien vaikutusta vaakasuuntaiseen halkeiluun. Holcofire-projektin mukaan tärkein tekijä on vaakasuuntaisten sekä laatan poikkileikkauksesta että sen ulkopuolisesta rakenteesta aiheutuvien ja laataston lämpölaajenemista estävien voimien suuruus ja sijainti. Kuitenkin, jos pintabetonin paksuus ylittää 25–30 % ontelolaatan paksuudesta, vaakasuuntaisen laatan halkeilun todetaan olevan todennäköisempää. 265 mm paksulla laatalla tämä tarkoittaa 70–80 mm:n ja 400 mm:n laatalla 100–120 mm:n pintabetonin paksuutta.

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

Standardin SFS 7016 päivitys

HolcoFire-projektissa saadut tulokset oli tarkoitus sisällyttää standardin EN 1168 päivitykseen. Standardiluonnoksen prEN 1168 informatiivisessa liitteessä G on esitetty: "*To prevent loss of integrity (due to horizontal cracks in the webs) the nominal thickness of the structural topping at midspan should be limited to 25 % of the depth of the hollow core slab. Due to camber of the slabs the topping near the supports can be thicker.*" Standardia prEN 1168 ei ole saatu

1 Ontelolaataston kylpyhuonesyvennys (tampattu syvennys), missä voidaan vapaasti käyttää paksumpia pintabetonikerroksia kaatojen aikaansaamiseksi.

Betoniteollisuus / Parma Oy

Kuva 2

Standardissa SFS 7016:2021 esitetty vaatimus rakenteellisen pintabetonin paksuudelle.

Jos ei tehdä tarkempaa palotilanteen jännitystarkastelua niin rakenteellisen pintabetonin, jota ei ole irrotettu ontelolaatasta, keskimääräinen paksuus ei saa ylittää seuraavia arvoja:

- **laatan paksuus h ≤ 265 mm h_{top} ≤ 80 mm**
- **laatan paksuus h=320 mm h_{top} ≤ 100 mm**
- **laatan paksuus h=370 mm h_{top} ≤ 110 mm**
- **laatan paksuus h ≥ 400 mm h_{top} ≤ 120 mm.**

Väliarvot voidaan interpoloida.

Vaatimus ei koske kololaattojen täytevalua.

julkaistua, vaikka päivitys on ollut valmis jo useamman vuoden, johtuen komission estoista haramonisoitujen standardien julkaisuun virallisessa lehdessä.

Kansallinen soveltamisstandardi SFS 7016 päivitettiin ja julkaistiin vuonna 2021 vaikkei päästandardin päivitettyä revisiota ollutkaan vielä virallisesti julkaistu. Standardin kohdassa 6.2 on esitetty kuvan 2 vaatimukset rakenteellisen pintabetonin paksuudelle.

Standardin SFS 7016 kirjauksen sanamuoto on tiukempi, kuin mitä se on standardiluonnoksessa prEN 1168. Tämä oli yksi syy, miksi standardi SFS 7016 avattiin uudelleen päivitystä varten. Tulevassa päivityksessä ko. kohtaa tullaan muuttamaan seuraavasti:

1. Pintabetonin ohjeistus tullaan siirtämään opastaviin tietoihin standardin loppuun. Tämä siksi, että lisäohjeistus koskee lopullista rakennetta rakennuksessa eli tehtaassa valmistettua ontelolaattaa ja työmaalla valettua pintalaattaa yhdessä. Tuotestandardi ja kansallinen soveltamisstandardi koskee vain ontelolaattaa ja siltä vaadittuja ominaisuuksia.
2. Sanamuotoa tullaan muuttamaan siten, että keskimääräisen paksuuden ei tulisi ylittää seuraavia arvoja.
3. Suosituksesta voidaan poiketa tekemällä kohdekohtainen riskiarvio ontelolaatan toiminnasta palotilanteessa.

Rakennesuunnittelu ja standardi SFS 7016

Ontelolaatat valmistetaan Suomessa menetelmällä 3b eli valmistajan suunnitelmilla. Rakenne- tai elementtisuunnittelija tekee ns. lappukuvat ontelolaatoista, joista ilmenee laatan mittatiedot ja mahdolliset varaukset. Rakenteellisen mitoituksen ontelolaatalle tekee valmistajan punossuunnittelija. Tästä syystä rakenne- tai elementtisuunnittelijoiden ei ole tarvinnut välttämättä tuntea ja käyttää standardeja SFS-EN 1168 ja SFS 7016 työssään. Todennäköisesti suurimmalle osalle rakenne- ja elementtisuunnittelijoita näiden standardien sisältö ei olekaan tiedossa.

Pintabetonin paksuuden vaatimusten lisäys standardiin SFS 7016:2021 ei tavoittanut laajemmin rakennesuunnittelijoita, jotka määrittelevät rakennusten rakennetyypit ja rakenteet. Punossuunnittelijalta tai ontelolaatan valmistajalta tullut ilmoitus pintabetonin maksimi paksuudesta yllätti useammassa tapauksessa rakennesuunnittelijan, joka oli esimerkiksi yläpohjan kaatovaluissa määritellyt paksumpia pintabetonikerroksia ontelolaatan päälle. Tämä on aiheuttanut epätietoisuutta ja lisäselvityksiä monessa tapauksessa. Jälkikäteen on tietysti helppoa olla viisas ja todeta, että tiedotusta olisi pitänyt kohdentaa nimenomaan rakennesuunnittelijoille.

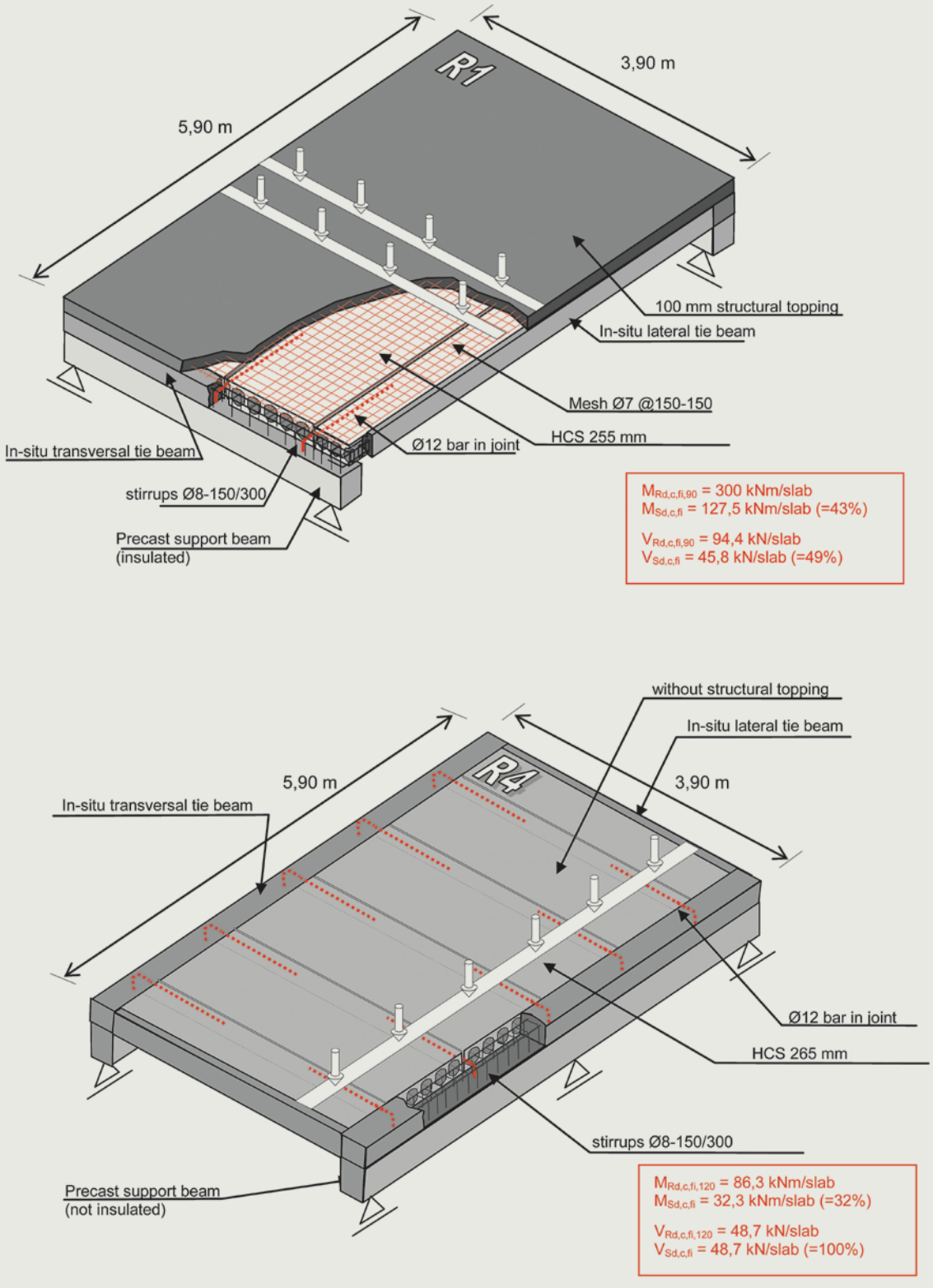
Paksun rakenteellisen pintabetonin aiheuttama ongelma ontelolaatan kestävyydessä palotilanteessa voidaan ratkaista myös irrottamalla pintalaatta esimerkiksi ontelolaatan päälle asennettavalla muovikalvolla. Tämä vaihtoehto ei aina ole rakenteellisesti tai rakennusfysikaalisesti mahdollinen eikä siten ensisijaisesti suositeltava ratkaisu.

Ohjeistuksesta tiedottaminen

Jotta tieto saavuttaisi tällä kertaa oikeat tahot, päätettiin ensin kirjoittaa tämä artikkeli, missä nostetaan aihe laajemmin esille perusteluineen. Lisäksi on tarkoitus lisätä ohjeistusta suunnittelijoiden paljon käyttämään *elementtisuunnittelu.fi* -sivuston ontelolaatta osioon. Näillä toimenpiteillä toivotaan selkeyttä ja tietoisuutta rakenteellisen pintabetoni vaikutuksesta ontelolaatan kestävyyteen palotilanteessa. •

Kuva 3

Holcofire-tutkimushankkeessa testattuja ontelolaatastoja raudoitetuilla pintabetoneilla.



R-sarjan koe-elementit R1 ja R4

paaluinfo 2 2024

Vuoden Paalutustyömaa

Transval paalutettiin minimihukalla pakkasessa

Vesa Tompuri, toimittaja

Skanska Infra paalutti jättimäisen logistiikkakeskuksen pohjat viime talvena kiperässä pakkasessa parissa kuukaudessa. Kattavat pohjatutkimukset ja laadukkaat pohjarakennussuunnitelmat sekä saumaton yhteistyö työmaan ja paalutehtaan välillä johtivat tavallista tarkempaan tuotantoon ja sitä kautta minimoituun hukkaan. Tämä palveli myös rakennuttajan tavoitetta mahdollisimman hiilineutraalista lopputuloksesta.

Postin tytäryritys Transval muuttaa Järvenpäässä uuteen logistiikkakeskukseensa ensi vuonna. Ensi vuonna valmistuva, kaksivuotisen työmaavaiheen sisältävä kohde noudattaa vihreän rakentamisen periaatteita. Paalutustöiden kannalta tämä merkitsee sitä, että paaluhukkaa minimoimalla saadaan myös CO_2-kuormitusta vähennettyä.

– Pääsimme hukassa neljän prosentin tasolle, kun hukkaprosentti yleensä on kymmenkunta prosenttia tällaisilla mittavaihteluilla ja pituuksilla. Tämä palvelee hiilineutraaliustavoitteita ja tuo samalla merkittävää kustannussäästöä rakennuttajalle, toteaa betoniset lyöntipaalut kohteeseen toimittaneen HTM Yhtiöt Oy:n toimialajohtaja *Reijo Mustonen*.

Mustonen kiittelee pohjatutkimusten tavallista parempaa kattavuutta ja tämän seurauksena laadittuja täsmällisiä pohjarakennussuunnitelmia. Vähintään yhtä tärkeänä seikkana hän pitää sitä, että tieto kulki sujuvasti koko tuotantoketjun matkalta.

– Erityisen oleellista tässä urakassa oli se, että saimme työmaalta etukäteistä tietoa siitä, miltä osin suunnitelmien mukaisia paalupituuksia piti täsmentää. Tämä oli mahdollista riittävien koepaalutusten ansiosta, hän lisää.

Hukan vähyyteen vaikutti myös se, että paalutuksesta maksettiin hyötypituuden mukaan. Tämä käytäntö on yleistymässä suomalaisessa infrarakentamisessa, mikä on sikäli hyvä asia, että se motivoi kaikkia hankkeeseen osallistuvia laadukkaaseen tekemiseen ja tiiviiseen yhteistyöhön.

– Onnistunut koepaalutus tarkensi merkittävästi pohjatutkimuksia, ja näin päästiin vaikuttamaan siihen, että paaluja tulee tilatuksi todellista tilannetta vastaava määrä, perustelee Skanska Infran työpäällikkö *Jyrki Nikkinen*.

Mestaa riittävästi ja väljästi

Mitoiltaan 165 × 175 -metrisen logistiikkarakennuksen pohja paalutettiin lähes kauttaaltaan betonisin lyöntipaaluin. Sinne, missä kalliopinta sijaitsi vain 2–3 metrin syvyydellä maanpinnasta, asennettiin porapaalutus, yhteensä noin sata paalua. Betonisten lyöntipaalujen kokonaismääräksi muodostui noin 4000 ja yhteenlasketuksi juoksumetrimääräksi noin 46 000. Lyhimmät paalupituudet olivat neljä ja pisimmät 20 metriä. Paalut asennettiin viime joulu-helmikuussa kolmella paalukoneella.

Skanska Infran urakoimat paalutustyöt alkoivat 4. joulukuuta, samana päivänä alkoi talvi. Kova pakkanen haittasi töitä lähes koko ajan, mutta pakkasasteiden ollessa parissakymmenessä koneilla saattoi vielä työskennellä.

Oikeastaan pakkasesta oli se hyöty, että paalutuskoneet pysyivät vajoamatta niitä varten rakennetun pedin päällä. Ja kun urakka-alue oli pinta-alaltaan erittäin laaja, piha-alueineen noin kymmenen hehtaaria, mestaa paaluttajille edellä tekevä maarakennusurakoitsija ja paalutusurakoitsija eivät missään vaiheessa olleet toistensa tiellä.

– Aloitimme talon pohjarakennekerrosten teolla. Sen jälkeen teimme paalutuskoneille pedin ja siirryimme sitten tekemään pihan maarakenteita. Kuluvan vuoden lokakuussa poistimme painopenkereen painumaherkimmältä osalta piha-aluetta. Muilta osin piha-alueilla pärjätään ilman pohjavahvistusta, kertoo työpäällikkö *Mika Breilin* kohteen maarakennusurakasta vastaavasta Jokioisten Maarakennus Oy:stä.

Turvallinen ja hyvin suunniteltu

Edellä mainittu väljyys on luonnollisesti etu myös työturvallisuuden näkökulmasta. Kun urakoitsijat eivät ole toistensa tiellä, tapaturmariskit vähenevät. Tämä edellyttää myös hyvää työvaihesuunnittelua, joka ottaa huomioon kokonaisuuden, ei ainoastaan omaa suoritusta.

Parempaa turvallisuutta palveli myös se, että työmaan kulkutiet ja paalujen purkupaikat pidettiin hyvässä kunnossa, vaikka talviset

Jyrki Nikkinen

1

1 Paalukannot jäivät poikkeuksellisen lyhyiksi.

2 Paalutustyöt onnistuvat pakkaskeleilläkin.

Jyrki Nikkinen

2

olosuhteet liukkauksineen olivat omiaan lisäämään tämän tavoitteen vaativuutta.

Onnistuminen työturvallisuudessa oli tarkkaan mietityn työvaiheistuksen ja huolella laaditun työturvallisuussuunnitelman seurausta. Paaluhukan minimointia edesauttoi puolestaan laadukas geotekninen suunnittelu, koepaalutus ja hyvä yhteistyö osapuolten kesken. Suunnitelmamuutoksia tuli, mutta ne pysyivät hyvin hallinnassa, koska tieto kulki toimitusketjussa kitkattomasti.

– Oleellista oli, että tieto muutoksista paalupituuksissa tuli meille hyvissä ajoin. Näin menetellen tuotantomme pystyi vastaamaan muutoksiin sovitussa toimitusajassa, Reijo Mustonen toteaa.

Vuoden Paalutustyömaa -raati perusteli voiton vieneen Transvalin paalutustyömaan vahvuuksia muun muassa suunnitelmamuutosten hyvällä hallinnalla sekä onnistumisella työturvallisuudessa. Kun aikaa oli riittävästi muutoksiin, kaikenlainen tarpeeton kiire jäi vähemmälle, mikä oli eduksi myös työturvallisuudelle. Kirsikkana kakun päällä voittoisa työmaa sai kunniamaininnan ”operatiiviselle toiminnalle, työmaan henkilöstölle, paalutusryhmälle, työnjohdolle jaa työpäälliköille sekä paalutehtaiden henkilöstölle”. •

Henkilökuvassa
Jan-Erik Kivinen

Betoni-lehden henkilögalleriassa on haastateltavana vuoden elementtisuunnittelijaksi 2024 valittu, elementtisuunnittelun suunnittelupäällikkönä A-Insinööreillä työskentelevä rakennusinsinööri (AMK) **Jan-Erik Kivinen** (s. 1982 Vilppula).

Teksti: *Dakota Lavento,* toimittaja

–Rakennusalan tuottavuusloikassa on nyt paikko onnistua, Jan-Erik Kivinen sanoo. –Tuottavuusloikasta on vuosien mittaan puhuttu kyllästymiseen asti seminaareissa ja kirjoitettu lukemattomia palstamillimetrejä. Kaiken analysoinnin ja pohtimisen johtopäätöksenä olemme päätyneet siihen, että tuottavuusloikkaan tarvitaan koko rakentamisen ketjua tilaajasta suunnittelijoihin, rakentajiin ja jopa loppukäyttäjiin.

Nykyisen rakentamisen alakulon Jan-Erik Kivinen uskoo muuttavan alaa. Markkina on mullin mallin ja elementtirakentamisessa käynnissä myllerrys.

Nyt tarvitaan todella sitä tuottavuusloikkaa. Puhuminen on lopetettava, käärittävä hihat ja lopultakin tartuttava toimeen. Pessimismiin ei Jan Erik Kivisen mielestä ole syytä. –Tuottavuusloikassa voidaan kyllä onnistua, mutta se vaatii sitoutuneen, innovatiivisen ja motivoituneen porukan.

–Hankkeita ei voi toteuttaa enää vanhoilla tutuilla tavoilla. Se ei riitä enää – eikä riitä jatkossakaan. Hanketta pystyy kehittämään ja optimoimaan, jos koko suunnittelu- ja hankintaketju on lukittu ajoissa. Silloin tuottavuuden parantamiseen on hyvät mahdollisuudet. Jos nykyiseen tapaan jokainen ketjun osa haluaa ensin oman osansa valmiiksi, voi mahdollisuus tuottavuuden parantamiselle olla jo menetetty.

Elementtisuunnittelijan rooli tuottavuusloikassa on nostaa esivalmistusastetta, optimoida ja vakioida. –Pyrimme vakioimaan enemmän, jotta tehdastuotanto olisi tehokkaampaa, lähempänä teollista tuotantoa. Esivalmistusasteen nostolla työmaalle jää vähemmän tehtävää.

Tietomallin hyödyntämisellä tuottavuusloikkaa voitaisiin parantaa huomattavasti. – Teemme jo nyt kaikki elementit tietomallissa. Tietosisällön lisääminen ja laadun parantaminen, kustannuslaskenta, optimointi tai vaihtoehtoisten ratkaisumallien etsiminen on tietomallin avulla huomattavasti helpompaa kuin perinteisiä paperikuvia käyttämällä.

Tietomallista rakentamisen aikana otettua reaaliaikaista tilannekuvaa voivat urakoitsijat ja elementtitehdaskin hyödyntää – jos siis haluavat ja pystyvät.

Jan-Erik Kivinen heittääkin haasteen elementtitehtaalle. –Kovin moni elementtitehdas toimii edelleen paperikuvien kanssa. Voisivatko tehtaat miettiä, mitä hyötyä ne saisivat tietomallista?

Hiljainen lukutoukka

Jan-Erik varttui Vilppulassa. Perheeseen kuului isosisko ja sisaruspuolia. Hiljainen ja rauhallinen poika oli kiinnostunut maailmasta ympärillään ja piirtämisestä. Hän piirsi mielellään sarjakuvahahmoja ja erityisesti autoja. Jan-Erik oppi lukemaan ennen koulua. *Astrid Lindgrenin* rakastettu klassikko Ronja Ryövärintytär luettiin äidin kanssa useaan kertaan.

Ujous ja hiljaisuus aiheuttivat hieman haasteita koulussa, mutta eivät estäneet poikaa menestymästä. Hän sai hyviä numeroita ja pärjäsi mainiosti varsinkin matikan kokeissa. Eka- ja tokaluokalla kokeissa taisi tulla aina täydet pisteet.

Matikka olikin yksi Jan-Erikin lempiaineista. Luonnontieteet, kuten biologia, tuntuivat helpoilta sisäistää, abstraktimmat aineet eivät niinkään. Ja vaikka hän tykkäsi piirtää tarkkaan ja mallista, metsämaiseman maalaaminen vesiväreillä ei ollut niinkään mieluista.

Peruskoulussa Jan-Erik panosti koulunkäyntiin. Hän teki läksyt lisätehtävineen ja luki kokeisiin. – Olin tunnollinen oppilas. Luin sanakokeeseenkin koealuetta niin pitkään, että osasin sanat ulkoa. Äiti vielä tenttasi lopuksi.

Onneksi Jan-Erik kävi koulua aikana ja paikassa, jolloin hyviä numeroita saavaa poikaa ei vielä kiusattu.

Yläkouluvaiheessa hyvälle oppilaalle luonnollisesti suositeltiin lukioon hakeutumista, eikä Jan-Erikillä ollut vaihtoehtoistakaan suunnitelmaa esittää. – Minulla ei ollut mitään käsitystä, mitä haluaisin isona tehdä tai opiskella, hän tunnustaa.

Niinpä Jan-Erik suuntasi lukioon naapurikuntaan Mänttään. Nykyisin ei ole enää Mänttää ja Vilppulaa. Ne yhdistyivät Mänttä-Vilppulaksi vuonna 2009.

Ensimmäinen ja tunnetusti raskain vuosi lukiossa riitti kuitenkin vakuuttamaan nuorukaisen siitä, että valinta oli tullut tehdyksi liian hätäisesti. Opiskelu lukiossa tuntui liian yleisen epämääriseltä. Hän kaipasi konkretiaa – johonkin kouriintuntuvaan keskittymistä.

–En tosin tiennyt mihin.

1 Vuoden elementtisuunnittelija, elementtisuunnittelun suunnittelupäällikkönä A-Insinööreillä työskentelevä rakennusinsinööri Jan-Erik Kivinen sanoo, että rakennusalan tuottavuusluokassa on pakko nyt onnistua.

Tietoliikennettä ja oman tien etsimistä

Jan-Erik päätteli, että ammattikoulu ainakin tarjoaisi mahdollisuuden keskittyä johonkin asiaan. Kunhan vain keksisi, mikä se asia olisi.

1990-luvun lopussa elettiin tietoliikennebuumia ja nuoria houkuteltiin kouluttautumaan alalle. Uusinta uutta edusti elektroniikan ja tietoliikennetekniikan perustutkinto ja alasta sen enempää tietämättä Jan-Erik lähti sitä opiskelemaan vuonna 1999. Hän valmistui 2001.

Palattuaan palveluksesta Pioneerirykmentistä Keuruulta Jan-Erik työskenteli puoli vuotta elektroniikka ja tietotekniikka-alalla. – Ja sen jälkeen en ole niitä töitä sitten tehnytkään!

Vuosituhannen alun laman eläneet muistavat, miten vaikea varsinkin juuri työelämään tulleiden oli löytää työtä. Jan-Erik työskenteli pari vuotta Vilppulan nuorisotilan valvojana ja kävi etsimässä töitä Jämsässä asti siinä onnistumatta.

Lopulta ajat paranivat, nuoren miehen onni kääntyi ja hän pääsi töihin teräsbetonielementtitehtaaseen Mänttään. Vuosi oli 2006, yritys Betoni-Vuokko Oy ja sillä uralla Jan-Erik Kivinen on oikeastaan edelleen.

–Olen siis tehnyt uraa teräsbetonielementtien parissa vuodesta 2006.

Jan-Erik Kivinen sanoo, että vaikka työ teräsbetonielementtitehtaalla oli rankkaa, hän tykkäsi siitä. Se oli toki konkreettista ja sillä tavoin merkityksellistä, että käden jäljen todella näki. Ei pelkästään valmiissa elementeissä tehtaalla, vaan työmailla asti.

–Tampereella ajellessa tuntui jopa jännittävältä, kun rakennustyömailla koottiin kerrostaloa meidän firman valmistamista elementeistä.

Jan-Erikin oma arkisto

2

Betoni-Vuokko valmisti etupäässä elementtejä asuinkerrostaloihin, mutta myös suurempiin kohteisiin, kuten Helsinki-Vantaan ulkomaanterminaalin laajennusosaan.

Vähitellen Jan-Erik Kivisellä alkoi käydä mielessä, että voisihan hän itsekin näitä elementtejä suunnitella. –Valmistimme tuhansia elementtejä, joten väkisinkin piirustukset alkoivat käydä tutuiksi.

Mies oli löytänyt kutsumuksensa ja elementtityöntekijän oli aika hakeutua taas koulun penkille.

Vuonna 2010 Jan-Erik Kivinen haki opiskelemaan Tampereen ammattikorkeakouluun talonrakennusinsinööripuolelle. Silloinkin oli mahdollista opiskella työn ohessa monimuotokoulutuksessa – tai kuten silloin sanottiin, aikuispuolella. –Halusin kuitenkin keskittyä kunnolla opintoihin ja valitsin päiväopiskelun. Ajattelin, että saisin sillä tavalla paremmat evät työelämään.

–Muutin samalla Tampereelle ja näyttää siltä, että jäädäkseni tulin!

Opiskelijariennot eivät 28-vuotiaalta enää 19- ja 20-vuotiaiden nuorukaisten joukossa luonnistaneet täysipainoisesti, mutta Jan-Erik sanoo, ettei hänellä ollut siihen tarvettakaan. – Sain niiltä vuosilta silti hyviä ystäviä.

Rakennusinsinööriopiskelija oli tyytyväinen. Lopultakin hän tiesi täsmälleen, mitä oli tullut opiskelemaan ja mitä opinnoiltaan halusi saavuttaa. – Halusin nimenomaan elementtisuunnittelijaksi. Suunnittelijaksi oli hirveän helppo ja luonteva siirtyä, kun olin ensin pitkään työskennellyt tehtaalla elementtejä valmistamassa. Tiesin jo elementtipiirustuksista kaiken.

Kesäharjoitteluun toisen vuoden opiskelija pääsi Suunnittelu Teräsmaa Oy:öön vuonna 2012. Siellä hän jatkoi elementtisuunnittelua koulun ohella valmistumiseensa saakka 2014 ja palkkalistoilla aina vuoteen 2016.

Elementtejä suunnittelemassa

Nuori elementtisuunnittelija oli Teräsmaalla – elementissään. Hän sai paiskia hartiavoimin töitä. Toimistossa suunniteltiin enimmäkseen asuinkerrostaloja, mutta myös esimerkiksi sähköasemia, myymälöitä ja kouluja. Alkuun tuore elementtisuunnittelija työskenteli oppipoikana mestarin opastuksella, mutta pääsi melko pian jo itsenäisesti omien kohteiden kimppuun, kun suunnittelu alkoi sujua niin hyvin. Kokeneen mestarin kanssa syntyi ensimmäinen merkittävä kohde Tampereen Vuorekseen: vuonna 2014 valmistunut kolmen kerrostalon sarja Sirius, Iris ja Vega.

Vuonna 2016 miehen tie vei suurempaan taloon A-Insinööreihin, joissa oli mahdollista päästä suunnittelemaan suurempia kokonaisuuksia. Siellä hän keskittyi edelleen piirtämään elementtejä etupäässä asuinkerrostalokohteisiin.

Työskenteleminen projektipäällikkönä vuosina 2018–2022 tarkoitti, että työajasta suuri osa kului tiimin ohjaamiseen. Suurimmillaan tiimiin kuului 17 henkilöä.

Nimitys suunnittelupäälliköksi vuonna 2022 oli askel kohti laajempia kokonaisuuksia. Nykyisin Jan-Erik Kivisen työtä ovat esimerkiksi hanke- ja projektikehitys, laadunvalvonta ja optimointi sekä erikoispaikkojen ja hankalien tilanteiden ratkaiseminen. Perussuunnitteluun miehen aika ei enää oikein riitä. Toisaalta hän arvelee piirtäneensä tähän mennessä noin 10 000 elementtisuunnitelmaa, joten eiköhän siinä ole ihan tarpeeksi.

– Olen tyytyväinen nykyiseen rooliini. Ja on minulla edelleen tietomallinnus- ja piirto-ohjelma päivittäisessä käytössä. Avaan aamuisin ensimmäisenä AutoCadin, vaikka se onkin vähän vanhanaikainen piirtotyökalu. Teen muille suunnittelijoille alustavia suunnitelmia tai detaljeita, joten AutoCad aukeaa ensimmäisenä ja sammuu viimeisenä.

Suunnittelupäällikön tärkein työkalu on kuitenkin nykyisin sähköposti. – Toimenkuvani painottuu yhä enemmän kommunikointiin ja yhteydenpitoon ja se kasvattaa sähköpostin roolia.

2 Luonnossa liikkuminen tuo elementtisuunnittelijan elämään sopivasti vaihtelua. Kuva on Birgitan polulta.

3 Jan-Erik Kivinen soitti pitkään aktiivisesti keikkailleessa bändissä ja soittelee kitaraa edelleen omaksi ilokseen.

Jan-Erikin oma arkisto

3

Todella suuria elementtikohteita

Aloittelevalle elementtisuunnittelijalle kolmen kerrostalon kohde Vuoreksessa oli suuri kohde. Sittemmin A-Insinööreillä Jan-Erik Kivisen suunnittelukohteiden mittakaava on ollut aivan toisenlainen.

Vuonna 2022 alkoi yhdentoista kerrostalon suunnittelukokonaisuus Espooseen: YIT:n Marinranta 20 000 km².

Pasilaan valmistumaisillaan oleva HOAS Huippu koostuu kolmesta 14–17-kerroksisesta ja kolmesta 7-kerroksisesta asuinkerrostalosta: yhteensä 23 000 brm².

Parhaillaan työn alla on Helsinkiin valmistuva Laakson yhteissairaalan kolme uutta päärakennusta: huikeat 93 000 brm².

Tietoa alan mahdollisuuksista tarvitaan

Jan-Erik Kivinen lähti opiskelemaan lopullista unelma-ammattiaan vasta 28-vuotiaana. Nykyisin hän ajattelee, että jos olisi pystynyt lukion ensimmäisellä vilkaisemaan tulevaisuuteen, etsikkovuodet olisivat voineet jäädä välistä. –Olisin voinut hakeutua rakennusinsinööriopintojen pariin aikaisemmin – etenkin, jos olisin nähnyt, että olen ihan hyvä tässä työssä.

Jan-Erik Kivinen jakaa monen huolen siitä, ettei tekniikan alan ammateista ja koulutuksista syystä tai toisesta saada välitettyä riittävästi tietoa yläkoulu- ja lukioikäisille opiskelijoille. Näin heillä ei ole kaikista mielenkiintoisista mahdollisuuksista riittävästi tietoa päätöksenteon pohjaksi.

Jan-Erik Kivinen sanoo, että Vuoden elementtisuunnittelija 2024 palkinto lämmittää mieltä. – Jouduin lukemaan saamani sähköpostin useampaan kertaan, ennen kuin ymmärsin, mitä se tarkoittaa. Elementit, niiden suunnittelu ja elementtirakentaminen ovat lähellä sydäntäni. Olen tehnyt hirveästi työtä kehittyäkseni ja yrittänyt parhaani tullakseni hyväksi työssäni. Siksi huomionosoitus tuntuu hyvältä.

Vuoden elementtisuunnittelija asuu edelleen Tampereella ja osuvasti 1970-luvulla rakennetussa betonielementtikerrostalossa. –Silloinhan runkojärjestelmä kehitettiin ja elementtisuunnittelu pääsi vauhtiin. Mallia otettiin Ruotsista ja Saksasta, mutta meillä se viritettiin oikein huippuunsa. Jonkun mielestä tämä talo voi näyttää rujolta, mutta minä tykkään sitä kyllä katsella. Rakennusaikanaan se on edustanut parasta rakentamisen tekniikkaa.

Jan-Erik Kivisen perheeseen kuuluu kaksi poikaa, 9- ja 5-vuotiaat sekä avopuoliso. Hän on soittanut pitkään keikkailevassa rokkibändissä sähkökitaraa ja soittaa edelleen omaksi ilokseen. Aikaa kuluu myös luontopoluilla ja Baldur's gate 3:n maailmassa. –Se on semmoinen nörttivideopeli, hän selventää. •

Poskiontelolaatta

Välillä pistää niin vihaksi kun lukee tekstejä, joissa viljellään käsittämätöntä ammattijargonia ja tuntemattomia lyhenteitä. Jos itse kirjoitan teknistä tekstiä toiselle betonirakenteiden suunnittelijalle, ammattislangi säästää paljon sanoja ja lienee ihan paikallaan. Monesti yritämme teksteillämme viestittää lukijalle jotain. Jos lukija tuntee itsensä hölmöksi, kun ei ymmärrä käytettyjä sanoja ja lyhenteitä, ei mene asiammekaan perille.

Juuri nyt hiertää EEJ, MRL-uudistus, GWP ja KIRA-ala. Rakentamisen edunvalvonnassa nämä ovat ihan selviä asioita, mutta monen ulkopuolisen katse muuttuu lasittuneeksi, kun kuulee keskustelussa näitä termejä.

On myös termejä, joilla on monta merkitystä ja jotka yleensä pysyvät oikeassa merkityksessään vain asiayhteyden perusteella. Yksi esimerkki on ETA, joka tarkoittaa sekä Euroopan talousaluetta että eurooppalaista teknistä arviointia. Joissain piireissä ja pienillä kirjaimilla kirjoitettuna sillä voidaan viitata myös aiottuun saapumisaikaan.

Tuntuu kuitenkin, että kestävään kehitykseen liittyvät asiat ovat vieneet jargon-ongelman jo seuraavalle tasolle. Ala, jonka terminologia on vasta rakentumassa, on hedelmällinen kasvualusta uusille termeille ja lyhenteille.

Taannoin keskusteltiin A4:stä: yksi ajatteli sen tarkoittavan paperikokoa, suurin osa muista osallistujista automallia, mutta keskustelun aloittaja tarkoittikin rakentamisvaiheen ympäristövaikutuksia. On ymmärrettävää, että ympäristövaikutusten arviointeja tekeville moduulien tunnukset ovat ihan selvät, mutta suurimmalle osalle muista eivät.

Toinen esimerkki on DfD, joka tarkoittaa purettavaksi suunnittelua. Ensimmäisessä on kolme tavua ja jälkimmäisessä yhdeksän. Tehokkuudestaan huolimatta lyhenne ei kerro mitään ja varsinainen termi kaiken.

Termit, joille otetaan käyttöön uusia merkityksiä, ovat vielä hankalampia. Väärinymmärryksen vaara on silloin suuri. Tästä esimerkkinä vaikka hiilijalanjälkeä seurannut hiilikädenjälki. Kädenjälki-sanalla oli ennestään jo hyvin tunnettu merkitys, joka ei ole linjassa jalanjälki-sanan kanssa. Niin se vaan tupsahti termiksi hiilijalanjäljen rinnalle.

Mainonnassa näitä vastuullisuuteen ja kestävään kehitykseen liittyviä termejä suitsitaan EU-tason ohjeilla. Kiellettyjä ovat mm. ”luonnon ystävä”, ”ilmastoneutraali”, ”ekologinen” ja jokaisen copywriterin ikisuosikki ”ympäristöystävällinen”. Myös sana ”vihreä” on kielletty. Voisin kuvitella, että sitä saa käyttää, jos tuote on väriltään vihreä…

Varsinainen jargonin kuningas on sana ”kestävä”. Rakennesuunnittelija mieltää sen lujuusopilliseksi termiksi. Rakennusfysiikka-asiantuntija ajattelee sen liittyvän pitkäaikaiskestävyyteen. Kestävän kehityksen keskusteluissa se tarkoittaa taas laajaa kokonaisuutta, jolla on ekologinen, sosiaalinen, taloudellinen ja inhimillinen ulottuvuus. Harvemmin käytetään enää merkitystä ”mahdoton hävittää”.

Kaikki sortuvat jargoniin joskus, mutta lyhentely kannattaa pitää minimissä silloin, kun ei ole varma kuulijakunnasta.

Joskus tuntemattomat termit herättävät tosissaan kummastusta. Vai mitä ajattelet ystäväni uudesta liikuntaharrastuksesta, jonka nimi on ”WTF”. Tai saattoivat kirjaimet olla jossain muussakin järjestyksessä… Tämän kolumnin otsikko taas syntyi erään ontelolaattoja tuntemattoman päässä ja antoi inspiraation koko tekstiin. •

Auli Lastunen
Eurokoodiasiantuntija
Rakennustuoteteollisuus RTT
auli.lastunen@rakennusteollisuus.fi

Finnsementti

Suomalaista sementtiä 110 vuotta

FINNSEMENTTI
A CRH COMPANY

Finnsementti

Tänä vuonna tulee kuluneeksi 110 vuotta Paraisten ensimmäisen kiertouunin käynnistämisestä ja sementin teollisen valmistamisen aloittamisesta Suomessa, mutta kuka sementin aikoinaan keksi?

Sementin historiaa

On vaikea sanoa, kuka ensimmäisenä keksi sementin, mutta jo ennen ajanlaskumme alkua etruskit käyttivät jauhettua kalkkia laastin sideaineena.

Myöhemmin roomalaiset kehittivät poltetusta kalkista oman roomalaissementtinsä. Se otettiin uudelleen käyttöön 1700-luvulla, ja siitä alkoi kehitys, joka johti portlandsementin keksimiseen Englannissa 1800-luvun alkupuolella. Kun saman vuosisadan lopulla keksittiin vielä polttaa raaka-aineseosta kiertouunissa, perusta sementin nykyiselle valmistustekniikalle oli luotu.

Finnsementin historiaa

Finnsementti Oy:n tarina alkoi 1900-luvun alussa kahdesta sementtitehtaasta, Paraisten Kalkkivuori Osakeyhtiön sementtitehtaasta ja Lohjan Kalkkitehdas Osakeyhtiön tehtaasta. Kolmannen sementtitehtaan toiminta käynnistyi Lappeenrannassa vuonna 1938 ja neljännen Kolarissa vuonna 1968.

Lue lisää suomalaisen sementin ja Finnsementin historiasta :
https://finnsementti.fi/yritys/historia/

Alan omistusjärjestelyiden myötä vuonna 1992 Partekin ja Lohjan sementtiteollisuudet yhdistyivät. Vuodesta 1993 vuoteen 1999 Finnsementti oli osa Scancem-(Euroc)konsernia. Vuodesta 1999 Finnsementti on kuulunut CRH-konserniin, joka on yksi maailman suurimmista rakennusmateriaaliyrityksistä. Nykyään valtaosa Suomen sementtitarpeesta tuotetaan Finnsementin Paraisten ja Lappeenrannan tehtailla.

Betonipäivä 2025 ”Concrete – reuse, renew, recycle” ja Vuoden Betonirakenne 2024 julkistaminen

30.1.2025, klo 10.00 – 20.00, Dipoli, Espoo

Betonipäivä ja Vuoden Betonirakenne on koko päivän seminaaritapahtuma, jossa pääsee kuulemaan useita ajankohtaisia esityksiä sekä samalla on mahdollisuus tutustua alan yritysten näyttelyyn ja tuoteuutuuksiin.

Tule mukaan verkostoitumaan.

Ilmoittaudu alla olevasta linkistä 17.1.2025 mennessä.
https://www.lyyti.fi/reg/betonipaiva_vuoden-betonirakenne_2024

Ohjelma 30.1.2025

Päivän moderaattorina toimii Keijo Leppänen

9.00–10.00 Aamukahvi ja näyttelyyn tutustuminen

Aamupäivän teema: Infrarakentaminen
10.00 Seminaarin avaus
– Keijo Leppänen
10.10 BY:n opinnäytetyöpalkintojenjako
– Mirva Vuori, toimitusjohtaja, Suomen Betoniyhdistys
10.20 Tuulivoima osana suomalaista energiajärjestelmää
– Heidi Paalatie, operatiivinen johtaja, Suomen Uusiutuvat Oy
10.50 Betonirakenteinen tuulivoimalatorni
– Mikko Isotalo, toimitusjohtaja, Lujabetoni Oy
11.00 Pienydinvoimalat – tulevaisuuden energianlähde
– Lauri Muranen, Head of Public Affairs, Steady Energy Oy
11.20 Hessundin salmen sillan uusiminen
– Atte Mikkonen, toimitusjohtaja, Sofin Consulting Oy
12.00 Lounastauko ja näyttelyyn tutustuminen

Iltapäiväseminaari jatkuu
13.00 Paneeli: Ei enää jätettä vaan tulevaisuuden raaka-aine
– Katja Lehtonen, erityisasiantuntija, Ytekki Oy
– Henri Kylä-Utsuri, liiketoimintajohtaja, Rudus Oy
– Eric Rawlins, arkkitehti SAFA, Liike Oy Arkkitehtistudio
– Pia Kuusiniemi, maisema-arkkitehti MARK, Loci Maisema-Arkkitehdit Oy
– Rakennuttajan edustaja – NN
14.00 Kahvitauko ja näyttelyyn tutustuminen

Iltapäivän teema:
Ajaton betoniarkkitehtuuri
14.30 Kansallismuseon laajennus
– Samuli Miettinen, pääsuunnittelija, arkkitehti SAFA, JKMM Arkkitehdit
14.50 Suomalainen betoniarkkitehtuuri on kansainvälisesti merkittävää
– Mikko Laaksonen, tietokirjailija
15.15 Mitä Vuoden Betonirakenteille kuuluu nyt?
– Maritta Koivisto, arkkitehti SAFA, päätoimittaja Betoni
15.30–16.00 Tauko ja näyttelyyn tutustuminen
16.00–17.00 New works – Sustainability (re-use, re-new, re-cycle)
– AFF Architekten, Berlin

Vuoden 2024 Betonirakenteen julkistaminen:
17.00 Vuoden Betonirakenne 2024, palkintojen jako
– Jussi Mattila, tuomariston puh.joht., Betoniteollisuus ry
17.15 Voittaneen kohteen esittely
17.45–20.00 Buffet, verkostoitumista ja näyttelyyn tutustuminen

Tilaisuus on maksuton.
Pidätämme oikeudet muutoksiin.
Tervetuloa!
Lisätietoja: https://betoni.com

Kuinka rakennetaan betonielementtikerrostalo?

Valtaosa maahamme valmistuvista kerrostaloista on betonielementtirakenteisia. Mistä betonielementtitalojen suosio johtuu ja miten ne oikein rakennetaan? Tutustu Betoniteollisuus ry:n teettämään animaatioon, jossa avataan betonielementtikerrostalon rakentamisen prosessia ja siinä käytettäviä tuotteita.

Rakennettu Suomi on suurelta osin betonia. Jopa 95:ssä prosentissa maahamme valmistuvista kerrostaloista on betonirunko, ja näistä taloista yli 80 prosenttia on betonielementtirakenteisia.

Mikä selittää suuren suosion ja mistä betonielementtirakentamisessa oikein on kysymys?
Betoni on tunnetusti kestävä ja luja materiaali, joka on käyttöominaisuuksiltaan vailla vertaa. Betonielementtirakentamisessa rakentamisen prosessia sujuvoitetaan valmistamalla tehtaissa laadukkaita betonisia valmisosia, joista on helppo suunnitella ja rakentaa halutun kaltaisia rakennuksia.

Elementtikerrostalon rakentaminen muistuttaakin monelta osin lapsuudesta tuttua lego-rakentamista: erilaisia palikoita on paljon, ja niitä yhdistelemällä voidaan toteuttaa eri tyyppisiä taloja. Kaikki palikat – eli elementit – on tehty toisiinsa sopiviksi selkeillä ja yksinkertaisilla liitostekniikoilla. Tämä lyhentää rakennusaikaa ja minimoi materiaalihukan, mistä puolestaan syntyy säästöjä.

Entä miltä elementtikerrostalon rakennusprosessi käytännössä näyttää? Harva tietää, sillä kerrostalojen rakentaminen tapahtuu nykyisin visusti työmaa-aitojen takana, yleisöltä piilossa. Moni valveutunut kerrostalon asukas tai asunnon ostoa suunnitteleva olisi kuitenkin kiinnostunut siitä, miten ja millaisista aineksista talo on rakennettu.

betoni.com

Avatakseen betonielementtikerrostalon rakentamisen prosessia ja siinä käytettäviä tuotteita Betoniteollisuus ry on teettänyt aiheesta animaation. Animaatio käsittää rakentamisen keskeiset vaiheet aina perustamistöistä alkaen, päätyen vesikaton tekoon sekä elementtien saumaukseen. Tutuiksi tulevat myös keskeiset komponentit, niiden asennusjärjestys ja liitostavat.

Näin syntyy betonielementeistä kerrostalo!
https://www.youtube.com/watch?v=siuP_Oq3ajo

Lisätietoja:
Jaospäällikkö Janne Kihula
040 514 65 10
janne.kihula@rt.fi

Betonin yhteystiedot 2024 – osoite: Eteläranta 10

PL 381 (Eteläranta 10, 10. krs)
00131 Helsinki
etunimi.sukunimi@rakennusteollisuus.fi
vaihde: (09) 12 991

Betoniteollisuus ry:
Toimitusjohtaja Jussi Mattila
0400 637 224
etunimi.sukunimi@rakennusteollisuus.fi

Jaospäällikkö Janne Kihula
040 514 65 10
etunimi.sukunimi@rakennusteollisuus.fi

Jaospäällikkö Ari Mantila
0400 201 507
etunimi.sukunimi@rakennusteollisuus.fi

Jaospäällikkö Antti Taivalkangas
050 432 3360
etunimi.sukunimi@rakennusteollisuus.fi

Päätoimittaja, arkkitehti SAFA
Maritta Koivisto
040 900 3577
etunimi.sukunimi@betoni.com
etunimi.sukunimi@rakennusteollisuus.fi

Viestintäassistentti Nina Loisalo
050 368 9072
etunimi.sukunimi@rakennusteollisuus.fi

Betoniyhdistys ry:
etunimi.sukunimi@betoniyhdistys.fi

Toimitusjohtaja Mirva Vuori
040 765 7672

Erityisasiantuntija Johanna Tikkanen
040 518 1641

Erityisasiantuntija Kim Johansson
050 550 6556

Koulutuskoordinaattori Anu Kurkela
0400 228414

Ilmoittajaluettelo 4 2024

Ilmoittaja	Sivu
ART-Betoni Oy	6
Betoniluoma Oy	IV kansi
Betset Oy	5
Finnsementti Oy	III kansi
Hi-Con Oy	II kansi
Julkisivuyhdistys JSY ry.	5
Lakka Oy	4
Lammin Betoni Oy	5
MaxBe Oy	3
Peikko Oy	2
Pielisen Betoni Oy	4
Rakennusbetoni- ja Elementti Oy	4
Seroc Oy / Ulma Ltd	3
Schwenk Suomi Oy	3
YBT Oy	3

Betoninäyttely ja opastus on avoinna Eteläranta 10:ssa ja 10. kerroksessa

Betoniyhdistys ry ja Betoniteollisuus ry muuttivat Rakennustuoteteollisuus RTT:n mukana 1.2.2018 Eteläranta 10:een ja 10. kerrokseen. Yhteisissä tiloissa toimii *betonipintanäyttely*, joka esittelee mm. erilaisia betonin väri- ja pintakäsittelytapoja. Näyttely on avoinna toimiston aukioloaikoina klo 8.15–16.00. Esittelystä voi sopia etukäteen arkkitehti *Maritta Koiviston* kanssa, gsm 040–9003577 tai maritta.koivisto@betoni.com.
www.betoni.com

betoni hakemisto

Betoniteollisuus ry:n jäsenyritykset ja tuotteet

	Alavuden Betoni Oy	Ansion Sementtivalimo Oy	Arkta Laatuseinä Oy	Betonilaatta Oy	Betoniluoma Oy	Betroc Oy	Betset-yhtiöt	HTM Yhtiöt Oy	JA-KO Betoni Oy	Joutsenon Elementti Oy	Kankaanpään Betoni ja Elementti Oy	Lakan Betoni Oy	Lammin Betoni Oy	Lipa-Betoni Oy	Lujabetoni Oy
Betoniharkot				●									●		
Betonin pumppaus		●				●	●		●						
Elementtien asennus							●								
Erikoiselementit		●	●		●	●			●	●					
Eristeharkot													●		
Hissikuiluelementit						●	●								
Hormielementit															
Hulevesituotteet				●											
Jännebetonipalkit		●					●								
Kalusteet, istutusastiat yms.															
Kanavaelementit ja kourut						●	●								
Kattotiilet															
Kevytsoraharkot															
Kuitubetonielementit					●	●									
Kuivalaastit ja kuivabetonit															
Kylpyhuone-elementit					●										
Maakellarit															
Maatalouselementit		●			●										
Meluseinät, törmäyskaiteet		●				●	●								
Muurikivet				●									●		
Ontelolaatat, kuorilaatat		●					●								
Paalut								●							
Parvekepielet	●	●			●		●			●	●			●	
Parvekkeet, massiivilaatat	●	●	●		●	●	●			●	●			●	
Perustuselementit		●					●								
Pilarit ja palkit		●				●	●								
Porraskivet ja -elementit				●											
Portaat			●												
Putket, kaivot ja hulevesijärjestelmät									●						
Päällystekivet ja -laatat				●											
Rappauselementit		●			●	●	●			●					
Ratapölkyt															
Reunatuet				●											
Sandwich-elementit	●	●	●		●	●	●			●	●			●	
Siilot ja säiliöt		●							●						
Sillat, laiturit ja tukimuurit		●				●	●								
Sisäkuoret		●	●		●	●	●			●					
TT- ja HTT-laatat							●								
Valmisbetoni		●				●	●		●						
Valuharkot													●		
Väestönsuojat		●				●									
Väliseinäharkot													●		
Väliseinät		●	●			●	●			●					

	MH-Betoni Oy	Napapiirin Betoni Oy	Parma Oy	Pielisen Betoni Oy	Potius Oy / Lahden Kestobetoni Oy	Rakennusbetoni- ja Elementti Oy	Rudus Oy	Ruskon Betoni Oy	Suomen Kovabetoni Oy	Suutarinen Yhtiöt/ SBS Betoni Oy	Swerock Oy	TB-Paalu Oy	VaBe Oy	YBT Oy
Betoniharkot						●								
Betonin pumppaus		●					●	●		●	●			
Elementtien asennus														
Erikoiselementit				●		●	●		●	●				
Eristeharkot						●								
Hissikuiluelementit										●				
Hormielementit							●							
Hulevesituotteet						●								
Jännebetonipalkit				●					●	●				
Kalusteet, istutusastiat yms.														
Kanavaelementit ja kourut							●							
Kattotiilet														
Kevytsoraharkot														
Kuitubetonielementit										●				
Kuivalaastit ja kuivabetonit														
Kylpyhuone-elementit						●								
Maakellarit										●				
Maatalouselementit										●				
Meluseinät, törmäyskaiteet							●			●				
Muurikivet						●	●							
Ontelolaatat, kuorilaatat				●					●	●				
Paalut												●		
Parvekepielet	●	●					●		●	●			●	
Parvekkeet, massiivilaatat	●	●			●		●		●	●			●	
Perustuselementit						●				●				
Pilarit ja palkit	●	●		●	●				●	●			●	
Porraskivet ja -elementit						●								
Portaat		●					●							
Putket, kaivot ja hulevesijärjestelmät		●					●	●						
Päällystekivet ja -laatat						●	●							
Rappauselementit	●						●		●				●	
Ratapölkyt														
Reunatuet							●							
Sandwich-elementit	●	●		●	●		●		●	●			●	
Siilot ja säiliöt														
Sillat, laiturit ja tukimuurit							●							
Sisäkuoret	●	●					●			●			●	
TT- ja HTT-laatat				●					●	●				
Valmisbetoni		●		●			●	●		●	●			
Valuharkot						●								
Väestönsuojat					●	●				●				
Väliseinäharkot						●								
Väliseinät	●	●		●	●	●	●			●			●	

betoni

Betoniteollisuus ry:n jäsenyritysten tuotteet, palvelut ja toimipisteet

A

Alavuden Betoni Oy
Peräseinäjoentie 210, 63300 Alavus
Puh 050 453 1520
www.alavudenbetoni.fi
timo.asunmaa@alavudenbetoni.fi

Ansion Sementtivalimo Oy
Lohipurontie 2 (PL 48), 21530 Paimio
Puh 02 4770 100
www.asv.fi
ari-p.ansio@asv.fi

Arkta Laatuseinä Oy
Kiuaskatu 1, 18100 Heinola
Puh 0500 442 810
www.lslaatuseina.fi
pekka.kuurne@lslaatuseina.fi

B

Betonilaatta Oy
Sorvarinkatu 3, 20360 Turku
Puh 02 511 8800
www.betonilaatta.fi
myynti@betonilaatta.fi
etunimi.sukunimi@betonilaatta.fi

Betoniluoma Oy
Horontie 176, 64700 Teuva
Puh 010 8410 140
www.betoniluoma.com
info@betoniluoma.com

Betroc Oy
Valimontie 1, 99600 Sodankylä
Puh 020 7579 080
www.betroc.fi
betroc@betroc.fi

Betset-yhtiöt
Ilvestie 2, 01900 Nurmijärvi
Puh 040 3434 300
www.betset.fi

Myynti:

Elementtimyynti ja laskenta
https://betset.fi/yhteystiedot/myynti
myynti@betset.fi

Valmisbetonimyynti ja pumppaus
https://betset.fi/yhteystiedot/valmisbetoni
vbmyynti@betset.fi

Tehtaat:

Espoo
Helsinki
Hämeenlinna
Kyyjärvi
Mikkeli
Nummela
Nurmijärvi
Parainen
Turku
Vierumäki

C

Consolis Parma (Parma Oy)

Yhteystiedot: ks. www.parma.fi

Consolis Parma on Suomen johtava betonielementtien valmistaja ja elinkaariviisaan betonirakentamisen suunnannäyttäjä. Yhtiöllä on toimintaa 13 paikkakunnalla ja se työllistää noin 650 henkilöä.

Consolis on Euroopan johtava teollisuuskonserni, joka tarjoaa kestäviä ja älykkäitä betonielementtirakenteita rakennusteollisuuden tarpeisiin. Consolis työllistää noin 9 000 työntekijää 17 maassa eri puolilla maailmaa.

J

JA-KO Betoni Oy
Vaasantie (PL 202), 67100 Kokkola
Puh 06 824 2700
www.jakobetoni.fi
jaakko.eloranta@jakobetoni.fi

Muut toimipisteet:

Valmisbetonitehdas, Kokkola
Hiekkapurontie 5, 67100 Kokkola
Puh 040 6782 730

Valmisbetonitehdas, Mustasaari
Sudenpolku 8, 65480 Vikby
Puh 040 6782 750

Valmisbetonitehdas, Närpiö
Teuvavägen 131, 64200 Närpiö
Puh 040 6782 760

Valmisbetonitehdas, Pietarsaari
Vaunusepäntie 2, 68660 Pietarsaari
Puh 040 6782 720

Valmisbetonitehdas, Seinäjoki
Routakalliontie, 60200 Seinäjoki
Puh 040 6782 740

Joutsenon Elementti Oy
Puusementintie 2, 54100 Joutseno
Puh 0207 659 880
www.joutsenonelementti.fi
etunimi.sukunimi@joutsenonelementti.fi
myynti@joutsenonelementti.fi

Tehtaat:
Joutseno
Kotka
Kouvola

K

Kankaanpään Betoni ja Elementti Oy
Kuusikonkatu 4 (PL 96), 38700 Kankaanpää
Puh 050 300 4197
www.elementti.fi
juha.kuusniemi@elementti.fi

L

Lakan Betoni Oy konserni
Muuntamontie 2, 80100 Joensuu
Puh 0207 481 200
www.lakka.fi
myynti@lakka.fi

Lakan Betoni Oy on kotimainen vuonna 1965 perustettu perheyritys. Tuotamme kiviainespohjaisia rakennustarvikkeita ja niihin liittyviä palveluita asiakkaittemme tarpeisiin.

Vuoden 2021 alussa yritys järjesteli eri liiketoimintansa omiksi, Lakan Betoni Oy:n täysin omistamiksi tytäryhtiöikseen. Yrityksen betoni- ja kuivatuoteliiketoiminta siirtyivät Lakka Rakennustuotteet Oy:lle, ja elementti- ja valmisbetoniliiketoiminta siirtyivät Lakka Elementti ja valmisbetoni Oy:lle.

Tuotantolaitoksemme sijaitsevat ympäri Suomea neljällä paikkakunnalla: Joensuussa, Lopella, Jalasjärvellä ja Varkaudessa. Lakka-tuotteita myyvät jälleenmyyjät kautta maan.

Lakka tuoteperheeseen kuuluvat kivitalot, harkot, pihakivet, laastit, tasoitteet, elementit ja valmisbetoni.

Ilmoitathan mahdollisista tietojen muutoksista tai korjauksista osoitteeseen betoni@betoni.com

Lammin Betoni Oy
Paarmamäentie 8, 16900 Lammi
Puh 020 753 0400
www.lammi.fi
etunimi.sukunimi@lammi.fi

Muut toimipisteet:

Lammi-Kivitalot
Katso kaikki toimipisteet www.lammi.fi/kivitalo

Lammin Betoni on Suomen vanhin ja suurin betoniharkkojen valmistaja. Meidät tunnetaan erityisesti tinkimättömyydestämme tuotteiden laadun suhteen. Tuotteiden laadun, asiantuntevan palvelun ja yli 70 vuoden kokemuksen avulla olemme raivanneet tiemme suomalaisen kivirakentamisen suunnannäyttäjäksi.

Olemme erikoistuneet laadukkaiden betoniharkkojen, valmisanturamuottien ja muurikivien valmistamiseen. Innovatiiviset tuotteet ja tarkoin mietityt kokonaisratkaisumme on kehitetty helpottamaan rakentamista. Laadukkaiden tuotteiden lisäksi haluamme osaltamme olla varmistamassa hankkeiden onnistumisen ensiluokkaisella palvelulla ja toimitusvarmuudella sekä toimimalla alamme edelläkävijänä.

Lipa-Betoni Oy
Lipatie 1, 76850 Naarajärvi
Puh 040 300 0530
www.lipa-betoni.fi
satu.lipsanen@lipa-betoni.fi

Lujabetoni Oy
Harjamäentie 1, 71800 Siilinjärvi
Puh 020 7895 500
www.lujabetoni.fi
etunimi.sukunimi@luja.fi

Lujabetoni Oy Suomen suurimpia betoniteollisuusyrityksiä Suomessa. Palvelemme kestävässä betonirakentamisessa niin ammatti- kuin omakotirakentajiakin. Olemme puhtaasti kotimainen perheyritys jo kolmannessa polvessa.

Lujabetonilla on 27 elementti-, betonituote- ja valmisbetonitehdasta Suomessa ja Ruotsissa.

Suurimmat tehtaamme sijaitsevat Hämeenlinnassa, Taavetissa, Siilinjärvellä, Järvenpäässä ja Kärsämäellä. Tuotevalikoimaamme kuuluvat elementit, valmisbetonit, paalut sekä lukuisa määrä infratuotteita, kuten ratapölkkyjä, pylväsjalustoja, Luja-moduleita ja muita erikoistuotteita.

Viimeisimpiä tuoteuutuuksiamme ovat Luja-Superlaatta, Luja-Superkylpyhuone, vähähiiliset betoniratkaisut ja tuulivoimalaelementit.

M

MH-Betoni Oy
Läsäntie 3, 41660 Toivakka
Puh 040 727 1760
www.mh-betoni.fi
henri.sahlman@mh-betoni.fi

N

Napapiirin Betoni Oy
Jämytie 2, 96910 Rovaniemi
Puh 020 7933 200
www.napapiirinbetoni.fi

P

Pielisen Betoni Oy
www.pielisenbetoni.fi/yhteystiedot/
Keskus 044 3400 800
myynti@pielisenbetoni.fi

Elementtimyynti:
040 3400 130

Ontelolaattamyynti:
040 3400 125

Pielisen Betoni – 50 vuotta laatua ja toimitusvarmuutta.

Tuotevalikoimaamme kuuluu mm. teräsbetoni- ja jännebetonipalkit, pilarit, ontelolaatat, seinät, HTT-ja TT-laatat sekä valmisbetoni. Tehtaamme viidellä eri paikkakunnalla, palvelevat asiakkaitamme valtakunnallisesti. Meidät tunnetaan hyvästä kotimaisesta laadusta sekä toimitusvarmuudesta. Haluamme osaltamme edistää asiakkaiden rakennusprojektien sujuvuutta, kannattavasti ja laadukkaasti. Olemme vahva yhteistyökumppani hiilineutraalin yhteiskunnan rakentamisessa.

Teemme sen, minkä lupaamme.

Potius Oy / Lahden Kestobetoni Oy
Koskelontie 14 A 3, 02920 Espoo
Lakkilantie 2, 15150 Lahti
Puh 050 438 6874
www.potius.fi
www.kestobetoni.fi
myynti@kestobetoni.fi

Tarjoamme:

- Betonielementit
- Rakenne- ja elementtisuunnittelu
- Asennus

R

Rakennusbetoni- ja Elementti Oy
Kukonkankaantie 8 (PL 102), 15870 Hollola
Puh 03 877 200
www.rakennusbetoni.fi
shop.rakennusbetoni.fi

Rudus Oy
Karvaamokuja 2a (PL 42), 00380 Helsinki
Puh 020 447 711
www.rudus.fi
etunimi.sukunimi@rudus.fi

Rudus Oy on kestävien ja laadukkaiden kivipohjaisten rakennusmateriaalien kehittäjä ja toimittaja. Rakentaja saa Rudukselta kaiken tarvitsemansa saman katon alta: betonit, betonituotteet, kiviainekset, Betoroc-murskeen ja betonin kierrätyksen. Useat tuotteet voidaan suunnitella yksilöllisesti asiakkaiden tarpeita vastaaviksi Ruduksen ammattitaitoisen henkilökunnan ja asiakkaan kanssa yhteistyössä.

Tuotevalikoimaamme kuuluu kattava valikoima talo- sekä infrarakentamisen betonituotteita ja -ratkaisuja: julkisivut, portaat, elpo-hormit, tie-, rata-, energia- ja telerakentamisen elementit. Lisäksi valikoimasta löytyy kunnallistekniset putki- ja kaivotuotteet mm. hule- ja jätevesien hallintaan sekä laaja valikoima maisematuotteita: pihakivet ja -laatat, betoniset reunakivet, luonnonkivet, porras- ja muurikivet sekä istutuslaatikot.

Rudus Ämmän Betoni Oy on vahvistanut Ruduksen talonrakentamisen elementtituotantoa vuodesta 2020 alkaen tuotteinaan mm. parvekepielet, parvekkeet, massiivilaatat, sisäkuoret ja väliseinät.

Ruskon Betoni Oy
Piuhatie 15, 90620 Oulu
Puh 020 7933 400
www.ruskonbetoni.fi
etunimi.sukunimi@ruskonbetoni.fi

Ruskon Betoni Oy on valmisbetonin valmistamiseen ja siihen liittyviin palveluihin erikoistunut kotimainen perheyritys ja konserni, joka toimii usealla paikkakunnalla ympäri Suomea. Tytäryhtiömme Ruskon Betoni Etelä Oy tarjoaa valmisbetonia ja siihen liittyviä palveluja Etelä-Suomen, Kaakkois-Suomen ja Varsinais-Suomen alueilla. Ruskon Betoni Etelän Hollolan tuotetehdas on puolestaan erikoistunut betoniputkien ja -kaivojen valmistamiseen.

Vastuullinen kumppanuutemme perustuu suoraviivaiseen ja läpinäkyvään toimintatapaan, lupausten lunastamiseen sekä korkeaan laatuun. Laatu ja toimitusvarmuus ovat koko toimintamme peruspilareita. Ymmärrämme aidosti asiakkaan tarpeen. Toimintamme on kestävää ja kehittävää nyt ja tulevaisuudessa.

Tutustu meihin lisää osoitteissa www.ruskonbetoni.fi, www.ruskonbetonietela.fi ja www.rbinfra.fi

S

Suomen Kovabetoni Oy
www.kovabetoni.fi
myynti@kovabetoni.fi
Tiemestarinkatu 7, 20360 Turku
Elementintie 10, 15550 Nastola

Suutarinen Yhtiöt
SBS Betoni Oy
Sora ja Betoni V. Suutarinen Oy
Vuorilahdentie 7, 52700 Mäntyharju
Puh 0207 940 640
www.suutarinen.fi
etunimi.sukunimi@suutarinen.fi

Elementti- ja valmisbetonitehtaat:

Sora ja Betoni V. Suutarinen Oy
Kangaslammenraitti, 52700 Mäntyharju

SBS Betoni Oy
Tikkalantie 8, 50600 Mikkeli

Sora ja Betoni V. Suutarinen Oy
SBS Betoni Oy, toimitusjohtaja
Juho Suutarinen, juho.suutarinen@suutarinen.fi
Puh 040 740 1532

Tehtaanjohtaja:
Janne Vilve janne.vilve@suutarinen.fi, 040 531 99 35

Valmistamme myös VSS-elementtejä (Puh 0400-653701) ja KIVITASKU-pientaloja.

Swerock Oy
Karvaamokuja, 00380 Helsinki
Puh 0440 111 008
www.swerock.fi
info@swerock.fi

Liedon toimisto
Hyvättyläntie 10 B 5, 21420 Lieto
Puh 02 4845 600
www.swerock.fi

Valmisbetonitehtaita ja toimipisteitä:

Kirkkonummen betonitehdas
Ojangontie 20, 02400 Kirkkonummi
Puh 0290 091 093

Liedon betonitehdas
Pääskyntie 5, 21420 Lieto
Puh 0290 091 092

Lohjan betonitehdas
Pysäkkitie 12, 08680 Muijala
Puh 0290 091 093

Naantalin betonitehdas
Prosessikatu 17, 21100 Naantali
Puh 0290 091 092

Salon betonitehdas
Uitonnummentie 82, 24260 Salo
Puh 0290 091 092

Tampereen betonitehdas
Jalkaharpinkatu 7, 33840 Tampere
Puh 0290 091 094

Voutilan betonitehdas
Tikkurilantie 161, 01740 Vantaa
Puh 0290 091 093

T

TB-Paalu Oy
Betonitie 14, 32830 Riste
Puh 02 5502 300
http://www.jvb.fi
jvb@jvb.fi

Y

YBT Oy
Valimotie 1, 95600 Ylitornio
Puh 0400 93 0400
www.ybt.fi
ybt@ybt.fi

Toimitusjohtaja:
Juha Alapuranen 0400 696 695, juha@ybt.fi
Tuotantopäällikkö:
Pertti Pirttikoski 0400 562 914, pertti@ybt.fi
Elementtiasennus:
Mika Ylitalo 044 3310 163, mika.ylitalo@ybt.fi

Ylitornion toimipisteen lisäksi:

Kuhmon Betoni Oy
Valimontie 11, 88900 Kuhmo
Sirpa Huttunen
Puh 044 2872 801
sirpa@kuhmonbetoni.fi

Ylitornion tehdas: ylitornio@ybt.fi
Kuhmon tehdas: sirpa@kuhmonbetoni.fi

Betoniteollisuus ry:n kannatusjäsenyritysten tuotteet, palvelut ja toimipisteet

A

Anstar Oy
Erstantie 2, 15540 Villähde
Puh 03 872 200
www.anstar.fi
anstar@anstar.fi

B

BAU-MET Oy
Kärsämäentie 72, 20360 Turku
Puh 0207 433 700
www.bau-met.fi
myynti@bau-met.com

C

Celsa Steel Service Oy
Valssaamontie 171, 10410 Åminnefors
Puh 019 22 131
www.celsa-steelservice.com
info.betoniterakset@celsa-steelservice.com

Muut toimipisteet:

Espoo
Juvan teollisuuskatu 19 (PL 24), 02920 Espoo
Puh 019 22 131

Kaarina
Autoilijankatu 30, 20780 Kaarina
Puh. 0400 811 833

Pälkäne
Kankaanmaantie 25, 36600 Pälkäne
Puh 019 221 31

D

Doka Finland Oy
Selintie 542, 03320 Selki
Puh 09 224 2640
www.doka.com
finland@doka.com

Oulun toimipiste
Vesuritie 8, 90820 Haukipudas
Puh 0400 696 425

F

Finnsementti Oy
Skräbbölentie 18, 21600 Parainen
Puh 0201 206 200
www.finnsementti.fi
info@finnsementti.fi
etunimi.sukunimi@finnsementti.fi

Lappeenrannan tehdas
Poikkitie 105, 53500 Lappeenranta
Puh 0201 206 200

Finnsementti on suomalainen sementinvalmistaja. Meillä finnsementtiläisillä on 110-vuoden kokemus sementin valmistuksesta. Olemme jatkuvasti kehittyvä, laajan tuotevalikoiman omaava sementin valmistaja, teollisuudenalan kotimainen työllistäjä ja vaikuttaja. Merkittävä osa Suomen sementintarjonnasta tuotetaan Paraisilla ja Lappeenrannassa sijaitsevilla sementtitehtaillamme. Lisäksi meillä on kuonajauhetehdas ja terminaali Raahessa. Terminaalejamme sijaitsee myös Kirkkonummella, Koverharissa, Maarianhaminassa, Oulussa, Pietarsaaressa, Porissa ja Vaasassa.

Finnsementti on Suomalaisen Työn Liiton jäsenyritys. Sementtimme kotimaisuusaste on noin 90 prosenttia. Valikoimaamme kuuluvat sementin lisäksi myös kuonajauhe, betonin seosaineet ja kivirouheet.

Kuulumme kansainväliseen CRH-konserniin, joka on yksi maailman suurimmista rakennusmateriaaliyrityksistä.

M

Master Builders Solutions Finland Oy
Lyhtytie 3, 11710 Riihimäki
PL 17, 11101 Riihimäki
Puh 010 830 2000
www.master-builders-solutions.fi
tilaukset-riihimaki@masterbuilders.com

Master Chemicals Oy
Kauppiaskatu 9b A6
20100 TURKU
Puh. 020 730 8600
www.master-chemicals.fi

Tarjoamme laadukkaat ja kestävän kehityksen mukaiset pinnoitteet kaikkiin tarpeisiin, sekä betonin suoja-aineet että laadun parantajat.

P

Peikko Finland Oy
Voimakatu 3, 15100 Lahti
Puh 020 707 511
www.peikko.fi
myynti@peikko.fi

Peikko on vuonna 1965 perustettu perheyritys, jonka pääkonttori sijaitsee Lahdessa.

Peikko valmistaa monentyyppisiä betoniliitoksia ja liittopalkkeja elementti- ja paikallavalurakentamiseen. Innovatiiviset ratkaisut tekevät rakentamisesta nopeampaa, tehokkaampaa ja turvallisempaa.

Peikon tavoitteena on tarjota asiakkailleen alan johtavia ratkaisuja, ja siksi Peikko investoi alallaan laajimmin tutkimukseen ja tuotekehitykseen.

Peikko työllistää maailmanlaajuisesti yli 2 000 henkilöä yli 30 maassa.

PERI Suomi Ltd Oy
Hakakalliontie 5, 05460 Hyvinkää
Puh 010 8370 700
info@peri.fi
www.peri.fi

Raudoitteet | Tarvikkeet | Kiinnikkeet

Pintos Oy
Pysäkintie 12, 27510 Eura
www.pintos.fi
pintos@pintos.fi

Muut tehtaat ja toimipisteet:

Rauma
Yrittäjäntie 9,
27230 Lappi

Raisio
Tuotekatu 12
21200 Raisio

Espoon tarvikevarasto
Juvan teollisuuskatu 23,
02920 Espoo

S

Salon Tukituote Oy
Kaskiahonkatu 8, 24280 Salo
Puh 02 731 2415
www.tukituote.fi
tukituote@tukituote.fi

SCHWENK Suomi Oy
Fiskarsinkatu 7 A 2. krs, 20750 Turku
Puh 020 7121 433
www.schwenk.fi

Fabianinkatu 5 LH 40, 00130 Helsinki
Puh 020 7121 430
jussi.thureson@schwenk.fi
www.schwenk.fi

Terminaalit:
Naantali, Satamatie 14, 21100 Naantali
Loviisa, Valkon satama, 07910 Valko
Raahen terminaali, Lapaluoto, FI-92100 Raahe

Tuotteet: sementti, lentotuhka

Semtu Oy
Martinkyläntie 586, 04240 Talma
Puh 09 2747 950
www.semtu.fi
mailbox@semtu.fi

Suomen Betonilattiayhdistys ry
Kuhatie, 02170 Espoo
www.bly.fi
toiminnanjohtaja@bly.fi
Puh. +358(0)400 493 445

Tuote- & palveluosio webissä

www.betoni.com
www.betoniteollisuus.fi/yritykset
www.betoniteollisuus.fi/tuotteet

1 Lahden teatterin syksyn 2024 - slogan on "Rakastu Betoniin".

SUOMALAISTA

110

1914
2024

SEMENTTIÄ

Edelläkävijä vihreässä rakentamisessa

FINNSEMENTTI
A CRH COMPANY

POHJOLAN PARHAITA BETONIELEMENTTEJÄ

ASKELEEN EDELLÄ RAKENTAMISESSA

Betoniluoma

www.betoniluoma.com