Halkeilun hallinta maanvaraisissa betonilattioissa ja pintabetoneissa teräskuitubetonia käyttäen

Jürgen Mandl, Dipl.-Ing., director of fiber division Severstal-metiz group of companies
Martti Matsinen, dipl.ins., toimitusjohtaja PiiMat Oy
martti.matsinen@piimat.fi

Viime aikoina teräskuitubetonin (SFRC) käyttö on lisääntynyt myös kantavissa rakenteissa. Ohjeistus eri maissa etenee ja myös Suomessa on käynnistynyt ohjeen laatiminen. Kansainvälisten standardien ja ohjeiden kehittyminen pohjautuu pitkäaikaisiin kokemuksiin kuitubetonilattioista. Suunnittelu- ja työohjeet on pitkälti laadittu kantavuutta ajatellen tavoitteena saada aikaan saumaton kuitubetonilattia, joka on huoleton ylläpitää ja kestävä. Kantavat rakenteet tuovat tulevaisuudessa omat haasteensa kuitubetonille ja rakennesuunnittelulle mutta myös nykyisten, yksinkertaisempien rakenteiden suunnitteluun tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Pitkäaikaiskestävyyden kannalta erityisesti halkeilun hallinta on tärkeää ja siihen asiaan puutumme tässä artikkelissa.

Aluksi

Kuormituksen kestovaatimukset ovat viime aikoina kasvaneet terminaaleissa, varastoissa ja tuotantotiloissa. Tämä yhdessä pitkin projektia tapahtuvien suunnitelmamuutosten ja uusien detaljien kanssa asettaa kasvavia vaatimuksia lattiarakenteille – ei voida enää napata lattiapaksuuksia ja kuitumääriä suoraan vanhoista prujuista vaan lattiat pitää huolella suunnitella. Lattia on kerralla valmiiksi tuote, sillä lattian korjaaminen väistämättä vaikuttaa tilan muuhun toimintaan enemmän kuin seinien tai kattojen korjaaminen.

Toisaalta on pidettävä huolta, että lattia kestää sille tulevat rasitukset (tästä aiheesta tarkemmin tulevassa artikkelissamme) ja toisaalta yhä enenevässä määrin halkeilun hallinta nousee merkittävään rooliin. Halkeilun hallinta on, paitsi esteettinen kysymys, tärkeää myös lattian muiden ominaisuuksien kannalta kuten pitkäaikaiskestävyys, vesitiiveys, ympäristörasitukset. Tässä artikkelissa kerromme betonilattian käyttäytymismekanismeista sekä keinoista halkeamaleveyksien hallintaan kuitubetonia käyttäen.

Säännöt ja ohjeet

Betonitehtaassa valmistettu teräskuitubetoni on valmisbetonia standardien EN 206 ja SFS 7022 mukaisesti. Perusbetoniin verrattuna teräskuitubetonilla on lisäominaisuuksia, joita määritellään eri maissa annettujen määräysten ja ohjeiden mukaan. Kaikille näille ohjeille on yhteistä se, että ne perustuvat teräskuitubetonin halkeilun jälkeiseen jäännösvetolujuuteen. Eri normeissa tälle käytetään erilaisia termejä: ”kuitubetoniluokka” Saksan betoniyhdistyksen mukaan, “suorituskykyluokka” Saksan DAfStb:n mukaan [3], ”T-” ja ”G-” luokka Itävallan ÖVBB:n mukaan [4] tai ”Re_3-arvo Englannin betoniyhdistyksen TR34:n [5] mukaan. Tätä jäännösvetolujuutta käytetään kuitubetonirakenteiden suunnittelussa. Tässä artikkelissa jäännösvetolujuudelle käytetään merkintää f^f_{ctd} EN1990:n [2] ja EN1992:n [1] mukaisesti. Perusmekanismeja olemme käyneet läpi

1 Pitkäaikaiskestävyys tulee koko ajan tärkeämmäksi tekijäksi lattioiden suunnittelussa. Halkeilun hallinta on merkittävä tapa parantaa pitkäaikaiskestävyyttä. Lattian tulee myös kestää sille tulevat rasitukset.

Artikkelin kuvat: Jürgen Mandl ja Martti Matsinen

1

edellisessä artikkelissamme [7].

Mikäli lattia tehdään kohtuullisen kantavalle maapohjaIle eli ei tarvita paalutusta eikä se kanna muita rakennuksen osia tai jäykistä rakennusta, ei sitä tarvitse suunnitella standardien EN 1990 [2] ja EN 1992 [1] tai niiden kansallisten liitteiden mukaisesti. Usein kuitenkin erityisesti teollisuuslattioissa kuormituskestävyys ja pitkäikäisyys ovat erittäin tärkeitä ja lattiat kannattaa joka tapauksessa suunnitella em. standardien mukaisesti – ottaen huomioon myös rasitusluokat ja halkeilun hallinta.

Lattioiden vaakasuuntaiset rasitukset

Kaikki betonirakenteet kutistuvat. Kutistuminen pienentää betonirakenteen tilavuutta ja aiheuttaa lattiaan vaakasuuntaista liikettä alustaan nähden. Betonilattian ja alustan välinen kitka estää tätä liikettä ja aiheuttaa betonirakenteeseen vetojännityksen, joka puolestaan halkaisee lattian, kun betonin vetokapasiteetti ylittyy.

Kolme pääsyytä betonin kutistumaan sen kovettumisvaiheessa ovat:

1. Kuivumiskutistuma veden haihtuessa betonista kovettumisen aikana. Tähän kutistumaan vaikuttavat tuoreen betonin vesimäärä sekä ympäristöolosuhteet valun ja kovettumisen aikana. Tällaisia tekijöitä ovat mm. kosteus, lämpötila ja tuuli sekä betonin jälkihoito, jolla em. vaikutuksia pyritään vähentämään. Myös laatan paksuus vaikuttaa tämän kutistuman määrään.
2. Autogeeninen kutistuma, joka johtuu sementin ja veden reaktiosta kovettumisen aikana. Tähän kutistumaan vaikuttavat sementin määrä ja laatu sekä edellä mainitut olosuhdetekijät.
3. Betonin hydrataatio aiheuttaa betonirakenteen lämpenemistä (ja laajenemista), joka päättyy suunnilleen siinä vaiheessa, kun betoni on kiinteää, jolloin se alkaa jäähtyä ja kutistua.

Kaikki edellä mainitut voidaan koota kokonaiskutistumaksi ε_{csT} kaavan 1 mukaan.

$$\varepsilon_{cs}\left(t-t_0\right)=\varepsilon_{cas}\left(t\right)+\varepsilon_{cds}\left(t,t_s\right)$$

$$\varepsilon_T=\alpha_T\cdot\Delta_T;\quad \alpha_{T,conc}=10^{-6}\ {}^1\!/_K$$

$$\varepsilon_{cs,T}=\varepsilon_{cs}+\varepsilon_T$$

Kaava 1

Kuten edellä on esitetty, vaikuttaa kokonaiskutistumaan usea eri tekijä. Tyypillisesti kutistumat vaihtelevat taulukon 1 mukaisella alueella.

	min	max
ε_{cas}	-0,001 %	-0,003 %
ε_{cds}	-0,015 %	-0,030 %
ε_T	-0,010 %	-0,035 %
ε_{tot}	**-0,026 %**	**-0,068 %**

Taulukko 1 Tyypilliset kutistuma-arvot

Autogeenista kutistumaa ε_{cas} ja jossain määrin kuivumiskutistumaa ε_{cds} voidaan kompensoida käyttämällä betonimassassa moderneja, kutistumaa vähentäviä lisäaineita. Sen sijaan lämpötilamuutosten aiheuttamaan kutistumaan ε_T näillä ei voida vaikuttaa, mikä usein unohdetaan. Tällaisilla lisäaineilla voidaan siis jonkin verran vähentää kutistumien aiheuttamia ongelmia, muttei täysin poistaa niitä. Merkittävin vaikutus näillä on autogeeniseen kutistumaan, joka on kuitenkin vain pieni osa kokonaiskutistumaa.

Kutistumien aiheuttamaa laatan lyhenemää vastustaa lattian ja alustan välinen kitka f_r, joka riippuu kitkakertoimesta μ sekä pystysuorista kuormista. Mitä korkeampi on kuorma, sitä suurempi on kitka. Halkeilun hallinnan kannalta mitoitettaessa tulee käyttää minimikuormaa, jolloin ollaan varmalla puolella. Kitkakertoimelle on kaksi arvoa: lepokitkakerroin μ_0 juuri ennen kuin kappale lähtee liikkeelle, mikä on korkeampi kuin liikekitkakerroin μ. Halkeilun hallinnassa kokonaisliikkeen voidaan olettaa olevan erittäin pieni, jolloin voidaan käyttää lepokitkakerrointa μ_0. Kirjallisuudessa (esimerkiksi [8]) on annettu tyypillisiä kitkakertoimia eri materiaaleille. Eri lähdeteoksissa kitkakertoimille löytyy hyvinkin erilaisia arvoja ja kitkakertoimien määrittely betonilattian alla voisikin olla hyvä jatkotutkimuksen aihe. Jürgen Mandl on omissa testeissään ja kokemuksiensa pohjalta päätynyt taulukon 2 mukaisiin arvoihin. Arvot voivat heitellä alustan käsittelyn tasosta riippuen.

Betonilattian toimintamekanismi

Laatan reunalla betonilattian kutistumista aiheutuvien jännitysten voidaan olettaa olevan 0. Kitka f_r kasvaa siirryttäessä keskemmälle laatan reunalta. Mitä kauempana vapaasta reunasta tai liikuntasaumalaitteesta ollaan, sitä suurempi on kitkan aiheuttama jännitys. Jollain etäisyydellä reunasta kitka aiheuttama vetojännitys ylittää betonin vetolujuuden ja betoniin syntyy hallitsematon halkeama (kuva 1).

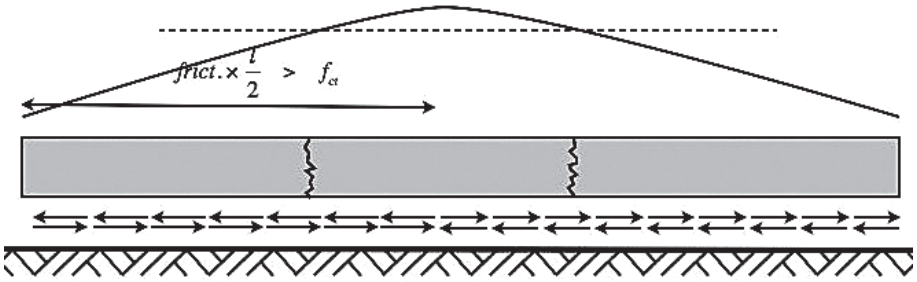
Taulukko 2 Kitkakertoimia tyypillisille betonilattioiden alustoille (J. Mandl)

Kitkakerroin alustan ja betonilaatan välillä	tartunta-laasti	suora kontakti	1-kerros muovikalvo	2-kerros muovikalvo	bitumi
karkea sepeli		1,3	0,9	0,8	0,6
tasaushiekka		0,9	0,6	0,5	0,5
teräshierretty alusbetoni	1,1	1,0	0,9	0,7	0,7
karhea alusbetoni	1,3	1,2	1,0	0,8	0,6
EPS	1,0	0,9	0,7	0,5	0,5

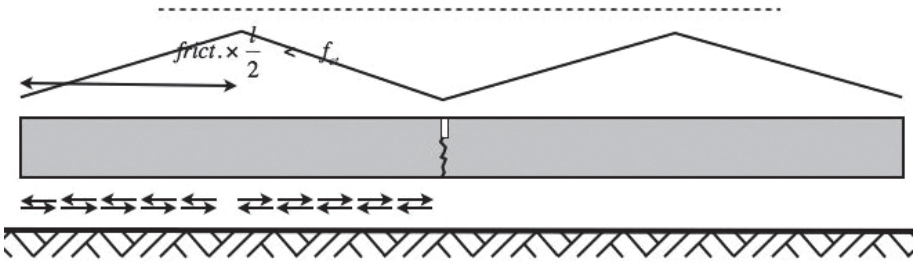
Sahasaumattu lattia

Ns. sahasaumatuissa lattioissa lattia jaetaan sahaamalla pienempiin alueisiin. Sahaamisen ajankohta on lattian toiminnan kannalta oleellisen tärkeää – liian aikainen sahaaminen rikkoo sahauksen reunat, liian myöhäinen sahaaminen on antanut hallitsemattomalle halkeamalle mahdollisuuden syntyä, jolloin laatan käyttäytyminen muuttuu. Tyypillisesti lattia sahataan ruutuihin, joiden sivumitat ovat 6...8 m. Sahausajankohdan lisäksi toinen tärkeä tekijä tällaisen lattian onnistumiselle on mahdollisimman pieni kitka laatan ja alustan välillä, joka aikaansaadaan tyypillisesti kaksinkertaisella muovikalvolla. Tällä pienellä kitkalla varmistetaan, ettei betonin vetojännitys ylity sahasaumoin rajatulla alueella ja kutistuma keskittyy sahasaumaan. Kolmas tapa parantaa sahasaumatun lattian toimintaa on käyttää korkeampilujuuksista betonia, jolloin vetojännitys ei ylity niin nopeasti. Sahasaumatussa lattiassa oletetaan betonin pääsevän vapaasti kutistumaan pienen kitkan ansiosta niin, etteivät sen vetojännitykset ylity sahasaumojen välillä (kuva 2). Kutistumat ja näin myös halkeamat keskittyvät sahasaumaan, joka aukeaa tyypillisesti noin 3...4 mm. Toisaalta tämä huonontaa kuorman siirtoa sauman kohdalla ja sahasaumattu laatta tuleekin mitoittaa ns. reunakuormalle, mikä heikentää sen kantavuutta pistekuormille ja vaatii yleensä paksumman laatan kuin saumattomassa ratkaisussa.

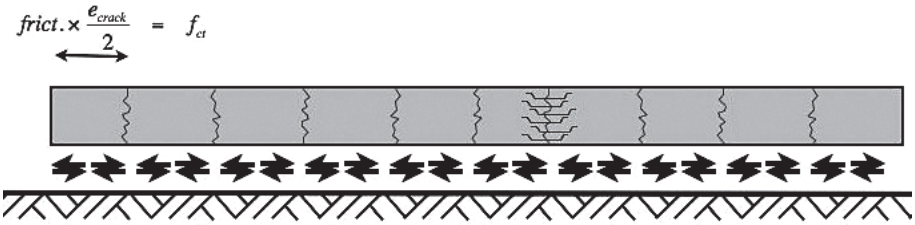
Sahasaumattu ratkaisu sopii erinomaisesti laatoille, joihin kohdistuu suuria vaakavoimia kuten ulkotilojen laatat, joissa talven ja kesän – joskus jopa päivän ja yön – välinen lämpötilaero on suuri ja aiheuttaa suuret jännitykset. Sahasaumatulla ratkaisulla voidaan tuolloin välttää laatan halkeilu. Sen sijaan itse saumoihin tulee kiinnittää huomiota ja täyttää ne pysyvästi joustavalla saumamassalla, joka sallii laatan kutistuman ja laajenemisen. Lisäksi tällainen laatta tulee tyypillisesti tehdä paksumpana, jotta se kantaa samat kuormat kuin ns. saumaton ratkaisu kuormansiirtojen vuoksi.



1 Betonilattian halkeilumekanismi – yhtenäinen viiva kuvaa vetojännitystä, pilkkuviiva betonin vetolujuutta



2 Halkeilun hallintaa sahasaumojen avulla



3 Saumattoman lattian toimintamekanismi – lyhyin välimatkoin hiushalkeilua, joka hallitaan teräskuiduilla

Sisätiloissa sen sijaan ns. saumaton ratkaisu on tällä hetkellä selkeästi sahasaumatta parempi useista syistä.

Saumaton kuitubetonilattia

Korkea kitkakerroin kasvattaa vetojännityksiä ja betonin vetolujuus ylittyy jo lyhyellä matkalla, jolloin halkeamat ovat lähellä toisiaan ja niitä on paljon. Kokonaiskutistuma ei kuitenkaan muutu mikä tarkoittaa sitä, että halkeamat ovat vain kapeita hiushalkeamia. Nämä hiushalkeamat ovat lattian rakenteellisen toiminnan kannalta harmittomia ja lisäksi ne on helppo hallita teräskuitujen avulla (Kuva 3).

Toisin kuin sahasaumatuissa lattioissa suositellaan saumattomiin lattioihin matalampaa betonin lujuutta, mikä edelleen nopeuttaa halkeamien syntyä lyhyin välimatkoin. Mikäli rasitusluokka vaatisi korkeampaa lujuutta, voidaan sitä kompensoida esimerkiksi hyvän kuivasirotteen tai kovabetonipintauksen käytöllä.

On erittäin tärkeää jo suunnitteluvaiheessa päättää millainen lattiatyyppi valitaan, sillä se vaikuttaa sekä valittavaan betonin lujuuteen että alustan käsittelyyn ja luonnollisesti myös mitoitukseen. Valitettavan usein näitä asioita sekoitetaan ja aiheutetaan turhaa halkeilua.

Saumattomissa lattioissa kitka on tärkeä tekijä ja pitkäaikaiset kokemukset osoittavat, että karkea sepeli tai sora ilman tasaushiekkaa on paras alusta (Kuvat 4–6). Tasaushiekka muodostaa kitkaa pienentävän liukukerroksen, joka on haitallinen halkeilumekanismin kannalta.

Tyypillinen ongelma, kun edellä kerrottuja mekanismeja ei huomioida syntyy korkeasti kuormitetuissa varasto- ja terminaalitiloissa. Korkeat hyllyjen jalkakuormat synnyttävät suuren kitkan ja ovat tavallaan Lattian kiinnityspisteitä. Jos näiden välisellä alueella ei ole riittävää kitkaa, kutistuu betoni vapaasti ja käytävän keskelle syntyy halkeama. Jatkossa kutistumat sitten kehittyvät tähän halkeamaan, joka laajenee ja jota trukkiliikenne vielä pahentaa (Kuva 7). Mikäli myös käytäväalueella olisi ollut hyvä kitka, olisi tältä ongelmalta vältytty.

Pintabetonit

Pintabetonit kovettuneen betonin päälle korjausrakentamisessa tai elementtien päälle uudisrakentamisessa toimivat hieman eri lailla halkeilun hallinnan kannalta. Jos ne tehdään eristeen päälle, toimivat ne ikään kuin maanvarainen laatta ja pitää suunnitella edellä esitetyin menetelmin sahasaumattuina tai saumattomina huomioiden pintabetonin ja eristeen välinen kitka.

Yleisempi menetelmä on kuitenkin tehdä pintabetoni suoraan kovettuneen betonin päälle. Tällöin mahdolliset saumat tehdään vain samoihin kohtiin kuin alustan saumat ja muilta osin pintabetonin tulee olla erittäin hyvin kiinni alustassa – suosittelemme aina

4, 5 Kuitubetonivalu karkealle alustalle.

6 Armada-park, Pietari. 77.000m² saumatonta kuitubetonilattiaa.

6

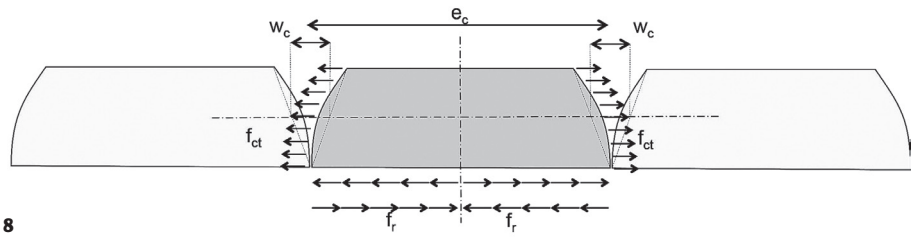
4

5

7

7 Halkeama keskellä varastokäytävää, joka johtuu siitä, että hyllyt "sitovat" laatan ja käytäväalueen kitka ei ole riittävä pitämään kutistumaa pieninä hiushalkeamina.

8 Halkeamavälin laskeminen



8

tartuntalaastin käyttämistä. Pahin tilanne on silloin, jos pintabetoni on osittain kiinni ja osittain irti huonon tartunnan vuoksi.

Halkeamaleveydet

EN1992-1-1 (7.3) [1] antaa rajoja halkeamaleveyksille ja myös uusi Betonilattiaohje [9] on ottanut halkeamaleveyden yhdeksi lattian laatukriteeriksi. Yleensä rajat ovat rasitusluokista riippuen 0,2...0,4 mm mutta rakennuttaja voi kohteen vaatimusten pohjalta antaa myös tiukempia tai lievempiä vaatimuksia. Esimerkiksi käsiteltäessä vaarallisia kemikaaleja tai muita nesteitä, joiden ei haluta valuvan ympäristöön tai jos lattialle on asetettu tiukat vesitiiveysvaatimukset, voi halkeamaleveysvaatimus olla hyvinkin tiukka.

Halkeamaleveys voidaan teoreettisesti laskea kokonaiskutistuman ja halkeamavälin avulla. Siksi on tärkeää tietää halkeamaväli, joka voidaan laskea kuvan 8 pohjalta kaavalla 2.

Kitkan aiheuttaman vetojännityksen ollessa yhtä suuri kuin betonin vetolujuus syntyy halkeama. Koska teräskuitubetonissa kuidut (raudoitus) alkaa toimia välittömästi ensimmäisen hiushalkeaman syntyessä, voidaan Tässä laskelmassa huomioida myös kuitujen vaikutus. Niinpä halkeamaväli voidaan laskea

$$f_r \cdot b \cdot \frac{e_c}{2} = \Delta f_{ct} \cdot b \cdot h$$

$$\Delta f_{ct} = f_{ct} - f_{ctd}^f$$

$$e_c = 2 \cdot \frac{\Delta f_{ct} \cdot h}{f_r}$$

Kaava 2 Halkeamaväli

Halkeamaleveys w_c voidaan nyt laskea halkeamavälin ja kutistumien kautta ottaen huomioon teräskuitubetonin jäännösvetolujuus, joka pienentää halkeamaleveyttä elastisen muodonmuutoksen vuoksi. Tämä elastinen muodonmuutos aiheuttaa aluksi vetoa, joka lyhyen ajan kuluttua vapautuu viruman vaikutuksesta.

$$w_c = e_c \cdot \left[\left(\varepsilon_{cs} \left(t - t_0 \right) - \varepsilon_T \right) - \frac{f_{ctd}^f}{E_{cm}} \right]$$

Kaava 3 Halkeamaleveys

Yhteenveto

Pitkäaikaiskestävyys tulee koko ajan tärkeämmäksi tekijäksi lattioiden suunnittelussa. Halkeilun hallinta on merkittävä tapa parantaa pitkäaikaiskestävyyttä. Jos huolellisesti hyödynnetään tässä artikkelissa esitettyjä teräskuitubetonin toimintamekanismeja ja kohteet suunnitellaan ja toteutetaan niiden mukaisesti, on meillä hyvä, nopea ja edullinen tapa tehdä lattiat ja hallita halkeamien välimatkoja ja leveyksiä. Näin saamme aikaan niitä toivottuja, pitkäikäisiä, kestäviä lattioita. Vaikka teräskuitubetoni on materiaalina vanha, vasta nyt meillä alkaa olla määräyksiä, ohjeita ja kirjallisuutta, joiden pohjalta kuitubetonilattioiden suunnittelu ja toteuttaminen on mahdollista.

KIrjallisuutta

[1] EN 1992-1-1-2004 Eurocode 2 – design of concrete structures – general rules and rules for buildings
[2] EN 1990-2002 Eurocode – basis of structural design
[3] DAfStb-guideline „Stahlfaserbeton"10/2013 amendments and modifications to EN1992-1-1 and EN 206-1 and DIN EN 13670
[4] ÖVBB-guideline „Faserbeton"07/2008
[5] The British Concrete Society - Technical Report TR34 Concrete Industrial Ground Floors, 4th edition 2013
[6] Teräskuitubetonirakenteet, by56 /2011
[7] J. Mandl, M. Matsinen - Teräskuitubetonin käyttäminen kantavissa rakenteissa (statical design of structural concrete applications with steel fiber reinforced concrete) - betoni 1/2014
[8] Lohmeyer / Ebeling "concrete floors for production sites and logistic halls" 2nd release 2008, Verlag Bau + Technik GmbH Germany
[9] Betonilattiaohjeet 2014, by45/BLY-7

Crack management based on fibre reinforced concrete for ground supported concrete floors and concrete toppings

The use of fibre reinforced concrete has increased also in load bearing structures. Guidelines are under preparation in many countries, including Finland, where instructions are to be drawn up by the Finnish Concrete Association. International standards and guidelines are developed based on long-term experience in fibre concrete floors. The design and work instructions are to a great extent drawn up focusing on the load bearing capacity; the aim is a seamless fibre concrete floor that is low-maintenance and durable.

Load bearing structures will in the future involve special challenges in terms of fibre concrete and structural design. More attention should be paid to the design of also current, simpler structures. Crack management, in particular, is important with respect to long-term durability.

Long-term durability has already been emphasised in floor design, and will be emphasised even more in the future. Crack management makes it possible to improve long-term durability significantly. By taking advantage of the functional mechanisms of fibre reinforced concrete, and by designing and implementing projects accordingly, it will be possible to both produce floors quickly and economically, and to manage crack distances and widths.

Although fibre reinforced concrete is an old material, regulations, guidelines and literature are only just beginning to emerge for the design and implementation of fibre concrete floors.