

Vesi-sementtisuhte 100 vuotta

Jouni Punkki

Professori (POP)

Betonitekniikka

Rakennustekniikan laitos, Aalto-yliopisto

jouni.punkki@aalto.fi

Teemu Ojala

DI, Projektityöntekijä

Rakennustekniikan laitos, Aalto-yliopisto

teemu.ojala@aalto.fi

Betonin vesi-sementtisuhte on betonin ylivoimaisesti tärkein laatuparametri. Professori Duff A. Abrams kehitti sen 100 vuotta sitten osana betonisuhteitukseen liittyviä tutkimuksiaan. Kirjallisuudessa on esitetty, että Abrams keksi vesi-sementtisuhteen ja lujuuden riippuvuuden vuonna 1918, mutta varsinainen raportti on julkaistu 1919 (kuva 1). Samainen professori Abrams kehitti myös kaikkien tuntemaan painumakokeen.

Vesi-sementtisuhteen olennaisesta roolista kertoo paljon se, että se on kestänyt 100 vuotta. Se onkin luonnonlaki, jota ei muutu ajan kuluessa. Vesi-sementtisuhte tunnetaan myös Abramsin lakina:

$$F_c = \frac{K_1}{K_2^{w/c}}$$

jossa f_c = betonin puristuslujuus,
 K_1 ja K_2 ovat vakiotermejä ja
 w/c on betonin vesi-sementtisuhte.

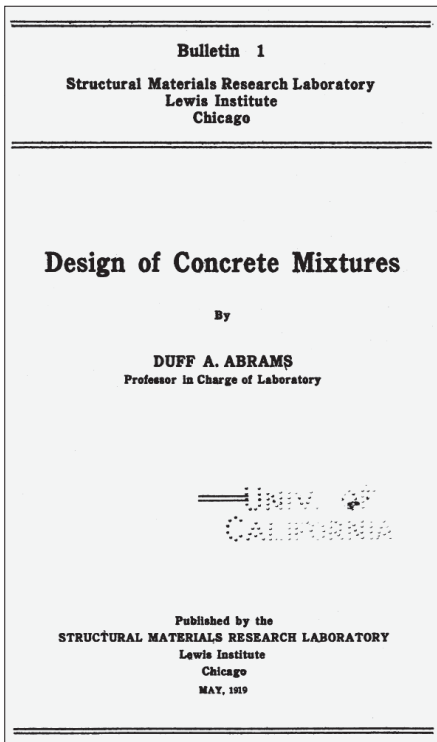
Vesi-sementtisuhte on selvästi tärkein betonin laatuparametri lujuus-, muodonmuutos- sekä säilyvyysominaisuuksien kannalta. Vesi-sementtisuhteen taustalla on sementtipartikkelien keskinäinen etäisyys ja siten muodostuvan sementtikiven huokoisuus. Sementtikiven huokoisuus avautuu itse asiassa paremmin, kun käytämme Abramsin alkupeiräistä muotoa vesi-sementtisuhteesta. Abrams esitti suhteen tilavuusosuuksina (Kuva 2). Siten esimerkiksi vesi-sementtisuhte 0,50 on tilavuusosuuksina noin 1,6, eli vettä on selvästi enemmän

kuin sementtiä. Tilavuutena yhtä paljon sementtiä ja vettä on vasta kun vesi-sementtisuhte on 0,32 ja vesi-sementtisuhteella 0,63 veden määrä tilavuutena on jo kaksinkertainen verrattuna sementin määrään. On helppo ymmärtää, että betonin ominaisuudet muuttuvat olennaisesti vesi-sementtisuhteiden 0,32 ja 0,63 välillä.

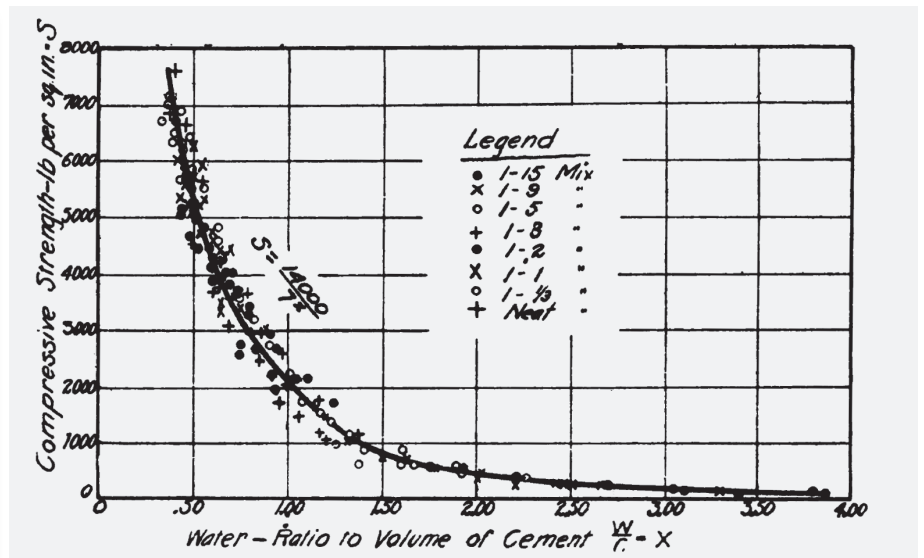
Betonin ominaisuuksien riippuvuus vesi-sementtisuhteesta

Lähes kaikki betonin ominaisuudet riippuvat voimakkaasti vesi-sementtisuhteesta. Muitakin tärkeitä tekijöitä on, esimerkiksi pakkasenkestävyyden osalta olennaista on myös betonin ilmamäärä. Taulukkoon 1 on koottu artikkelin kirjoittajien näkemys betonin eri ominaisuuksien riippuvuudesta vesi-sementtisuhteesta. Vaikutukset on arvioitu tutkimustiedon perusteella ja ovat jossain määrin yksinkertaistettuja. Taulukko ei huomioi iän tai hydraatioasteen vaikutuksia. Kuten taulukosta havaitaan, korrelaatio on yleensä voimakas. Heikoin korrelaatio taulukossa on betonin sulfaatinkestävyyden kanssa.

Vesi-sementtisuhteen voimakas korrelaatio eri ominaisuuksien kanssa on johtanut siihen, että betonin laatua voidaan valvoa puristuslujuuskeskeisesti. Puristuslujuus on rakenteiden turvallisuuden kannalta erittäin tärkeä ominaisuus, mutta vain harvoin puristusjännitykset ovat lähellä betonin puristuslujuutta. Mutta koska puristuslujuuden ja vesi-sementtisuhteen välillä on erittäin voimakas korrelaatio, puristuslujuuden avulla voidaan välillisesti valvoa



1



2

1 Abramsin raportin kansi. Raportti on julkaistu vuonna 1919.

2 Vesi-sementtisuhteen ja puristuslujuuden välinen riippuvuus Abramsin raportissa vuodelta 1919. Kuvassa vesi-sementtisuhde on esitetty tilavuussuhteena. /1/

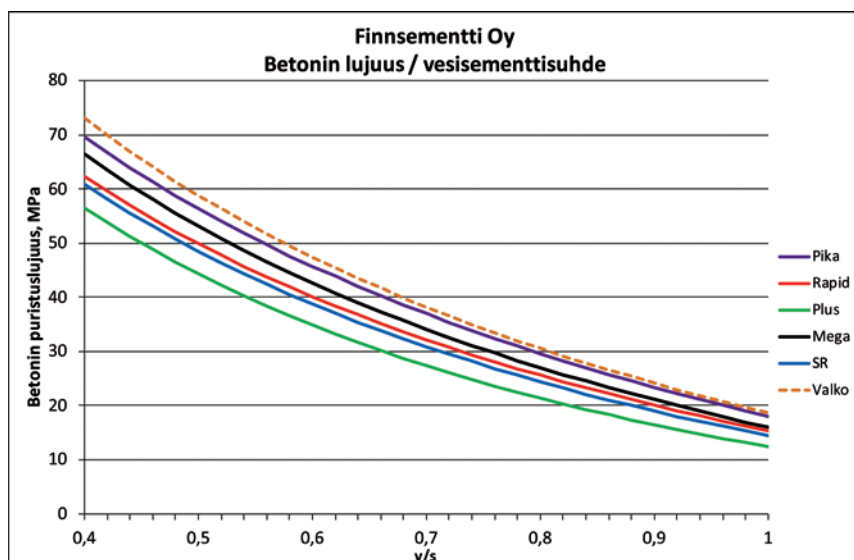
3 Vesi-sementtisuhde vaikuttaa olennaisesti myös betonin työstettävyyteen.

3



Ominaisuus	Korrelaatio v/s-suh- teen kanssa 0...5 1=hyvin heikko 5=erittäin voimakas	Muut vaikuttavat tekijät
Puristuslujuus	4	Kiviaineksen lujuus, sementin lujuus, betonin ilmamäärä
Vetolujuus	4	Kiviaineksen laatu (tartunta)
Kimmomoduuli	3	Sementtipastan määrä, kiviaineksen kimmomoduuli, betonin ilmamäärä
Kutistuma, viruma	3	Sementtipastan määrä, kiviaineksen kimmomoduuli, betonin ilmamäärä
Karbonatisoituminen	4,5	Sementtityyppi, seosaineiden laatu ja määrä, sementin hienous
Pakkaskestävyys	4–	Betonin ilmamäärä
Suola-pakkaskestävyys	4	Betonin ilmamäärä
Kloridien tunkeutuminen	4+	Sementtityyppi, seosaineiden laatu ja määrä
Sulfaatin kestävyys	2	Sementtityyppi, seosaineiden laatu ja määrä

Taulukko 1 Betonin ominaisuuksien välinen korrelaatio vesi-sementtisuhteen kanssa. Korrelaatiot ovat likimääräisiä. Myös tärkeimmät muut vaikuttavat tekijät on esitetty.



4 Finnsementti Oy:n sementtien vesi-sementtisuhteen ja puristuslujuuden välinen riippuvuus. Riippuvuus on esitetty huokostamattomalle betonille.

myös betonin vesi-sementtisuhdetta ja edelleen muita betonin ominaisuuksia. Esimerkiksi jos betonin puristuslujuuden kanssa on ongelmia (kypsyyssaste otettu huomioon), voimme olettaa että ongelmia on myös vesi-sementtisuhteessa tai ilmamäärässä. Ja jos arvioidaan vesi-sementtisuhteen ylittävän vaatimustason, myös betonin säilyvyysominaisuuksissa on todennäköisemmin puutteita.

Vesi-sementtisuhteen ja puristuslujuuden välinen riippuvuus

Vesi-sementtisuhteen ja puristuslujuuden välinen korrelaatio on perinteisesti ollut hyvin voimakas. Viime vuosina korrelaatio on kuitenkin jossain määrin heikentynyt seossementtien laajemman käytön myötä. Sementin sisältämät seosaineet lasketaan mukaan vesi-sementtisuhteeseen, mutta niiden vaikutukset

puristuslujuuteen saattavat olla selvästi poikkeavia verrattuna sementtiklinkkeriin. Siten vesi-sementtisuhteen ja puristuslujuuden välinen suhde on käytännössä sementtilaatu-kohtainen. Kuvassa 4 on esitetty Finnsementti Oy:n valmistamien sementtien vesi-sementtisuhteen ja puristuslujuuden välinen riippuvuus.

Seosaineita käytettäessä myös vesi-sementtisuhteen ja säilyvyysominaisuuksien välinen korrelaatio heikkenee. Seosaineiden tehokkuuskertoimet (k-kerroin) on aikoinaan määritetty lähinnä puristuslujuuden kannalta ja siten vaikutukset betonin säilyvyyteen voivat olla hyvin erilaiset. Esimerkiksi lentotuhkan tehokkuuskerroin kloridiympäristössä tulisi säilyvyyden kannalta olla suurempi kuin 1. Betoniasemalla lisättävien seosaineiden tehokkuuskertoimet aiheuttavat vesi-sementtisuhteen osalta myös

erikoisia piirteitä, yhdellä betonilla voi olla kaksi tai jopa kolme eri vesi-sementtisuhteen arvoa betonin rasitusluokasta riippuen. Eurooppalainen standardointi kohtelee seosaineita hieman eri tavoin riippuen lisätäkö ne sementtitehtaalla vai betoniasemalla.

Betonin säilyvyysuunnittelussa (käyttöikämitoituksessa) on tärkeää, että betonin puristuslujuus ja vaadittu vesi-sementtisuhde ovat sopusoinnissa. Mahdollinen vaadittu alhainen vesi-sementtisuhde antaa automaattisesti myös korkean puristuslujuuden ja tämä tulisi hyödyntää myös rakennesuunnittelussa. Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty tyypillisiä vesi-sementtisuhteen arvoja eri lujuusluokilla ja sementtityypeillä. Taulukkojen arvot sisältävät varmuusmarginaaleja ja siten lujuusluokat ovat hieman korkeampia kuin mitä kuvan 4 riippuvuus edellyttäisi. Paikallavalu- ja elementtirakenteet on eritelty, koska käytetään erilaisia sementtilaatuja.

Vesi-sementtisuhteen määrittäminen betonimassasta

Vaikka vesi-sementtisuhteen rooli on tärkeä, sen määrittäminen tuoreesta tai kovettuneesta betonista on vaikeaa. Suhteitustiedoista vesi-sementtisuhde saadaan helposti laskettua, haasteita tuottaa lähinnä vain kiviainesten vedenimu ja seosaineiden tehokkuuskertoimet.

Mutta betoniasemalla tilanne muuttuu jo huomattavasti hankalammaksi. Merkittävä osa betonimassan vedestä tulee kiviaineksen mukana ja siten jos kiviainesten kosteuspitoisuuksia ei tiedetä tarkkaan, todellinen vesi-se-

Taulukko 2 Paikallavalurakenteiden v/s-suhteen ja lujuusluokkien välinen ohjeellinen yhteys valituilla sideaineilla. Lisäksi on esitetty v/s-suhteiden arvot, jotka saattavat tuottaa ongelmia rakentamisen tai käytön aikana. Taulukko on vain ohjeellinen. /2/

Taulukko 3 Elementtirakenteiden v/s-suhteen ja lujuusluokkien välinen ohjeellinen yhteys valituilla sideaineilla. Lisäksi on esitetty v/s-suhteiden arvot, jotka saattavat tuottaa ongelmia rakentamisen tai käytön aikana. Taulukko on vain ohjeellinen. /2/

Paikallavalurakenteet

Taulukko 2 Paikallavalurakenteiden v/s-suhteen ja lujuusluokkien välinen ohjeellinen yhteys valituilla sideaineilla. Lisäksi on esitetty v/s-suhteiden arvot, jotka saattavat tuottaa ongelmia rakentamisen tai käytön aikana. Taulukko on vain ohjeellinen, eikä sitä voi käyttää esimerkiksi vesi-sementtisuhteen arvioimiseen mitatun puristuslujuuden avulla. Huomioitavaa-sarakkeessa esitetyt kommentit ei voida käyttää arvioitaessa betonirakenteen laatua.

v/s-suhde	Tyypillinen lujuusluokka				Huomioitavaa				
	Huokostamaton betoni		Huokostettu betoni						
	Huokostamaton CEM IIB 42.5 "Plus" tai vast.	Huokostamaton CEM II A 42.5 "Rapid" tai vast.	Huokostettu CEM IIB 42.5 "Plus" tai vast.	Huokostettu CEM II A 42.5 "Rapid" tai vast.	Pumpattavuus	Kulutuskestävyys	Lämmönkehitys	Kutistuma	Kuivuminen
0,35			C40/50	C45/55	1	3	5	6	
0,40	C50/60		C35/45	C40/50	1	3	5	6	
0,45	C40/50	C50/60	C35/45	C35/45	2				
0,50	C35/45	C40/50	C30/37	C30/37					
0,55	C30/37	C35/45	C25/30	C30/37					
0,60	C30/37	C30/37	C25/30	C25/30		4			
0,65	C25/30	C30/37		C25/30		4		7	9
0,70	C25/30	C25/30				4		7	9
0,75		C25/30				4		8	10

■ = v/s-suhteen alue, joka saattaa tuottaa ongelmia

■ = v/s-suhteen alue, joka todennäköisemmin tuottaa ongelmia

- 1: v/s-suhteen ollessa < 0,40 pumpattavuus vaikeaa, harkitse suurempaa v/s-suhdetta.
- 2: v/s-suhteen ollessa < 0,50 pumpattavuus voi tuottaa ongelmia.
- 3: Alhaisilla v/s-suhteilla sirotepinnoitteen teko ei ole mahdollista.
- 4: Korkeilla v/s-suhteilla itse betonin kulutuskestävyys on huono. Kulutuskestävyys hoidettava muilla tavoin.
- 5: Alhaisilla v/s-suhteilla betonin lämmöntuotto saattaa nousta liian korkeaksi.
- 6: Alhaisilla v/s-suhteilla autogeeninen kutistuma saattaa olla ongelmallinen.
- 7: Korkeilla v/s-suhteilla vesimäärä on korkea ja siten kuivumiskutistuma kasvaa. v/s-suhdetta tärkeämpää on pitää vesi- ja sideainemäärät kohtuullisina.
- 8: Riski korkeaan kuivumiskutistumaan.
- 9: Korkeilla v/s-suhteilla betonin kuivuminen hidasta, harkitse tarvittaessa alhaisempaa v/s-suhdetta.
- 10: Riski hitaaseen betonin kuivumiseen.

Elementtirakenteet

Taulukko 3 Elementtirakenteiden v/s-suhteen ja lujuusluokkien välinen ohjeellinen yhteys valituilla sideaineilla. Lisäksi on esitetty v/s-suhteiden arvot, jotka saattavat tuottaa ongelmia rakentamisen aikana. Taulukko on vain ohjeellinen, eikä sitä voi käyttää esimerkiksi vesi-sementtisuhteen arvioimiseen mitatun puristuslujuuden avulla. Huomioitavaa-sarakkeessa esitetyt kommentit ei voida käyttää arvioitaessa betonirakenteen laatua.

v/s-suhde	Tyypillinen lujuusluokka				Huomioitavaa				
	Huokostamaton betoni		Huokostettu betoni						
	Huokostamaton CEM I 52.5 tai CEM II/A-LL "Pika / Rapid" tai vast.	Huokostamaton CEM IIB 42.5 "Plus" tai vast.	Huokostettu CEM I 52.5 tai CEM II/A-LL "Pika / Rapid" tai vast.	Huokostettu, julkisivut CEM II/A-LL "Rapid" tai vast.	Huokostettu, julkisivut CEM I 52.5 Valkosementti	Työstettävyyden	Lujuudenkehitys	Kutistuma	Kuivuminen
0,35	C60/75		C50/60			1		3	
0,40	C55/67	C50/60	C50/60			1		4	
0,45	C45/55	C40/50	C40/50	C35/45				4	
0,50	C40/50	C35/45	C35/45	C30/37	C35/45				
0,55	C35/45	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45				
0,60	C30/37	C30/37	C30/37		C30/37				
0,65	C30/37	C25/30					2	5	6

■ = v/s-suhteen alue, joka saattaa tuottaa ongelmia

■ = v/s-suhteen alue, joka todennäköisemmin tuottaa ongelmia

- 1: Alhaisimmat v/s-suhteet saattavat olla ongelmallisia betonin työstettävyyden kannalta.
- 2: Korkeilla v/s-suhteilla alkulujuuksien kanssa saattaa tulla ongelmia.
- 3: Alhaisilla v/s-suhteilla autogeeninen kutistuma tuottaa todennäköisesti ongelmia (halkeilu).
- 4: Alhaisilla v/s-suhteilla autogeeninen kutistuma saattaa tuottaa todennäköisesti ongelmia (halkeilu).
- 5: Korkeilla v/s-suhteilla vesimäärä on korkea ja siten kuivumiskutistuma kasvaa. v/s-suhdetta tärkeämpää on pitää vesi- ja sideainemäärät kohtuullisina.
- 6: Korkeilla v/s-suhteilla betonin kuivuminen hidasta, harkitse tarvittaessa alhaisempaa v/s-suhdetta.

menttisuhde ei myöskään ole tiedossa. Karkeiden kiviainesten kosteuspitoisuus vaihtelee kohtuullisen vähän ja ongelmaa aiheuttaakin lähinnä hienot kiviainekset. Kiviaineksen kosteutta mitataan yleisesti noin kerran päivässä ja tällöin nopeat vaihtelut kosteuspitoisuudessa jäävät havaitsematta. Esimerkiksi 1%-yksikön virhe hienon kiviaineksen kosteuspitoisuudessa aiheuttaa lähes 10 dm³/m³ virheen betonin vesimäärään. Vesi-sementtisuhteessa vastaava virhe olisi ±0,02...0,03. Betoniaseman ohjausjärjestelmä ja/tai betonimyllyläri pyrkivät korjaamaan tällaisia virheitä notkeuden kautta, aiheuttaahan kiviaineksen kosteuspitoisuuden muutos muutoksen myös betonin notkuteen. Käytännössä vesi-sementtisuhteen vaihteluita ei voida välttää ja todellinen vesi-sementtisuhde ei ole tarkkaan tiedossa.

Tuoreesta betonista vesi-sementtisuhteen määrittäminen on haastavaa, eikä standardoituja menetelmiä ole käytössä. Määrittäminen tehdään yleensä lämmittämällä betoninäytettä esimerkiksi mikroaaltouunissa niin, että vesi haihtuu näytteestä. Oletettavasti osa vedestä reagoi kemiallisesti sementin kanssa betonin sekoittamisen ja kuivatuksen yhteydessä. Tämä osuus on kuitenkin varsin pieni, 2...4%, ja se voidaan selvittää etukäteen sementtikohdisteisesti /3/. Tärkeää kokeessa on betoninäytteen edustavuus, pienikin virhe sementtipastan osuudessa aiheuttaa selkeän virheen mitattuun vesimäärään.

Markkinoille on tullut myös menetelmiä, jotka mittaavat vesimäärää betoninäytteestä



5 SONO-WZ laitteisto tuoreen betonin vesimäärän mittaamiseen.

digitaalisesti. Mittausmenetelmät perustuvat yleensä ääniaaltojen tai sähkömagneettisen pulssin mittaamiseen, kun ne kulkeutuvat tutkitun materiaalin läpi. Äänen lisäksi kiviaineksen kosteuspitoisuutta voidaan mitata myös optisesti perustuen näytteen heijastavuuteen. Osa näistä mittauslaitteista voidaan asentaa suoraan betonisekoittimeen tai raaka-aineita kuljettavalle liukuhihnalle. Osa on taas kehitetty helposti siirrettäviksi, jolloin mittaminen onnistuu vaivattomasti myös työmaalla. Aalto-yliopistossa tutkitaan muun muassa IMKO:n kehittämää, helposti mukana kulkevaa SONO-WZ-mittauslaitetta (Kuva 5), jonka avulla voidaan määrittää tuoreen betonin vesimäärä vain muutamassa minuutissa. Mittaamiseen tarvitaan vain itse mittauslaitteen lisäksi astia, joka täytetään tutkittavalla betoninäytteellä.

SONO:n mittaustekniikka perustuu sähkömagneettisen aallon vaimentumiseen ja heijastuneen pulssin voimakkuuden mittaamiseen. Samanlaista toimintaperiaatetta on hyödynnetty jo pitkään muun muassa kaapelitutkissa. SONO käyttää vedenmäärän mittaamiseen paranneltua tutkamenetelmää, jota kutsutaan TRIME®(Time Domain Reflectometry with Intelligent Elements)-menetelmäksi. Tällöin pulssin viivettä mitataan tietyillä jännitearvoilla sen sijaan, että mitattaisiin pulssin jännitettä valmiiksi annetuilla aikaväleillä. Lisäksi TRIME®-menetelmä mahdollistaa yksinkertaisempien elektronisten komponenttien käytön ja pienemmän virran kulutuksen.

SONO:ssa jännitepulssin annetaan kulkea anturia pitkin noin 15 cm matkan suuntaansa, minkä jälkeen laite mittaa heijastuneen pulssin amplitudin ja kulkeutumiseen käytetyn ajan. Aikaeroksi näin lyhyessä anturissa tulee vain muutamia nanosekunteja, joka on aikaisemmin rajoittanut teknologian hyödyntämistä varsinkin pienikokoisissa antureissa. Mittaamisen haastavuutta kuvaa myös se, että pelkän veden

ja kuivan maaperän välillä sähkömagneettisen aallon käyttämä aikaero 30 cm matkalla on vain noin 8 nanosekuntia. Lisäksi jännitepulssin nopeuteen vaikuttaa mitattavan materiaalin ilmamäärä, jonka takia huokostetussa betonissa mitataan korkeampia vesimääriä. Tästä syystä mittausjärjestelmien olisi hyvä jakaa tietoa keskenään mittaustarkkuuden parantamiseksi.

Vesi-sementtisuhteen mittaamiseksi suoraan sekoittimessa on myös olemassa automaattisia mittausmenetelmiä, joiden käyttö ei ole kuitenkaan vielä yleistynyt. Esimerkiksi samalla TRIME®-menetelmällä voidaan mitata veden määrää suoraan betonisekoittimesta. Tällöin voitaisiin varmistua myös riittävästä materiaalien sekoittumisesta sekoituksen aikana. TDR-menetelmän lisäksi markkinoilla on saatavilla mikroaaltoihin perustuvia mittauslaitteita, jotka voidaan samaan tapaan asentaa joko suoraan sekoittimeen, raaka-aineita kuljettavalle liukuhihnalle tai niiden annostelijalle. Toisin kuin optisissa mittauslaitteissa, näihin tekniikoihin perustuvat mittauslaitteet altistuvat suurelle rasitukselle. Tämä asettaakin lisävaatimuksia antureiden kulutuskestävyydelle ja huollettavuudelle.

Vesi-sementtisuhteen määrittäminen kovettuneesta betonista

Jos vesi-sementtisuhteen määrittäminen tuoreesta betonista on vaikeaa, on se vielä hankalampaa kovettuneesta betonista. Kuivatettaessa kovettunutta betoninäytettä haihtuvan veden määrä riippuu alkuperäisestä vedenmäärästä, sementin hydrataatioasteesta sekä betonin kosteustilasta. Siten kuivatamalla on hyvin vaikea päästä kiinni betonin vesi-sementtisuhteeseen. Käytännössä vesi-sementtisuhteen määrittäminen tehdään vertailunäytteiden avulla. Valmistetaan tietyllä sementtilaadulla betoneita eri vesi-sementtisuhteen arvolla ja valmistetaan betoneista vertailunäytteet. Tutkittavana ole-

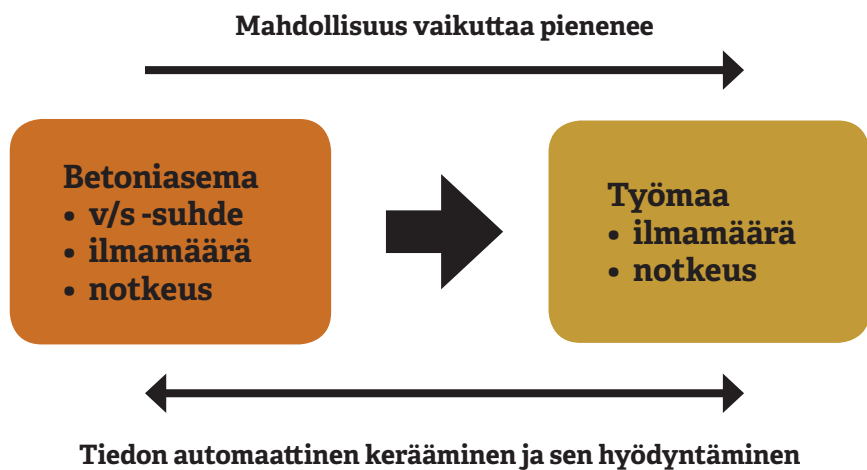
vasta betonista voidaan valmistaa ohuthie ja sitä verrataan vertailunäytteiden ohuthieisiin. Muun muassa sementtikiven värin perusteella voidaan arvioida tutkittavan betonin vesi-sementtisuhdetta. Tarkkuus ei kuitenkaan ole kovin hyvä ja vertailunäytteiden sideainekoostumus tulee olla sama kuin tutkittavassa näytteessä. Sementtien sisältämät seosaineet hankaloittavat vertailua.

Vastaava vertailu voidaan tehdä myös kapillaarisen vedenimukokeen avulla. Vedenimukokeessa saadaan mitattua betonin huokoisuus sisältäen kapillaarihuokoisuuden ja osan geelihuokosista. Huokoisuus on kuitenkin riippuvainen sekä sementtikiven tilavuusosuudesta että sen laadusta (vesi-sementtisuhteesta) ja siten pelkästään huokoisuuden avulla on vaikea arvioida vesi-sementtisuhdetta. Kokeessa määritetty kapillaarisen vedenimun kulmakerroin korreloi kuitenkin voimakkaasti vesi-sementtisuhteen kanssa [4]. Vertaamalla tutkittavan betonin kulmakerrointa vertailubetoneiden arvoihin, voidaan arvioida betonin vesi-sementtisuhte. Menetelmän tarkkuutta tutkitaan parhaillaan Aalto-yliopistossa.

Vesi-sementtisuhteen määrittäminen tulevaisuudessa

Jotta pystyttäisiin olemaan riittävän varmoja betonin ominaisuuksista sen kovettuessa, tulisi jokaisen annoksen vesi-sementtisuhte olla tiedossa. Siten mittaamisen on tulisi perustua automaattiseen mittausmenetelmään, jonka avulla voitaisiin monitoroida betonin vesi-sementtisuhdetta reaaliaikaisesti.

Jatkuva mittaminen on yksi automaattisen laadunvalvonnan merkittävistä eduista. Näin päästään kiinni vaihteluihin ja mitattua tietoa pystytään hyödyntämään jo betonimassan valmistuksen aikana ja betonimassaa voidaan korjata. Käytännössä vesi-sementtisuhteen vaihtelut pienenevät ja betonin lujuusmarginaaleja



6 Automaattisen mittaamisen vaikutukset valmisbetonin tuotannossa. Teemu Ojalan väitöskirjaprojekti Aalto-yliopistossa keskittyy kuvassa esitettyjen betonien ominaisuuksien automaattiseen mittaamiseen.

voidaan vastaavasti alentaa. Tämä parantaisi laatutasoa ja lisäksi saavutettaisiin säästöjä betonin materiaalikustannuksissa.

Tulevaisuudessa laadunvalvontaa tuleekin kohdentaa entistä enemmän betonituotannon alkuvaiheeseen, jolloin lopputuotteen laadunarviointi jäisi vähemmän tarpeelliseksi. Tavoitteena on tärkeimpien betonin ominaisuuksien määrittäminen automaattisesti jokaisesta annoksesta betoniasemalla sekä jokaisesta kuormasta työmaalla. Tällaisia betonin ominaisuuksia ovat betonin vesi-sementtisuhde, notkeus sekä ilmamäärä. Joitakin manuaalisia pistokokeita tarvitaan varmaan jatkossakin. Laadunvarmistuksen tavoitteena olisi kuitenkin se, että pystytään olemaan riittävän varmoja betonin laadusta jo ennen betonin valua. Työmaalla voitaisiin tehdä varmistavia toimenpiteitä, joilla voitaisiin taata betonin vastaavan tilatun betonin ominaisuuksia.

Betonin automaattinen mittaaminen helpottaa huomattavasti tiedonkulkua tuotantoketjussa. Tämän seurauksena eri osapuolten, kuten betonivalmistajan ja urakoitsijan välinen tiedonsiirto ja avoimuus parantuisivat. Näin tuotannosta saataisiin samalla läpinäkyvämpää. Digitaaliset mittaustulokset arkistoituisivat vaivattomasti, jolloin kaikkien betonikuormien tiedot olisivat helposti löydettävissä ja tarkistettavissa. Automaattinen laadunvalvonta mahdollistaa myös erilaiset hälytykset. Esimerkiksi työmaalla havaitusta raja-arvoa korkeammasta ilmamäärästä voisi lähteä hälytys betonin valmistajalle ja urakoitsijalle sekä tarvittaessa myös kohteen tilaajalle.

Yhteenveto

Professori Duff A. Abrams kehitti vesi-sementtisuhteen jo 100 vuotta sitten. Vesi-sementtisuhde ei ole menettänyt merkitystään kuluneen 100 vuoden aikana, paremminkin päinvastoin. Vesi-sementtisuhde on edelleenkin tärkein beto-

nin laatuparametri ja se vaikuttaa merkittävästi lähes kaikkiin betonin lujuus-, muodonmuutos- ja säilyvyysominaisuuksiin.

Tärkeästä roolistaan huolimatta vesi-sementtisuhteen määrittäminen on vaikeaa. Laskennallisesti se voidaan helposti määrittää, mutta vesi-sementtisuhteen todentaminen betonista on huomattavan vaikeaa. Vaikeus pätee sekä tuoreeseen että kovettuneeseen betoniin. Käytännössä betonin vesi-sementtisuhde vaihtelee, emmekä todellisuudessa tiedä sen tarkkaa arvoa. Vesi-sementtisuhteen vaihtelu lisää tarvittavaa betonin lujuusmarginaalia ja aiheuttaa lisäkustannuksia.

Tulevaisuudessa betonin vesi-sementtisuhde sekä muut betonin perusominaisuudet tulee mitata automaattisesti ja mahdollisimman aikaisessa vaiheessa valmistusprosessissa. Näin vaihtelut voidaan korjata ja betonin laatuvarmuita voidaan vähentää. Tavoitteena onkin betonin vesi-sementtisuhteen, notkeuden ja ilmamäärän automaattinen määrittäminen jokaisesta annoksesta betoniasemalla. Lisäksi betonin notkeus ja ilmamäärä tulee määrittää automaattisesti joka kuormasta työmaalla.

Kirjallisuus:

1. Abrams, D. A. Design of Concrete Mixtures. Bulletin 1. Structural Materials Research Laboratory. Lewis Institute. Chicago. 1919.
2. By68. Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu – Opas suunnittelijoille 2016. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki. 2016.
3. Heiskanen, K. Betonin vesisementtisuhteen määrittäminen mikroaaltojen avulla. Opinnäytetyö. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu, Rakennusosasto. 2004.
4. Smeplass, S. Kapillærabsorpsjon som kvalitetskriterium. SINTEF Report STF65 A88028. Trondheim. 1988.

Water-cement ratio is the most important quality parameter of concrete

Professor Duff A. Abrams invented the concept of water-cement ratio quite exactly 100 years ago. Water-cement ratio is still the most important quality parameter of concrete, it affects strength, deformation and durability properties of concrete. Originally prof. Abrams used volume shares in calculation of water-cement ratio, but today we are using weight shares. The more extensive use of blended cements causes some variation on the relationship between water-cement ratio and compressive strength and therefore the relationship is needed to present on the basis of cement type.

In addition to compressive strength, basically all the concrete properties are dependent on the water-cement ratio. This enables to use compressive strength of concrete as general indicator of the concrete quality. Defects in compressive strength often indicate problems in water-cement ratio and therefore also in other concrete qualities. In spite of its obvious importance, water-cement ratio is difficult to determine from fresh or hardened concrete. It can be calculated from the mix design of concrete assuming that the moisture content of aggregate is known. In practice we don't know the exact moisture content and therefore also the actual water-cement is not exactly known.

In future, water-cement ratio is needed to measure automatically from each concrete batch. The same goes for the consistency and air content of concrete. With automated measuring systems the variation of concrete can be reduced and also the strength margins can be lowered. Development activities are needed to get automated quality control as standard use.