

Kuidas toimivad betoonis kasutatavad hüdrofobiseerivad lisaained?

Vee tõkestamine betoonkonstruktsioonides on levinud probleem. Seepärast on tänavu Betooniühingu üliõpilaspreemiaga tunnustatud Tallinna Tehnikakõrgkoolis valminud uurimistöö teema Eestis väga aktuaalne.

SIIM ÕUNLOO

Tallinna Tehnikakõrgkooli vilistlane
ehitaja@aripaev.ee

Uurimistöö raames läbi viidud katsetes on kasutatud kaubabetooni tootjate poolt enim kasutatavaid hüdrosileerivaid lisaaineid. Uurimistöö sisaldab infot lisaainete mõjust betooni omadustele, mis on oluline nende kasutamiseks betoonisegus. Teiseks kontrolliti lisaainete tootelehtedel lubatud mõjusid Eestis kasutatavate kohalike täitematerjalide ja Kunda portland-komposiitsemendiga toodetud betoonidel. Lisaainete üheks omaduseks on suurendada betooni veepidavust, mida kontrolliti standardiseeritud katsega. Teiseks omaduseks on kinni kasvatada betoonis tekkivad kuni 0,4 mm laiused praod, mis nõudis pragude tekitamiseks lahenduse väljatöötamist. Koostöös lisaainete esindajatega valmis katseplaani, mille eesmärgiks oli välja selgitada betooni hüdrofobiseerivate lisaainete toimeefekt.

Lisandite mõju betoonis

Kristalsed lisandid on sünteetiliselt tsemendipõhised materjalid, mis koosnevad reageerivatest ränidioksiididest ja teistest kristalsetest katalüsaatoritest. Reageerivad komponendid reageerivad kaltsiumhüdroksiidiga, moodustades kristalseidprodukte, mis sulgevad poore ja täidavad betooni pragusid. Kristalsed ained saavad tekkida ainult küllaldase niiskuse olemasolul. Prague täitumisel toimub kaltsiumkarbonaadi sadestumine pragude suudmesse (joonis 1), mis on optimaalne kaltsiumi ja karbonaadi ionide koos eksisteerimiseks. Kristalsete lisaainetega vabastatakse rohkem kaltsiumi ioone kui ilma lisandita betoonis. Peale selle soodustab lisaainete kõrge pH-tase kaltsiumkarbonaadi sadestumist. [1]

Betooni autogeenne tihenemine

Kasutatud kirjandusele toetudes on teada, et betoonile endale on omane iseparanemisvõime. Betoonis kasutatava tsemendi reageerimisel veega tekivad valdavalt mikroskoopilised uusühendid, mille juurdekasv põhjustab tugevuse kasvu ehk kivistumist. Seitsmepäevasele betoonil on reageerimata tsemendiosakesi rohkem kui vanemal. Selle potentsiaal "iseparanemiseks" ehk pragude ja defektide kinnikasvamiseks on seetõttu suurem.

Kivistumise käigus tekkivad uusmoodustised peaksid suutma kinni kasvatada vaid mikropraod, mille laius ulatub kuni 0,15 mm-ni. [2]

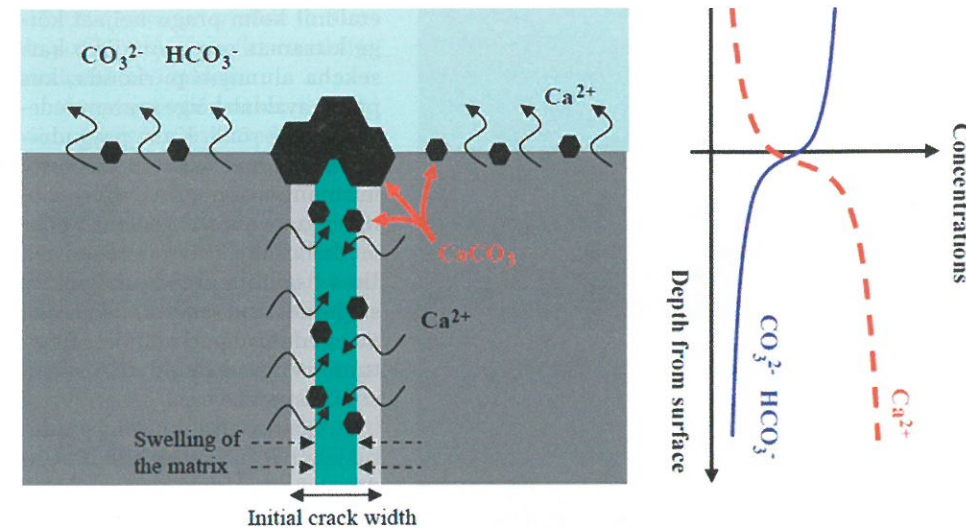
Standardiseeritud katsed

Kontrollimaks lisaainete omadust suurendada betooni veepidavust viidi läbi alljärgnevad standardiseeritud katsed paralleelselt etalonbetoonist ja lisandiga valmistatud katsekehadel [3].

- ✗ Vee sissetungimise sügavuse määramine: EVS-EN 12390-8:2002. "Kivistunud betooni katsetamine. Osa 8: Surve all oleva vee sissetungimissügavus"
- ✗ Veepidavuse määramine: Kontrollitakse veepidavust GOST 12730.5-84 järgi kuni veerõhu 2,0 MPa astmeni, mis vastab klassi W20 nõuetele. Betooni veepidavuse määramisel tõsteti veerõhku astmeliselt, kusjuures iga veerõhu astme 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 ja 2,0 MPa juures hoiti silindrid 16 tundi.

Standardiseerimata meetodiga läbi viidud katsed

Tavalises ehituspraktikas püütakse hoiduda betooni tekkivatest pragudest, antud töös aga oli tegemist vastupidise argumentiga. Tuli välja mõelda lahendus



Joonis 1. Skemaatiline illustratsioon kaltsiumkarbonaadi sadestumisest [1]

kuni toimiva teostuseni, mis võimaldaks katsekehadesse tekitada omavahel võrreldavate tunnustega kontrollitud pragusid. Nende paiknemise loogikas lähtuti veereservuaaride seintesse tekkivate pragude iseloomust, millest tulevalt paiknevad praod katsekeha seintes vertikaalselt. Vertikaalse praod saamiseks tuli ankrud paigaldada proovikeha ülaservast 75 ja 135 mm kaugusele. Need ei saanud olla ülemisele servale liiga lähedal, kuna ülemine ankur tekitas proovikeha servas sedavõrd suured tõmbepinged, põhjustades ankru ja sellest ülespoole jäävas osas pragudega kolmnurkse fragmendi väljalõike. Ankrutele puuriti 1/2 seina paksusest augud. Sisselõiked praod kergemaks avanemiseks ja suuna andmiseks on tehtud ratsionaalsetel kaalutlustel 30 mm sügavuselt.

Katsekehade kogus ja katsetamine

Vee sissetungimise sügavuse EVS-ENi-järgseks katseks valmistati iga lisandi ja etaloniga kaheksa katsekeha, milleks olid kuubid servapikkusega 150 mm. Esimehe katseseeria nelja kuubiga viidi läbi 30 ja teine katseseeria ehk pikema säilitusajaga 86 päeva vanuselt. Pikema säilitusajaga kat-

sekehade eesmärk oli tõestada või ümber lükata lisandite omadust betooni veekindlust lühema katseseeriaga võrrelduna. Katsekehi hoiti kuni katsetamiseni vees, mis peaks soodustama lisandite toimet. GOSTi-järgseks katseks valmistati iga lisandi ja etaloniga 12 katsekeha, milleks olid silindrid läbimõõdu ja kõrgusega 150 mm.

Lisandite autogeense paranemise väljaselgitamiseks kuni 0,4 mm laiuste pragude juures valmistati iga lisandi ja etaloniga kuus katsekeha. Kolmele katsekehale kuuest tekitati praod seitsme päeva vanuselt ja ülejäänud kolmele 28päevaselt. Katsekehade vanuse määramisel sai aluseks võetud standardised vanused kivistunud betooni katsetamiseks. Prague paranemist protokolliti kord nädalas, muutused märgiti tabelisse, kus on info pragude vanusest nende ülevaatusel, märgi toimunud muutustest, täielikult kinnikasvanud ja uuesti avanenud ning ebaõnnestunud pragudest. Ülevaatusel käigus puhastati pragude välispinnad kuhjunud kristallist metallist joonlauaga. Kogunenud kristalli eemaldamise eesmärgiks oli identifitseerida praod sulgumine. Katse käigus puudus veel ülevaade kristalli sadestumisest praod suudme välispinnale, mis põhjustab praod



Foto 1. Katsekeha tekitatud pragude ja mõõtudega

sulgumist. Prague sulgumine välispinnale sadestunud kristalli teel selgus uurimistöö koostamise käigus.

Täitematerjali uuriti mikroskoobi all

Pragudes moodustunud täitematerjali uuriti Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudi elektronmikroskoopia (SEM) laboris. SEM on skaneeriv elektronmikroskoop, mis võimaldab vaadelda, pildistada ja analüüsida mikroskoopilisi objekte suurusega 0,001...1 mm [4].

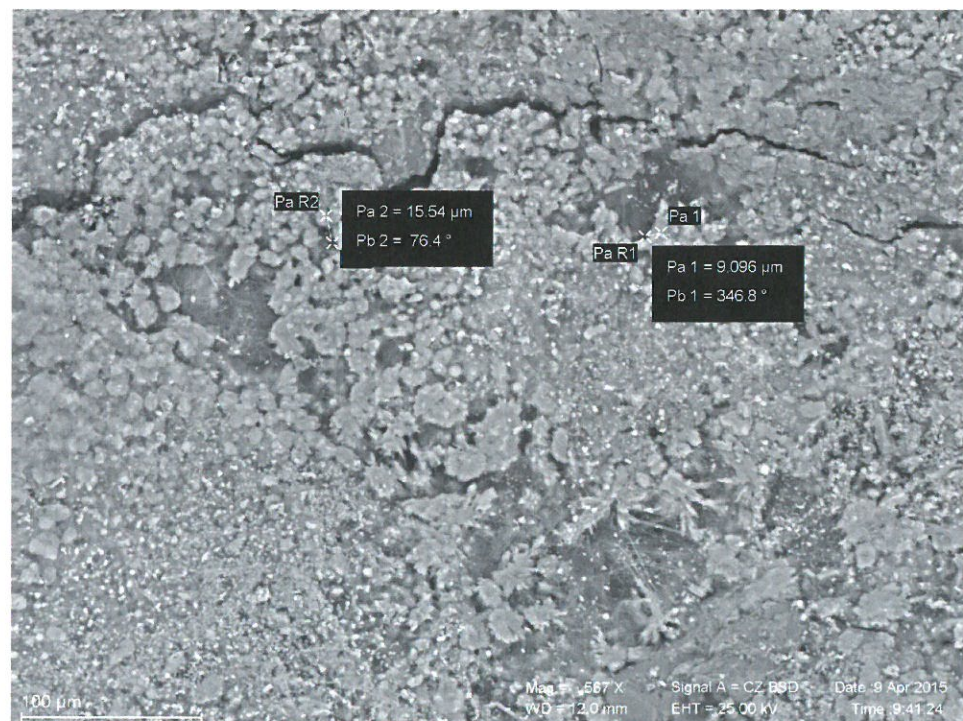
Elektronmikroskoobiaga õnnestus pildistada pragude seintele



Standardsete katsetena läbi viidud veepidavuskatsed

tõestasid lisandite omadust muuta betoon pikemaajalisel vees kivistumisel vettpidavamaks.

moodustunud kristallstruktuuri, kuid tulemuste hindamiseks jäid need uduseks (foto 2). Paremaks suurenduseks ja teravuse andmiseks tuli proovikehad kullata. Proovikeha kuldamine siiski tulemust ei andnud. Eelnevalt läbiviidud



katsed sai teostada madalvaakumis, kuid üle kullatud proovikeha nõuab SEMi kasutamist kõrgvaakumrežiimis, mida ei saavutata tõenäoliselt betooni suure poorsuse tõttu.

Millised olid katsete tulemused?

EVS-ENi- ja GOSTi-järgses katses ühelgi katsekeha pealispinnal märga laiku ei esinenud. Sissetunginud veepiiri mõõtmiseks katsekehad lõhestati. EVS-ENi kohaselt määratud vee sissetungimise sügavused vastasid ehitistes paigaldatavatele betooni veepidavuse nõudele. Vee sissetungimissügavused ei ületanud 100 millimeetrit.

Seitsmepäevaselt tekitatud pragude kinnikasvamist jälgiti 89 päeva jooksul. Kogunenud tulemuste põhjal saab katse jagada tinglikult kolme staadiumi. Esiteks algstaadium, kus pragude sulgumisel ei toimunud suuri muutusi. Algstaadium kestis pärast pragude tekitamist seitsme päeva vanustesse katsekehadesse kuni 22 päeva. Teine etapp on intensiivne ehk keskstaadium. Selles staadiumis toimus vee läbijooksu peatumine pragudes

ja kõige aktiivsem pragude sulgumine. Vee läbijooksu peatumise all on mõeldud vee nõretava läbivoolu peatumist läbi prao, kuid prao pind on endiselt märg. Pragude keskstaadium kestis alates 23. kuni 61. päevani. Pärast intensiivse perioodi lõppu, kui praod on vanuses 62 kuni 89 päeva, on tegemist lõppstaadiumiga. Siin ei toimu pragude sildamise juures enam märgatavaid

Tulemustest järeldades võib väita, et lisandite 1 ja 2 kasutamisel on võimalik betooni autogeenne paranemine.

muutus.

Etaloni ja lisandiga praod töötavad esmapilgul ühtemoodi. On selgelt eristuv kolm staadiumi nii etaloni kui ka lisanditega katsekehadel. Enne katse lõppu oleks olnud keeruline lisanditega pragusid etaloni omadest eristada. Erinevus etaloni ja lisandiga katsekehade vahel tuli välja alles 81. päeval. Selles vanuses avanes

etalonil kolm pragu neljast kõige kitsamas osas, mis jääb katsekeha alumisse piirkonda, kus praole avaldub kõige suurem vedelikusamba rõhk. Kuna pragudes sadestunud kristalli tunnuste uurimine ebaõnnestus, võib etaloni pragude uuesti avanemist põhjendada subjektiivsetel oletustel. Ilma lisandita praod esialgu küll sulguvad, kuid sadestunud kristall pole sedavõrd püsiv, millest tingituna kaotavad praod aja jooksul oma vastupidavuse.

28päevaselt tekitatud pragusid jälgiti 85 päeva jooksul. Pragude sulgumisel toimusid terve katse jooksul väiksemad muutused. Ei esinenud ühegi prao täielikku sulgumist. Kui seitsmepäevaselt tekitatud pragudes oli 25. päevaks vee läbijooksu peatunud, siis 28päevastes toimus vee läbijooksu peatumine katsel vaid vähestes pragudes. Hälve etaloni ja lisandiga katsekehade vahel jäi kahe prao piiresse, mille põhjal lisandite toimes erinevusi järeldada on ennatlik. Muutusi pragude kinnikasvamisel oli märgata kuni 0,2 mm laiuste pragude puhul. Laiemate pragude korral märkimisväärsed muutusi ei toimunud.

28päevaselt tekitatud pragudes ei esinenud kaltsiumkarbonaadi sedavõrd aktiivselt kristallisatsiooni kui seitsmepäevastes. Betooni kivinemise käigus on esialgses hüdratatsiooniprotsessis reageerimata jäänud tsemendiosakesed 28. päevaks suuremal hulgal aktiveerunud. Tulemuseks on lisandite toimet pärssiv väiksem kaltsiumhüdroksiidi hulk, kus lisandite komponendid reageerivad kaltsiumhüdroksiidiga, et soodustada kaltsiumkarbonaadi formeerimist.

Järeldused ja soovitused

Käesoleva uurimistöö koostamisel võeti hüdrofobiseerivate lisandite toimeefekti tuvastamisel aluseks lisandite tootelehel lubatud mõjud. Mujal maailmas läbi viidud katsed ei anna tõepärast infot lisandite positiivsetest või negatiivsetest mõjudest koos Eestis kasutatavate

kohalike täitematerjalide ja Kun- da portland-komposiitsemendiga toodetud betoonidega.

Standardsete katsetena läbi viidud veepidavuskatsed tõestasid lisandite omadust muuta betoon pikemaajalisel vees kivinemisel vett pidavamaks. Nii pärast EVS-ENi kui ka GOSTi viidi läbi katsed kahes vanuses. Katsetulemused kajastasid 30päevaselt lisanditega läbi viidud tulemustes teatavat veepidavuse vähenemist etaloniga võrreldes. 86 päeva vanuselt ületasid aga kõik lisanditega tulemused etaloni näitajat. GOSTi-järgseid hilisemaid katsetulemusi võrreldes vähenes 2. lisandiga katsekehade vee sissetungimissügavus etalonist 5,6 mm, 3. lisandiga 1,8 mm ja 1. lisandiga 0,6 mm.

Mõne vett pidava lisandi tootelehel on väidetud, et lisand on aktiivne kuni ehitise kasutuse lõpuni, kuid võrdluskatsed seitsme- ja 28päevaselt tekitatud pra-

gude puhul näitasid 28päevastes pragudes kinnikasvamisi kuni 0,2 mm laiuste pragude juures.

Tulemustest järeldades võib väita, et lisandite 1 ja 2 kasutamisel on võimalik betooni autogeenne paranemine. Autogeenset paranemist on võimalik ära kasutada kuni 0,4 mm laiuste pragude tekkimisel värskest valatud konstruktsioonides. Analooiline suundumus esines seitsmepäevaselt tekitatud pragudes, kus intensiivne pragude sulgumine esines 23. kuni 61. päeval pärast pragude tekitamist. Kohe täitusid katsekehad ka veega, mis põhjustas pragude veega küllastumist. Protsessis on tähtsal kohal ka konstruktsioonide võimalikult varakult veega täitmine juhul, kui see on konstruktsioonile lubatud. Kahe kuu jooksul peaks seega olema toimunud pragude sulgumine kristallisatsiooni teel, kus tekkinud kristall sadestub pragude suudmesse, millega muudetakse praod

veetihedaks. Selleks ajaks mitte sulgunud pragude sulgemiseks tuleb kasutada injekteerimist.

Oluline soovitus pragude sulgemiseks on mitte eemaldada betooni järeltöötluse käigus prao välispinnale tekkinud materjali. Pragu ei sulgu tegelikkuses tervenisti, vaid sulgumine leiab aset prao suudme välispinnal. Välispinnale kogunenud materjal on sinna sadestunud kaltsiumkarbonaat, mis muudab praod veetihedaks. **E**

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] K. Sisomphon, "Self-healing of surface cracks in mortars with expansive additive and crystalline additive", [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.science-direct.com/science/article/pii/S0958946512000133#>. [Kasutatud 15. aprill, 2015].
- [2] E. Uustalu, "Betooni pragunemine", 2001. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.betoon.org/wp-content/themes/betoon/pdf/EH01_6.pdf. [Kasutatud 3. aprill, 2015].
- [3] Tallinna Tehnikakõrgkooli Ehitustootuse Instituudi ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratoorium, "Surve all oleva vee sissetungimissügavuse määramine betoonis; Betooni veepidavuse W 20 määramine: Katseprotokoll, Tallinn, 2014, 2015.
- [4] TTÜ Geoloogia Instituut, "Elektronmikroskoopia labor", [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.gi.ee/index.php?page=74>. [Kasutatud 16. aprill, 2015].

RB
RAKVERE BETOON

Näpi tööstuskülas asuvast betoonitehasest on jälle võimalik osta kaubabetooni (kõik tegevusklassid).

Betoobi toome kohale ja vajadusel ka pumpame.
Samas toodame raudbetoon detaile.

info ja tellimine

Kaubabetoon, tel 322 0637, faks 322 0632, 551 1133

Raudbetoon detailid, tel 322 0836, fks 322 0632, 52 60052

Tel.+372 55 190 59
rakverebeton@rakverebeton.ee

Betooni tn.11 44208
Aluvere Lääne-Virumaa