

ÕHKU SISSEVIIVATE BETOONILISANDITE KASUTAMINE BETOONI PÜSIVUSE TÕSTMISEKS

Õhku sisseviivate betoonilisandite kasutamine maailmas sai alguse eelmise sajandi 30-ndatel aastatel ja on jätkuvalt populaarne saamaks külmumistsükleid taluvaid ning jäasulatussoolade suhtes püsivaid betoone. Kõrvalmõjuna paraneb betoonisegu töödeldavus, alaneb selle veevajadus, väheneb veeeraldus ning tõuseb betooni veepidavus ja sulfaadikindlus.

Väliskeskkonnas kivineva betooni kapillaarsüsteemis on alati teatud hulk vaba vett, mis ei ole tsemendiga reaktsiooni astunud. Põhjusks on asjaolu, et tsemnt suudab täielikult reageerimisel keemiliselt siduda vaid 23...25% vett oma kaalust, nõutava töödeldavusega betoonisegu saamiseks kulub vett enamikel juhtudel 40...80%.

Kui betooni temperatuur langeb alla 0 °C, siis vaba vesi selle kapillaarides külmub. Külmumisel suureneb vee maht 9%. Kapillaaride ja pooride seintes tekivad pinged. Vahelduval külmumisel-ülesulamisel betooni struktuur järk-järgult kahjustub, mille nähtavaks vormiks on betooni pindade lagunemine.

Vee paisumine ei ole ainus faktor, mis põhjustab betooni purunemist vahelduval külmumisel-ülesulamisel. Temperatuuri alanemisega kaasneb ka betooni temperatuurikahenemine.

Kui temperatuur langeb miinustesse küllaltki aeglaselt, liigub vaba vesi betooni sise-musest piki kapillaare külma frondi poole ehk betooni pinnale. Selle tagajärjel betoon kuivab, mis toob omakorda kaasa selle kahanemise ja pingete tekke betoonis.

Kiirel jahtumisel – mõni kraad tunnis – tekib jää betooni sisemuses. Moodustub hulganisti jäätumisfronte, ja ikka seal, kus veele on jäänud rohkem ruumi. Vesi hakkab kapillaarides termodünaamiliste jõudude toimel liikuma külmumisfrontide poole ehk poor-



Millise õhu hulgaga on betoonisegu veel pumbatav, sõltub segu töödeldavusest, torustiku pikkusest ja jämedusest, segu pumpamise suunast.

ridesse. Vee liikumine imepeentes kapillaarides tekitab nende seintele rõhku, mis Darcy seaduse kohaselt on võrdeline vooluhulgaga ja voolu teekonna pikkusega ning pöördvõrdeline keskkonna läbitavusega.

Nende faktorite analüüs lubab mõista, miks betooni poorsuse vähendamine vesitsementsuhte vähendamise teel ei ole alati piisava mõjuga muutmaks betooni vahelduval külmumisel-sulamisel püsivaks. Püüa vähendada poor-

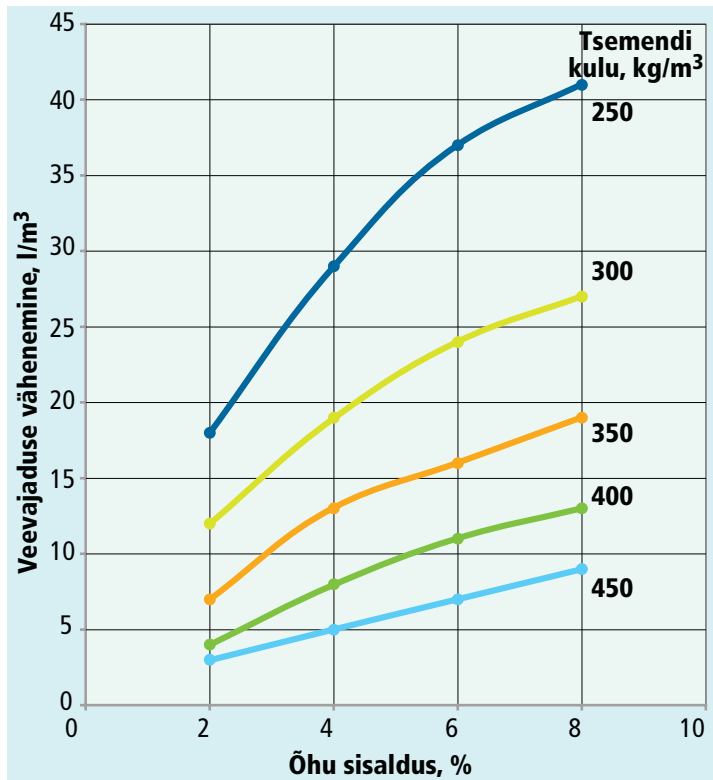
sust parema tihendamise ja plastifikaatorite kasutamisega kahandab küll külmuva vee hulka, kuid vähendab samal ajal ka kapillaaride läbitavust ja tõstab rõhku nende seintele.

Kõige lihtsamini mõjutatav parameeter on õhumullidevaheline kaugus. Selleks lisatakse betoonisegusse valmistamise ajal spetsiaalset õhku sisseviivat betoonilisandit, mis tekitab mikrokoopilise suurusega õhumulle. Selline mikroõhumullide tekitamine on osutunud betoonide külmumiskindluse tõstmise kõige efektiivsemaks teeks.

Õhumullide vahekaugus sõltub lisandi poolt segusse "viidud" õhu hulgest ja mikroõhumullide suurusel. Mida väiksemad nad on, seda väiksem on nende vahekaugus sama õhuhulga juures segus. Mikroõhumullide tekitamisega suurendame külmumisfrontide arvu betoonis ja tagame nende võimalikult ühtlase jaotuse.

Õhku sisseviiva lisandi roll ei olegi mitte niivõrd luua mikroõhumulle, kui pigem stabiliseerida segamisel kaasatud õhk betooni massis ühtlaselt jaotunud mikromullidena. Mikromullide suurus on seejuures paljuski sõltuv lisandi tüübist ja betooni vesitsementtegurist ehk keskkonnast, kus mullid tekivad, ja lisandi stabiliseerivast efektist.

Lisandi puudumisel mullid liituvad üksteisega, moodustades suuremaid mulle. Kuna iga õhumull on segus külmumisfrontiks, on vee liikumistee pikkus selleni võrdne mullidevahelise keskmise teepikkuse



Joonis 1. Veevajaduse vähenemine sõltuvalt betooni õhusisaldusest.

poole väärtusega ehk nn kaugusfaktoriga. Teatud üldise pooride kogumahu juures on kaugusfaktor seda väiksem, mida väiksemad on poorid.

Paljude teadusuuringute tulemusena on välja selgitatud, et on olemas nn kriitiline kaugusfaktor, millest suuremate väärtuste korral betoon külmumistsüklitele vastu ei pea, väiksemate puhul aga peab. Mida karmimad on külmumistsüklid, seda väiksemad ja üksteisele lähemal peavad õhumullid olema. Uuringud on näidanud, et külmumiskindla betooni tagab garanteeritult õhupooride struktuur, mille kaugusfaktor ei ületa 0,2 mm.

Faktorid, mis mõjutavad betoonisegusse viidava õhu hulka

- Mida väiksem on täitematerjali maksimaalne terasuurus, seda kõrgem on õhuvajadus betooni külmumiskindluse saavutamiseks.
- Mida suurem on õhku sisseviiva lisandi hulk

tsemendi kaalu suhtes, seda enam õhku viiakse betoonisegusse.

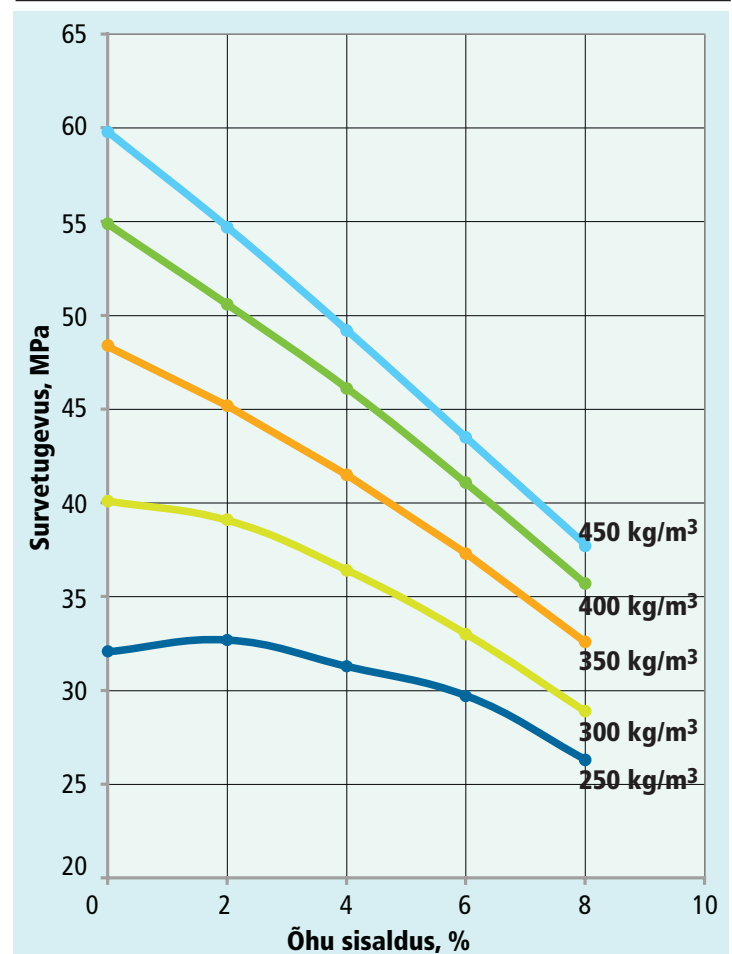
- Nõutud õhusisalduse juures on vajalik lisandi hulk seda suurem, mida suurem on tsemendi peenus, madalam tsemendi leelistesisaldus, suurem ülipeente osakeste hulk täitematerjalis, kõrgem betooni temperatuur ja madalam segu töödeldavus.
- Sisseviidava õhu hulk väheneb tsemendi hulga suurenemisel betoonisegus.
- Plastifikaatorite kasutamine viib tavaliselt õhu hulga suurenemiseni segus ja seda isegi siis, kui lisandil endal õhku sisseviivad omadused puuduvad.
- Mida suurem on betooni töödeldavus, seda suuremaks kujuneb sisestuva õhu hulk lisandi sama hulga juures.
- Vesitsementteguri suuremine tõstab õhu hulka betoonisegus ja muudab poorid suuremaks ning üldjuhul suurendab ka kaugusfaktorit.

- Betoonisegu segamise kiirus ja kestus peavad olema igal segamisel samased, sest ebapiisav segamine põhjustab ebaühtlase mullide jagunemise, liigne segamine viib aga segust õhku vähehaaval välja.
- Pikaajaline transport ja vibratsioon vähendavad sisseviidud õhu hulka. Sisestatud õhu hulk peab olema selline, mis vastaks betoonisegule esitatud nõuetele paigaldamise ajal.
- Betoonisegu parim konsistents õhumullide sisseviimise seisukohalt on selline, mille juures standardkoonuse vajumine kaubabetoonil jääb 5...10 cm piiridesse. Liialt kuiv betoonisegu vajab suuremat õhku sisseviiva lisandi hulka, liigne veehulk segus vähendab aga drastiliselt värsket segu võimet õhumulle kinni hoida.

Kuidas mõjutab õhku sisseviiv lisand värsket betoonisegu omadusi

- Õhu manustamine lisandi abil parandab betoonisegu töödeldavust.
- Veevajadus sama töödeldavusega betooni saamiseks väheneb (jn 1).
- Õhumullid toimivad kui väga väikese pinnahõrdega elastne täitematerjal.
- Õhku sisseviiva lisandi manustamisega peab üldjuhul kaasnema liiva hulga vähendamine segus.
- Hea töödeldavus on kõigi betoonisegude nõutud omadus. Segud, mis on algselt lahjad ja halva töödeldavusega, võivad õhu sisseviimisest eriti.
- Õhu sisseviimine parandab betoonisegu koospüsivust ehk kohesiivsust ja vähendab oluliselt betoonisegu vee-eraldust.

Joonis 2. Betooni tugevuse sõltuvus samal betoonisegu töödeldavusel õhu ja tsemendi sisaldusest segus.



- Õhku sisseviiva lisandiga betoonil on väiksem kalduvus segregeerumisele ehk kihistumisele. Ta ei anna aga universaalset parandamist halvasti koostatud segudele (halb täitematerjali terastiku koostis, liiga vedel segu jms).
- Tänu kuullaagriefektile parandab õhu sisseviimine betoonisegu tihendatavust.
- Õhku sisseviiva lisandiga segu igas kuupsentimeetris on tuhandeid väikesi õhumulle, mis soodustavad betoonpinna töötlemist.
- Liigne pinna vibreerimine ja hõõrutamine toob mullid pinnale, nõrgestades selle tugevust.
- Mõõdukas õhusisaldus parandab segude pumbatavust. Suurematel õhusisaldustel võib õhu kokkusuutavus absorbeerida kogu betoonile rakendatud surve ning betoon ei liigu torustikus edasi. Õhku sissevivate lisanditega betoone ei pumbata üldjuhul kauges

male kui 45 meetrit. Millise õhu hulgaga on betoonisegu veel pumbatav, sõltub segu töödeldavusest, torustiku pikkusest ja jämedusest, segu pumpamise suunast: üles, horisontaalselt või alla. Probleeme võib tekitada õhusisaldus üle 7%.

Kuidas mõjutab õhu sisseviimine kivinenud betooni omadusi

- Õhu sisseviimine vähendab betooni mahumassi.
 - Iga lisaprotsent õhku vähendab betooni tugevust tavaliselt 5...7%. Kui õhu sisseviimisel arvestatakse veevajaduse vähenemisega (jn 1) ning liiva hulka korrigeeritakse vähenemise suunas, on tugevuse muutused väiksemad. Lahjade betoonisegude korral võib saavutada õhu manustamisega isegi betooni tugevuse suurenemise.
- Joonisel 2 on esitatud

näide õhusisalduse mõjust betooni survetugevusele.

- Kõige olulisemaks mõjuriks, miks betoonisegusse manustatakse õhku, on betoonide püsivusomaduste märkimisväärne paranemine:
 - * väheneb betooni kapillaarne veemavus ning vedelike ja gaaside läbilaskvus, milledest tulenevalt paraneb betooni püsivus sulfaatsete lahuste vastu – efekt on seotud vesitsementsuhte ja läbitavuse vähenemisega;
 - * imeväikeste ühtlaselt segus jaotunud õhumullike tekitamine õhku sissevivate lisandite abil on kõige efektiivsem tee betoonide külmumiskindluse tagamiseks. Seejuures ei tohi unustada teisi külmumiskindluse tõusu soodustavaid meetmeid, nagu külmumiskindlate täitematerjalide kasutamine, vesitsementtegi täiendav võimalik

vähendamine plastifitseerivate lisandite abil;

- * oluliselt paraneb vastupanu lumesulatussoolade destruktiivsele toimele.
- Õhku sisseviiv lisand vähendab ka betoonide efflorestsentsinähte, sest soolade migreerumine betooni pinnale raskendub muutuste tõttu kapillaarstruktuuris.

Suuresti paranenud külmumiskindlus ja vastupanu tõus lumesulatussoolade toimele ning rida teisi positiivseid nihkeid betoonisegude ja betooni omadustes on argumendid, mis kinnitavad õhku sissevivate lisandite kasutamise otstarbekust kõikjal, kus betoon võib alluda külmumise ja ülesulamise tsüklitele märgunud olekus.

PH.D. ENN UUSTALU,
NCC INDUSTRI KAUBABETOOINI
TOOTMISE KVALITEEDIJUHT
BALTIMAADES JA VENEMAAL

