

# BETOONI NIISKUS-DEFORMATSIOON

**NCC Industri Eesti AS betoonilaboratoorium viis koostöös Tallinna Tehnikaülikooli Ehitustootluse Instituudi ehitusmaterjalide laboratooriumiga läbi uuringu portlandpõlevkivitsmentbetoonide kahanemisdeformatsioonide sõltuvusest kivinemise niiskusežüimist. Töö eesmärgiks oli saada ülevaade, kuidas käituvad portlandpõlevkivitsmendi baasil valmistatud betoonid kivinemisel erinevatel niiskusežüimidel niiskusdeformatsioonide seisukohalt.**

**U**uringus võeti vaatluse alla kolm kivinemisrežiimi:

- pidev kivinemine niiskes, suhtelisel õhuniiskusel > 95% (imiteerib kivinemist niisketes oludes või betooni pidevat ja kestat hooldust, kus on välditud vee aurustumine betoonist);
- pidev kivinemine kuivas suhtelisel õhuniiskusel 50% (imiteerib betooni järelhoolduse puudust, kui betoonil lastakse pärast paigaldamist välja kuivada);
- kombineeritud režiim: 7 ööpäeva niiskes suhtelisel õhuniiskusel > 95% ja edasi kuivas suhtelisel õhuniiskusel 50% (imiteerib suhteliselt normaalset betooni järelhooldust, kui esimese 7 päeva jooksul pärast betoonisegu paigaldamist püütakse mitmesuguste meetmetega vältida vee aurustumist betoonist; hooldus lõpetatakse 7 päeva möödumisel).

Uurimistöö kavandas NCC Industri Eesti AS betoonilaboratoorium. Projekteeriti ja valmistati 11 erinevat betoonisegu, mis kuulusid tugevusklassidesse B10, B30 ja B50. Täitematerjali maksimaalseks terasuuruseks valiti 8, 16 või 32 mm. Betoonisegude töödeldavus hoiti sellisena, et koosse vajumine oleks piires 9...11 cm.

Segude tegemiseks kasutati Kunda portlandpõlevkivitsmendi CEM II/B-T 42,5R, kvartsiiva peensusmoodulitega 1,0 ja 2,6, Paekivitoode

Tehase Vao karjääri killustiku fraktsioonidega 4...8 mm, 8...16 mm ja 16...32 mm ning Tasfil'i paekivifillerit.

Betoonisegud valmistati sundtoimelises laboratoorses betoonisegistis 25-liitriste portsjonitena. Projekteeritud betoonide veevajadused kõikusid piires 181...213 l/m<sup>3</sup>, vesitsementtegurid 0,46...1,22, tsemendi kulu 152...420 kg/m<sup>3</sup>, tugevusnäitajad 3 päeva vanuses betoonis 4,6...37,8 MPa ja 28 päeva vanuses 10,6...61,0 MPa. Tugevusnäitajad määrati kuupidega 15 x 15 x 15 cm.

Niiskusdeformatsioonide hindamiseks erinevatel kivinemisrežiimidel valmistati reeperitega katsekehad mõõtmetega 7 x 7 x 28 cm ja neid hoiti kuni tehnikaülikooli toimetamiseni niiskes õhus. Reeperitega varustatud katsekehad toimetati Tallinna Tehnikaülikooli Ehitustootluse Instituudi ehitusmaterjalide katselaborisse 20 tunni vanuselt, kus need vabastati vormidest, määrati algmõõdud 24 tunni vanuses ja jäeti järgnevas kivinemiseks eelpool mainitud režiimidel.

Katsekehi mõõdeti vanustes 3, 7, 10, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 70, 84, 98 ja 120 päeva. Katsekehade regulaarne mõõtmine jätkub.

Joonistel on esitatud katsetusteks võetud äärmiste betoonikoostiste katsetuste tulemused.

Joonis 1 iseloomustab betooni lineaarseid paisumisdeformatsioone kivinemisel niiskes keskkonnas. Portlandpõlevkivitsmentbetoonide kasu-

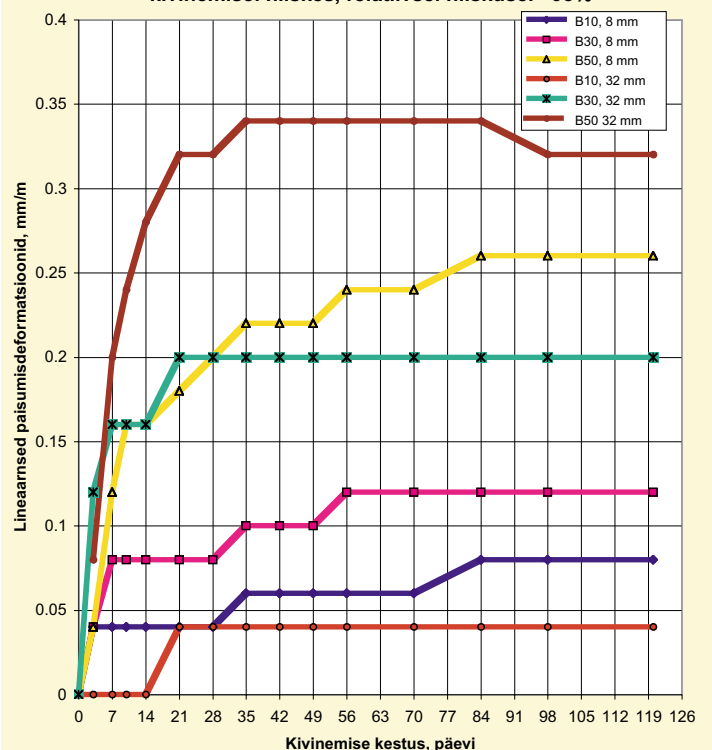
tamisel on iseloomulik see, et kivinemisel niiskes keskkonnas või vees toimub märgatav paisumine, mis on seda suurem, mida kõrgem on betooni tugevusklass. 120 päeva vanuselt ulatub paisumine betooni B50 korral 0,26...0,32 mm/m ja betoonil B10 0,08...0,12 mm/m. Betoonidel B30 on vahepealsed väärtused.

Mööduka paisumise tingib portlandpõlevkivitsmendi koostisesse kuuluv lendtuhk, täpsemalt imepeente vabalubja osakeste hüdratatsioon. Paisumine suureneb tsemendi hulga suurenemisega betoonisegus. Seetõttu on loomulik, et kõrgema tugevusklassiga betoonid paisuvad rohkem. Mida

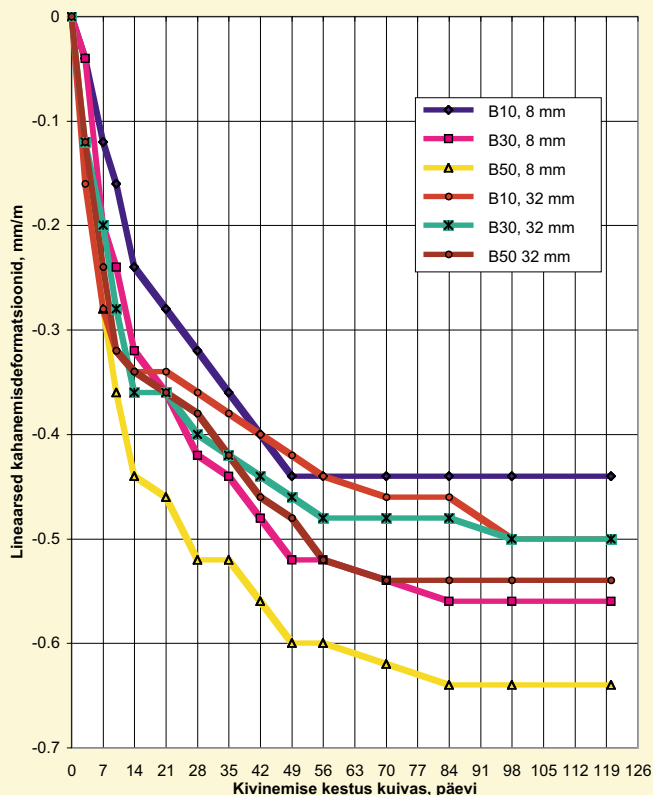
suurem on täitematerjali maksimaalne terasuurus, seda suurem on ka niiskuses paisumine. Nähtuse üheks põhjustajaks on suurema maksimaalse terasuurusega betoonide väiksem veevajadus ja sealt tulenevalt betoonis oleva tsemendikivi kvaliteet, mida iseloomustab väiksem vee ja tsemendi suhe, suurem tihedus ja paisumisvõime. 32 mm maksimaalse terajämedusega killustikuga betooni paisumine niiskes on keskmiselt 0,1 mm/m võrra ehk 30...50% kõrgem kui 8 mm jämeduse maksimaalse killustikutera suuruse korral.

Joonis 2 demonstreerib olukorda, kui betooni hooldus lõpetatakse pärast paigalda-

**Joonis 1. Lineaarsete paisumisdeformatsioonide arenemine betooni kivinemisel niiskes, relatiivsel niiskusel >95%**



**Joonis 2. Lineaarsete kahanemisdeformatsioonide arenemine betooni kivinemisel kuivas, relatiivsel niiskusel 50%, sõltuvalt betooni koostisest**



mis- ja viimistlustööde lõppemist, see on umbes ööpäeva möödumisel betooni paigaldamise hetkest.

Betoon hakkab kuivamisel kokku tõmbuma ehk kahane-ma. Esimestel päevadel on kahanemisdeformatsioonid kiired. 7 päevaga tekki-v kahane-mine on vahemikus 0,1...0,3 mm/m, 28 päeva vanuselt 0,32...0,52 mm/m. Seejärel de-formatsioonide kiirus oluliselt langeb. 56 päeva vanuses on kahanemine sõltuvalt betooni koostisest 0,43...0,6 mm/m, 120 päeva vanuses vaid veidi suurem, piires 0,43...0,64 mm/m.

Kahanemisdeformatsiooni-de suurust betoonis mõjutab nii betooni tsemendisaldus kui ka maksimaalse terasuurse valik. Kahanemisdeformatsioonid vähenevad tsemendisalduse vähenemisel ja maksimaalse terasuurse suurenemisel. Viimane on suuresti seotud betooni veevajaduse vähenemisega sama töödeldavuse saavutamiseks.

Betooni kahanemine kui

nähtus on omane igasugusele betoonile ega ole probleemiks senikaua, kuni kahanemine ei ole takistatud. Takistuse tekkimisel arenevad betoonis kahanemise tõttu tõmbepinged. Kui tõmbepinge väärtus ületab betooni tõmbetugevuse, katkeb betoon ja temasse tekib pragu või praod. Toodust ilmneb, et betoon on pragude teke suhtes eriti tundlik varases vanuses, sest betooni tõmbetugevus valamisjärgselt on võrdne nulliga, samal ajal on betoon aldis suurtele kahanemisdeformatsioonidele.

Informatsiooniks nii palju, et sõltuvalt tugevusklassist on portlandpõlevkivimentbetooni tugevus ühe päeva vanuselt normaaltingimustel kivilinedes 15...40%, kolmepäevase 40...75% ja 7-päevase 60...85% betooni nimitugevusest. Vahemike esimesed väärtused vastavad betooni tugevusklassile B10, viimased klassile B50. Tänu madalale tõmbetugevusele või selle puudumisele ei ole sugugi haruldane, kui juba poole kuni paari kol-

me tunni möödudes hakkavad betooni pinnale tekkima praod ja seda olukorras, kus betoon on veel plastiline ega ole tardanud. Selliseid pragusid nimetatakse plastilise kahanemise pragudeks.

Joonisel 3 on kujutatud niiskusdeformatsioonide areng olukorras, kus betooni valamisele järgneb nädalane betooni hooldus, mille käigus vee aurustumist betoonist on välditud. Pärast nädalast hooldust jäetakse betoon seisma lisameetmeteta hoolduseks.

Sellise režiimiga antakse betoonile võimalus esimesel nädalal kivilineda soodsates tingimustes. Selle käigus toimub mõningane mahupaisumine, mis on analoogiline joonisel 1 tooduga. Oluline erinevus joonisel 2 toodud režiimist on see, et enne kuivamist on betoon saavutanud märkimisväärse tõmbetugevuse, mistõttu tema kahanemistaluvus on palju suurem. Enne kuivamise võimaldamist on betoon omandanud juba 60...85% oma nimitugevusest ja suudab tunduvalt paremini vastu seista

kahanemisdeformatsioonidele ja pragude tekkele.

Käesoleva artikli eesmärgiks polnud seatud pragude tekke kõigi põhjuste analüüsimist, sest neid põhjuseid võib lisaks eeltoodule olla hulgaliselt. Samuti ei olnud kavas käsitleda meetmeid pragude tekke vältimiseks, vaid näidata katsetustele baseeruvalt, millises suurusjärgus asuvad portlandpõlevkivimentbetooni niiskusdeformatsioonid kivilinemisel erinevatel niiskusrežiimidel ja anda üldised suunised praokindluse saavutamiseks betooni koostise mõnede aspektide ja kivilinemisrežiimide arvessevõtmise kaudu.

Kui antud probleem pakub spetsialiseeritud lugejaskonnale laiemat huvi, siis ei ole välistatud huvipakkuvate küsimuste üksikasjalikum lahkamine edaspidi.

**ENN UUSTALU, NCC INDUSTRI  
EESTI AS BETOON  
KVALITEEDIJUHT, PH.D**



**Joonis 3. Betooni lineaarsete deformatsioonide arenemine kombineeritud kivinemisel (7 päeva niiskes, edasi relatiivsel õhuniiskusel 50%)**

