

TALVINE BETONEERIMINE

Betooni kivinemine on keemiline protsess, mille kiirus, analoogselt enamuse keemiliste protsessidega, sõltub temperatuurist. Mida madalam on temperatuur, seda aeglasemalt betoon tardub ja kivineb. Temperatuuri langemisel alla nulli vesi jääb, millega kaasneb vee paisumine. Kui vesi paisub betoonis, mis ei ole veel küllaldaselt tugev, et seista vastu tekkivatele pingetele, siis betooni struktuur kahjustub ning ta ei saavuta enam vajalikku tugevust ega püsivust. Millist mõju avaldab betooni temperatuuri alanemine betoonisegu ja kivinenud betooni omadustele, vaatleme lühidalt allpool.

Betooni tardumisaeg 20 kraadi juures on keskmiselt 6 tundi. Temperatuuri langemisel 5 kraadini pikeneb tardumisaeg 13...15 tunnini, 0 kraadi juures võib tardumine kesta juba 18...20 tundi. Temperatuuri edasise languse korral ei tarvitse betoon enam tarduda, vaid hoopis külmub.

Temperatuuri langedes pikeneb tublisti aeg, mis kulub betooni valamise ajamomendini, mil betoon lubab end viimistleda või raketisest lahti võtta. Aeglustunud tardumine ja kivinemine madalatel temperatuuridel pikendab omakorda seda ajalõiku, mille jooksul betoonisegu on piisavalt plastne, et jämedad kivi-osakesed saaksid segus raskusjõu mõjul vajuda-settida ja tõrjuda vee kui kergema komponendi välja. Settimise kaasnähe on seega vee-eraldus. Tagajärjeks võib olla segu kihinemine ja struktuuri rikumine. Betooni suuremate osakeste ja armatuuri alla võivad tekkida veekotid. Negatiivne efekt on seda suurem, mida kõrgema töödeldavusnäitajaga on betoonisegu ja mida halvem on segu veehoidvus.

Pikem plastse oleku säilivuse aeg võib kujuneda eelduseks plastsete kahanemisdeformatsioonide tekkeks, kui valatud betoon on jäänud tõmbetuule või päikesekiirguse kätte. Nende mõjul vesi aurustub betooni pinnalt ja betoon hakkab kahanema. Kuna külm

Betooni B20 tugevuse kasv protsentides võrreldes 28-päevase tugevusega 20 °C juures sõltuvalt temperatuurist

Kivinemise kestus, päev	Kivinemise temperatuur, °C		
	5	10	20
1	6	12	18
2	20	26	36
3	28	37	45
7	42	57	66
14	56	73	83
28	68	86	100

betoon tardub aeglaselt, võivad kahaneva betooni pinda tekkida praod, sest betoon ei ole kahanemisdeformatsioonidele vastu seismiseks veel piisavalt tugev. Pragude tekke vältimiseks tuleb betooni tuule, tuuletõmbe ja päikesekiirguse eest kaitsta.

Betooni madala temperatuuri korral võib täheldada ka betoonisegu pumbatavuse mõningast halvenemist ja vee-eralduse suurenemist. Põhjus on kõrge eripinnaga uusmoodustiste tekke aeglustumine tsemendi reageerimisel veega. Üldtuntud on asjaolu, et imepeened osakesed parandavad segu pumbatavust ja veehoidvust. Nende puudumine toob kaasa vastupidise efekti.

Kivinemise kiirus madalatel temperatuuridel on oluliselt aeglasem kui normaalsetel temperatuuridel. Normaalse all mõeldakse temperatuuri vahemikus 15...20 kraadi. Betooni tugevuse kasvu sõltu-

vust temperatuurist iseloomustab tabel.

Tabelis toodud andmed sobivad betoonile klassiga B20, kõrgematel tugevusklassidel on kivinemise kiirus mõnevõrra suurem. Näitena toodud betooni B20 kivinemiskiirus võib olla esimeses lähenduses lähtepunktiks tugevuse kasvu prognoosimisel konstruktsioonides.

Konstruktsioonibetoonide tugevusklassid ületavad B20, mistõttu tegelik kivinemise kiirus on alati veidi kõrgem tabelis esitatust. Tabelis toodud andmete kasutamine eeldab temperatuuri hindamist konstruktsioonis. Konstruktsiooni temperatuur võib olla aga muutlik, sest reaktsiooni-protsessid ise eraldavad sooja ning sõltuvalt keskkonna temperatuurist konstruktsioon kas jahtub või soojeneb.

Tugevuse muutust saab täpsemalt hinnata spetsiaalsete elektroonsete seadmetega,

mille andurid paigaldatakse värskesse betooni. Nende abil on võimalik mõõta tegelikke temperatuuri muutusi betoonis ja prognoosida vastavate arvutusprogrammide abil betooni küpsusastet ja tugevust, mille põhjal teha otsuseid, kas lubada betooni lahtirakestatmist või loobuda täiendavast soojendamisest. NCC Industri Eesti AS betoonitööstus rakendab sarnasteks mõõtmisteks ConReg-aparatuuri.

Kui betoon külmub enne kriitilise tugevuse 5 MPa saavutamist, kahjustub struktuur sedavõrd, et edasisel normaaltingimustel kivinemisel küünib 28-päevane tugevus vaevalt 50%-ni. Selliseks kahjustuseks piisab vaid ühest külmumistsüklist. Seega – eriti hoolikas tuleb olla betooni kaitsmisel külmumise eest selle kivinemise esimestel päevadel, kui betooni tugevus ei ole veel saavutanud esmaseks külmumiseks lubatud kriitilist väärtust 5 MPa. Selle saavutamiseks kulub betoonil B20 temperatuuril 5 °C kolm päeva, suurematel tugevusklassidel vähem.

Madalatel plusstemperatuuridel on betooni omadustele ka teatud positiivseid mõjusid. Temperatuuri alanemisel betooni veevajadus sama töödeldavuse saavutamiseks mõnevõrra väheneb. Sõltuvalt betooni maksimaalsest terasuurusest, võib betooni veevajadus väheneda 5...10 liitrit kuupmeetri betooni kohta ehk 2...4%. Aeglustub ka töödeldavuse kadu, mistõttu sama koostisega betoon püsib pikemat aega töödeldav. Madalatel plusstemperatuuridel avaldub kivinemise positiivne mõju pikematel kivinemiskestustel. 90 päeva vanuses on 5 ja 20 °C



juures kivilinenud betoonide tugevused enam-vähem võrdsed. Aastavanuselt on aga madalamal algtemperatuuril kivilinenud betooni tugevus 10...15% võrra kõrgem.

Positiivne efekt, mille annavad betoonisegule ja kivilinenud betoonile madalad pluss-temperatuurid, jääb üldises plaanis teisejärgulisele kohale.

Et betoon külmudes ei kahjustuks, tuleb vältida betooni külmumise võimalust enne kriitilise tugevuse saavutamist. Ehituse tempokuse tagab betooni temperatuuri garanteerimine tasemel +10...20 °C. Külumistappi alandavate lisandite kasutamine tuleb kõne alla vaid juhtudel, kui betooni pole praktiliselt võimalik külmumise eest kaitsta või kui kivilinemise kiirus ega betooni ilmastikukindlus ja püsivus ei ole olulised. Külumistappi alandavate lisandite kasutamine on otstarbekas vaid juhul,

kui on tarvis monolitiseerida olemasolevaid betoonkonstruktsioone, mis iseenesest on miinustemperatuuridel ja tahes-tahmata viivad valatava betooni temperatuuri miinustesse. Kõigil muudel juhtudel tuleb aluspind eelnevalt soojendada, et valatav betoon ei satuks miinustemperatuuridel pinnale. Jälgida tuleb seda, et raketised oleks jääst või lumest puhtad.

Valatava betooniseguga kokkupuutuv armatuur tuleb enne valu viia plus-temperatuuridele. Kui armatuur on miinuskraadidel, siis tekib selle ümber kokkupuutel betooniga jää, ülessulamisel moodustub aga veekiht, mis halvendab märkimisväärselt kontakti betooni ja armatuuri vahel, pärssides nende koostööd. Kui kasutatakse metallvorme, tuleb need kindlasti isoleerida.

Erilist tähelepanu peab pöörama konstruktsioonide

servade ja nurkade soojustamiseks, sest soojakaod on seal kõige suuremad. Samal põhjusel vajavad hoolikat soojustamist ka vertikaalsete konstruktsioonide ala- ja ülaosa.

Kui välisõhu temperatuur on langenud alla 0 kraadi, tuleb kindlasti kasutada sooja betooni. Suuremates segusõlmedes on sooja betooni tootmise võimalus enamasti olemas. Sooja betooni tootmisel kasutatakse sooja vett ja eelsoojendatud täitematerjale. Betoon väljastatakse segusõlmest temperatuuril 15...20 kraadi. Võimalik on tellida ka betooni, mille temperatuur ulatub 30...35 °C. Kuuma betooni puhul on probleemiks kiire töödeldavuse kadu. Sooja betooni kasutamisel jääb otsustada, kuidas kaitsta betooni jahtumise eest: kas selleks piisab konstruktsiooni soojustamisest soojustusmaterjalidega või tuleb anda lisasoojust kesk-

konna soojendamiseks.

Põrandate tegemise juures tuleb tähelepanu pöörata valatava aluspinna soojendamisele, ruumi soojendamise vajadusele ja soojendusseadme valikule. Salamander-tüüpi küttekahade kasutamisel ei tohi kahe silma vahele jätta ohutustehnilisi meetmeid – ruum peab olema hästi ventileeritud.

Mitteküllaldane ventileeritus võib peale terviseohu põhjustada ka betoonpindade karboniseerumise. Keskkond võib saastuda süsihappegaasiga, mis reageerib tsemendi hüdratatsioonil tekkiva kaltsiumhüdroksiidiga ja põrandale tekib kriiditaoline pehme kiht, mis oluliselt halvendab betoonpinda kvaliteeti. Küttekahade kasutamisel tuleb arvestada, et õhu relatiivne niiskus langeb. Tagajärjek on betoonpindade kiire kuivamine ja pragunemise oht. Kiire kuivamise ja karboniseerumise vältimiseks

tuleb pinnad niipea kui võimalik kuivamise eest kaitsta. Pindade veega kastmine ei hoiaks siiski ära karboniseerumist.

Talvisel betoneerimisel tuleks madalate temperatuuride mõju kompenseerimiseks kaaluda kõrgema tugevusklassiga betoonide ja kiirkivinevate betoonide kasutamise võimalust. Betoonitehastel on selliste betoonide valmistamiseks hulgaliselt võimalusi, tarvis on vaid eelnevalt kokku leppida.

Soojal aastaajal on näiteks põrandate kahanemisohu vähendamise eesmärgil soovitatav kasutada võimalikult vähesel tsemendi hulga betoone, kompenseerides tugevuse languse veevajaduse vähendamisega superplastifikaatorite abil. Talvisel ajal võib madalaid temperatuure kompenseerida ohtrama hulga tsemendiga, mis tagab suurema soojaerduse, lisaks kasutada plastifikaatoreid vee hulga vähendamiseks ja kiirendajaid kivinemisprotsessi kiirendamiseks. Meeles tuleb aga pidada asjaolu, et tsemendi hulga suurendamine toob alati kaasa ka suurema pragunemisohu. See gasu kaaluda alternatiivi – kas mõnetunnine edu viimistlustööde tempos või väiksem põrandate pragunemisoht pikemas perspektiivis.

Väliskeskkonna madala temperatuuri korral tuleb vältida temperatuuri järske langusi, mis toob kaasa betooni temperatuurikahanemise ja tõmbepingete tekke, kui betooni kahanemine on takistatud. Raketise mahavõtmisel 10...15-kraadise külmaga, jahtub betooni pind niivõrd ruttu, et temperatuuride vahe betooni sees ja pinnal võib ulatuda kuni 30 kraadini, vahel isegi enam. 30-kraadine jahtumine toob kaasa mahukahanemise, mille suurusjärg on 0,3 mm/m. Selline mahukahanemine tekib normaalsetel temperatuuridel 1...3-nädalasel kuivamisel õhuniiskusel 50%. Madala õhutemperatuuri juures võib selline kahanemine toimuda praktiliselt hetkega. Tempera-

CONREG SYSTEM BETOONI VARAJASE TUGEVUSE MÕÖTMISEKS

Betooni lahtirakestamine nõuab betooni varajase tugevuse hindamist. Kui kiiresti saavutab betoon oma varajase tugevuse, sõltub betooni tugevusklassist ja temperatuurist. Suvel, mil ööpäeva keskmine temperatuur on tunduvalt kõrgem kui teistel aastaegadel, kivineb betoon kiiremini.

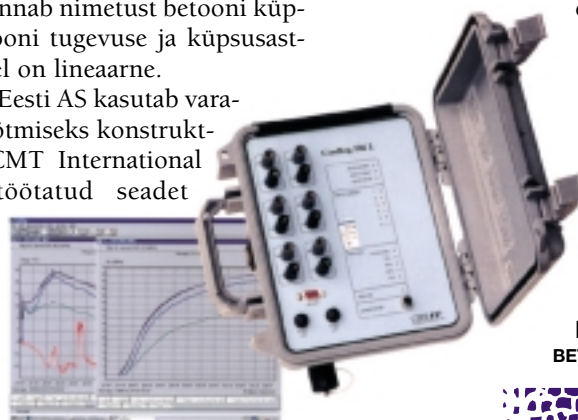
Kindla tugevusklassiga betooni tugevuse kasv on funktsioon ajaintervalli ja temperatuuri korrutisest. Nende korrutiste summeerimise tulemus kannab nimetust betooni küpsusaste. Seos betooni tugevuse ja küpsusaste logaritmi vahel on lineaarne.

NCC Industri Eesti AS kasutab varajase tugevuse mõõtmiseks konstruktioonis Rootsis CMT International AB poolt väljatöötatud seadet *ConReg 506 L*. Seade võimaldab keskkonna ja betooni temperatuurimuutuste kontrolli kaudu arvutada betooni

küpsusastet ja betooni tugevust. *ConReg 506 L* koosneb mõõteplokist, mis mõõdab ehitusobjektidel betoonisest ja keskkonna temperatuuri, ning tarkvarast, millega kogutud andmeid arvutis töödeldakse. Korraga saab mõõta temperatuure konstruktiooni kuues erinevas punktis. Mõõtmiseks on otstarbekas valida konstruktiooni kõige ohtlikumad kohad või need kohad, kus konstruktiooni jahtumine on eeldatavalt kõige suurem.

ConReg'i töötamis-temperatuuride vahemik on $-25...+55$ °C. Maksimaalne tööaeg laetud patareidega 7...10 nädalat.

MIKK RÕOMUSOKS
NCC INDUSTRI EESTI AS
BETOONILABORI TEHNOLOOG



tuurikahanemisele liitub lahtirakestamisel veel kuivamiskahanemine, mistõttu pole haruldane, kui ehitaja, ignoreerides järskude temperatuurilanguste mõju, leiab päev pärast betooni lahtirakestamist seinast praod. Praod tekivad kergemini paksemates ja liigendatud seintes, kus temperatuuri erinevused ja kahanemistakistused on suuremad.

NCC Industri Eesti AS betoonitööstuse tehnilised võimalused ja oskusteave lubavad teha igasuguseid valikuid ja toota kliendile sobivat betooni igaks olukorraks. Meie kvaliteedipoliitika tugineb koostööle, mille kaudu täidame klientide vajadused ja ootused kõigis tegevustes, mis on seotud meie toodete ja teenustega.

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