

Kas betooni külmakindluse hindamine Eestis vajab alternatiivmeetodit?

Eestis hinnatakse betooni külmakindlust nn põhimeetodi ehk pinnakooremise kaudu. See katsemeetod kajastab betooni väliseid kahjustusi, kuid paraku ei anna informatsiooni betooni sisestruktuuris toimuvate muutuste kohta. Tallinna Tehnikaülikooli ehitustootluse instituudi teadus- ja katselaboratooriumis on alustatud betooni sisestruktuuri kahjustuste uurimist.

ENELI LIISMA

TTÜ ehitusteaduskonna doktorant
ehitaja@presshouse.ee

Betooni kui ehitusmaterjali kasutamise suur populaarsus oma paljude kasutusvõimalustega ei ole tänapäeval enam uudis. Jaanuarikuu teises pooles toimunud rohkearvulise osavõtuga koolitusel "Ehita teraselt 2011" kirjeldas Ehitusmaterjalide Tootjate Liidu tegevdirektor **Enno Rebane** viimase kahe aasta betooni ja tsemendi kasutamise statistikat Eestis ning tõi välja taaskasvava trendi, mis viitab ehitussektori elavnemisele.

Olles põhjamine riik, peame endale aru andma, et väliskeskonda või selle mõjuritega kontakti paigutatud ehitusmaterjalidel on vahelduv külmumine ja sulamine üheks oluliseks teguriks, mis mõjutab ehitusmaterjalide vastupidavust ilmastikutingimustes.

2001. aasta Ehitaja kümnendas numbris kirjutas Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonna nimekas õppejõud emeriidotsent **Toomas Laur** artikli "Betooni külmakindluse hindamise uued põhimõtted", kus tutvustati kirjutamise ajal veel olematu standardi katsemetoodikat. Täna selleks tunneme seda Eestis kehtiva normaalkülmakindluse standardina EVS 814:2003. Tol ajal lülitati viimati nimetatud standardi koostamisel sisse betooni külmakindluse põhimeetod, kuna alternatiivsete katsemetoodite kasutamiseks puudus vajalik tehnika ja teadmised. Standardi vastuvõtmisest

ja juurutamisest praktilises kasutamises on möödunud kaheksa aastat – kas me oleme täna valmis täiendusteks?

Milleks täiendavad katsemeetodid?

Eestis hinnatakse betooni külmakindlust nn põhimeetodi ehk pinnakooremise kaudu (vt standard EVS 814:2003), sisuliselt kajastab see katsemeetod betooni väliseid kahjustusi, kuid paraku ei anna meile informatsiooni betooni sisestruktuuris toimuvate muutuste kohta.

Praktikas on nähtud korduvalt eba-meeldivaid näiteid, kus betooni külmakindluse määramisel on isegi 42

tsükli möödudes massikadu näiteks väiksem kui 0,20 kg/m², kuid 56 tsükli pärast kasvanud juba suuremaks kui 0,50 kg/m². Tegemist on nn progresseeruva pinnakooremisega – suure tõenäosusega on betooni sisestruktuuris juba esimeste tsüklite möödudes kahjustused, mis algetapil pinnakooremise määramisel ei ilmne, kuid panevad aluse külmutus-sulatusprotsessis kumulatiivse kahjustusefekti tekkimisele. Kui me suudaksime täiendavalt ka betooni sisestruktuuri kahjustusi arvesse võtta, saaksime oluliselt täpsemat informatsiooni betooni käitumise kohta ning vältida olukorda, mida võiks kirjeldada vanarahva ütlemisega:

Tabel 1. Standardi EVS 814:2003 vastavuskriteeriumid külmakindluse klassidele.

Keskkonna-klass	Külmakindluse klass	Külmakindluse vastavuskriteeriumid, kui külmutuskeskkond (külmutusaine) on	
		Destilleeritud vesi	3 % NaCl lahus
XF1	KK1	$S_{56} \leq 0,50$ või $S_{56} \leq 1,00$ ja $S_{56}/S_{28} < 2$	-
XF2	KK2	-	$S_{56} \leq 0,50$ või $S_{56} \leq 1,00$ ja $S_{56}/S_{28} < 2$
XF3	KK3	$S_{56} \leq 0,20$ või $S_{56} \leq 0,50$ ja $S_{56}/S_{28} < 2$	-
XF4	KK4	-	$S_{56} \leq 0,20$ või $S_{56} \leq 0,50$ ja $S_{56}/S_{28} < 2$

Märkused:

S_x – koorunud (murenenud) materjali mass pärast x tsükli.

S_x/S_y – koorunud (murenenud) materjali masside suhe pärast x ja y tsükli.



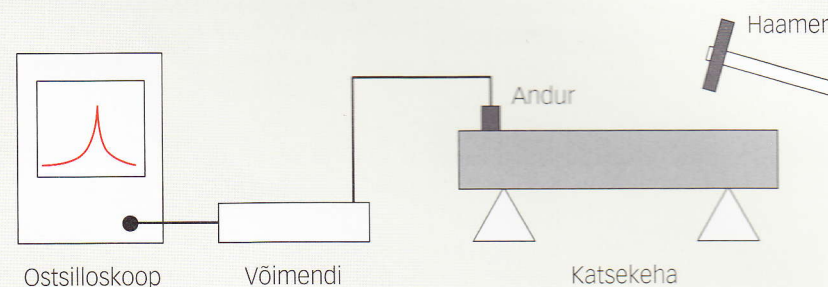
Foto 1. Betooni pind lahtirakestamisest ja kuus kuud hiljem, pärast esimesi külmakahjustusi.

ilus õun, uss sees.

Viimaste aastate jooksul on Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonna õppejõudude poole pöördunud nii ehitusfirmade juhid, objektide tellijad kui ka järelevalve teostajad betooni lagunemise põhjuste väljaselgitamiseks. Probleemide põhjusteks on olnud peamiselt betooni külmakindlus – konkreetses keskkonnas vale betooni kasutamine, keskkonnamõjude mittearvestamine, mittesobivate töövõtete kasutamine, hooletus ja teadmatus betooni külmakindluse alal.

Fotol 1 on tegemist ühiskondliku hoone raudbetoonist trepi pealispinnaga, mille tööprojektist oli välja unustatud või jäetud teadmatusel märkimata betooni külmakindluse klass. Ehitaja ja järelevalve asjatundmatuse või hooletuse tõttu ehitati välistrepp betoonist, mis sobiks oma tehnilistelt omadustelt vaid sisetungimustesse, kus puuduvad agressiivsed mõjurid. Käidav pind on tugevate pinnakooremise

Dünaamilise elastsusmooduli määramise põhimõtteline skeem löökresonantsmeetodiga.



kahjustustega, mis on tekkinud korduval külmumise ja sulamise tagajärjel, millele on lisanud võimsust kahtlemata ka trepi käidavatele piirkondadele talveperioodil jää peletamiseks soola raputamine. Mitmete sarnaste eksimuste põhjal tuleb reageerida valjult – betoonitööde teostajate teadmised betooni külmakindluse alal on sageli väga kesised, mis omakorda sunnib rangemate nõuete kehtestamist.

Millistest meetoditest räägime?

Kuidas betooni sisestruktuuri kahjustusi hinnata? Ei ole mõtet leiutada jalgratast, vaid tuleks vaadata, millega tegelevad vastavad uurimisgrupid Euroopas. Siiski ei juhtu muudatuste ja täienduste tegemine standardites üleöö, see on pikk ja aeganõudev protseduur.

Betoonide külmakindluse määramisel Euroopa Standardikomitee tehnilise raporti CEN/TR 15177:2006 "Testing the freeze-thaw resistance of concrete – Internal structural damage" kohaselt on betooni sisestruktuuri kahjustuste hindamiseks materjali külmumis-sulamistsükklite järel betooni suhteline dünaamiline elastsusmoodul ($RDM_{n,n}$).

Nimetatud alternatiivmeetodi kohaselt valmistatakse uuritavast betoonisegust kas prismad mõõtmetega $400 \times 100 \times 100$ mm või kuubikud mõõtmetega $150 \times 150 \times 150$ mm, millest saetakse välja plaadid. Katsekehade külmutus-sulatustsükkel algab 28 päeva vanuselt.

Enne külmutus-sulatustsükklite algust mõõdetakse katsekehade nimiväärtus materjali sisestruktuuri kahjustuste hindamiseks kas löökresonantsmeetodi või impulsi levimise kiiruse määramisega. Käesolev artikkel käsitleb lähemalt prismatesti löökresonantsmeetodiga, kus pärast igat 7, 14, 28, 42 ja 56 tsüklit mõõdetakse katsekehade omavõnkesagedust.

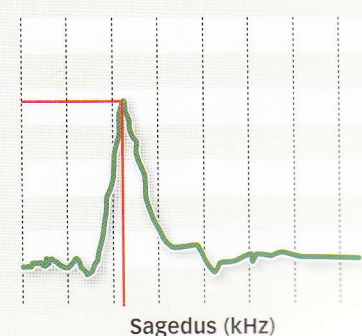
Dünaamilise elastsusmooduli määramine resonantsmeetodil põhineb elastsete lainete levimise teoorial – keha resonantssagedus on võnkeamplituudi järsk kasv perioodilise välismõju sageduse kokkulangemisel süsteemi (keha) omavõnkesagedusega.

Materjali dünaamiline elastsusmoodul on muutumatute omadustega materjalil konstantne suurus. Kui aga materjali sisestruktuuris toimub muutusi (näiteks pragude tekkimine agressiivse keskkonna mõjul või vastupidi, tiheduse kasv kivinemise perioodil), muutub laine levimise keskkond ehk materjali sisestruktuuri muutused muudavad ka keha omavõnkesagedust.

Joonisel 1 on toodud resonantsmeetodi graafilised mõõtmistulemused betoonist katsekeha kohta – horisontaalsel teljel on katsekehast läbiva laine sagedus, vertikaalsel teljel amplituud. Näeme joonisel amplituudi järsku kasvu välismõju sageduse kokkulangemisel keha omavõnkesagedusega (tähistatud joonistel punase joonega).

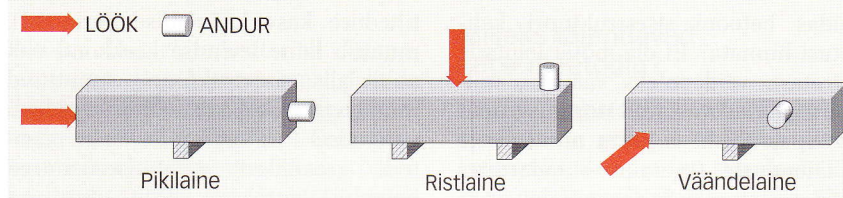
Dünaamilise elastsusmooduli määramisel mõõdetakse materjali piki-, risti- ja väändelaine omavõnkesagedust. Katsekeha asetatakse pehmele alusele (vt joonis 2), andur, mis on ühenduses mõõteseadmega, viiakse

Joonis 1. RDM-i määramine graafiliselt – keha omavõnkesageduse fikseerimine.



Tabel 2. Kolm võrdväärset katsemeetodit betooni külmakindluse määramiseks Soome BY50-st.

Eksplua- tatsioo- niaeg [aastad]	Kesk- konna- klass	Õhupooride vahekaugus [mm]	Külmutus-sulatustest SFS 5447			Plaaditest SS-137244		
			Tsükli- arv	Painde-lõhes- tustõmbetuge- vuse suhe [%]	Suhteline dünaamiline elastsusmoodul γ_{56} [%]	Meetod: A - soola- lahusega B - destillee- ritud veega	Massikadu pinnakooru- misel [g/m ²]	Suhteline dünaami- line elast- susmoodul γ_{56} [%]
50	XF1	$\leq 0,27$	100	≥ 67	≥ 75	B	$m_{56} \leq 500$	≥ 67
	XF2	$V/T > 0,40; \leq 0,25$ $V/T \leq 0,40; \leq 0,30$	-	-	-	A	$m_{56} \leq 500$	-
	XF3	$\leq 0,23$	300	≥ 67	≥ 75	B	$m_{56} \leq 200$	≥ 75
	XF4	$V/T > 0,40; \leq 0,23$ $V/T \leq 0,40; \leq 0,27$	-	-	-	A	$m_{56} \leq 200$	-
100	XF1	$\leq 0,25$	300	≥ 67	≥ 75	B	$m_{56} \leq 200$	≥ 75
	XF2	$V/T > 0,40; \leq 0,23$ $V/T \leq 0,40; \leq 0,27$	-	-	-	A	$m_{56} \leq 200$	-
	XF3	$\leq 0,22$	-	-	-	B	$m_{56} \leq 100$	≥ 85
	XF4	$V/T > 0,40; \leq 0,23$ $V/T \leq 0,40; \leq 0,25$	-	-	-	A	$m_{56} \leq 100$	-

Joonis 2. RDM-i määramine löökresonantsmeetodil – lainelevimise suunad.

kontakti katsekehaga, seejärel võetakse kindla suuruse ja massiga haamer ning antakse katsekeha fikseeritud mõõtepunktile kerge löök resonantsi tekitamiseks, mis võimaldab ostsilloskoobilt fikseerida keha omavõnkesageduse. Kaasaegsed mõõteseadmed arvutavad algoritmiga välja dünaamilise elastsusmooduli.

Betooni sisestruktuuri muutused väljendatakse suhtelise dünaamilise elastsusmooduli kaudu, mis on arvutatav järgmiselt:

$$RDM_{FF,n} = \left(\frac{f_n}{f_0} \right)^2 \cdot 100 [\%] \quad \text{Valem 1, kus}$$

$RDM_{FF,n}$ – suhteline dünaamiline elastsusmoodul [%];

f_0 – materjali omavõnkesageduse algväärtus [kHz];

f_n – materjali omavõnkesageduse väärtus pärast n tsükli läbimist [kHz].

Külmakindluse määramisest Põhjamaades

Erinevalt Eesti külmakindluse standardist on Soome BY50 kohaselt kasutusel kolm võrdväärset katsemeetodit

betooni külmakindluse hindamiseks, millest üks on õhupooride vahekauguse määramine.

Põhjamaade uurimused on näidanud, et külmakindla betooni tagab õhupooride maksimaalne vahekaugus, mis sõltub betooni keskkonnaklassist ja vesitsemmenttegurist.

Õhku sisseviiva (kaasava) betoonilisandi roll ei ole mitte niivõrd luua õhumulle, kui pigem stabiliseerida neid, hoides väikeseid mikromulle eraldi ja ühtlaselt jaotununa betooni sisestruktuuris. Kinniseid, betoonisegusse viidavaid õhupoore on nimetatud teisisõnu ka nn reservpoorideks, mis tähendab, et kapillaarpoorides liikvel veel oleks, kuhu tungida sisepinge tekkimisel.

Siinkohal tekib kohe küsimus: õhupooride vahekauguste hindamisel saab kontrollida küll õhku manustava lisandi tekitatud pooride hulka, jaotust ja nende vahekaugusi, aga kas pooride vahekauguse mõõtmine näitab, mis toimub betooni sisestruktuuris ja millises etapis on lagunemine? Soomlaste põhjalikud uurimused on näidanud, et korrelat-

sioon on tegelikult marginaalne.

Teiseks alternatiivmeetodiks kasutavad soomlased SFS 5447 järgi suhtelist painde-tõmbetugevust, mida täiendab suhteline dünaamiline elastsusmoodul, ning kolmandaks pinnakoormist (analoogselt teostatakse külmakindluse määramine ka Eestis EVS 814:2003 järgi), mida Soome BY50 kohaselt täiendab suhteline dünaamiline elastsusmoodul.

Kui vaadata Rootsis kehtivat standardit SS 137244, mis võeti aluseks Eesti külmakindluse standardi EVS 814:2003 koostamisel, hinnatakse Rootsis betooni külmakindlust vaid väliste kahjustuste kaudu. Rootslased oma katsemeetodis sisestruktuuri kahjustusi täiendavalt arvesse ei võta.

Aeg hinnata kvaliteeti

Ehitusboom on möödas, tööde kvantiteedi forsseerimise asemel on olnud vahepeal aega mõista mitmeid tormlemisel tehtud vigu ja hinnata kvaliteedi väärtust.

Tulevikusuund Eestis betooni omaduste paremaks mõistmiseks ning materjali kvaliteediomaduste suurendamiseks võiks olla standardile EVS 814:2003 täiendusettepanekute koostamine ning paralleelselt pinnakoormise alusel kujundatud külmakindluse klassidele ka betooni suhtelise dünaamilise elastsusmooduli tasemete kujundamine, mis võtaks arvesse paralleelselt ka betooni sisestruktuuri kahjustused. Tallinna Tehnikaülikooli ehitustootluse instituudi teadus- ja katselaboratooriumis on alustatud betooni sisestruktuuri kahjustuste uurimist. ■