

# BETOONI KÜLMAKINDLUSE HINDAMISE UUED PÕHIMÕTTED

Betoonide alal on Euroopa standardimises tehtud viimasel ajal märkimisväärseid edusamme. Nii betoonisegude kui ka kivinenud betooni katsestandardeid on kinnitatud ligikaudu 20, tootestandard EN 206-1, mis kahjuks liikmesriikide erimeelsuste tõttu ei ole küll harmoneeritud, kinnitati 2000. aasta mais. Selle juurutamise viimane tähtaeg Euroopa Ühenduse liikmesmaades on detsember 2003.

Eesti betooni ja betoonitoodete standardimise komitee EVS/TK 7 on korraldanud nimetatud standardite tõlkimise, valmistudes neid üle võtma Eesti standarditeks.

Standard EN 206 annab piisava klassifikatsiooni erinevate keskkonnamõjurite kohta, mis otseselt mõjutavad betooni pikaajalisust, kuid konkreetseid nõudeid betoonile on selle juures käsitletud üldiselt nõrgalt, eriti puudulikult betooni külmakindluse nõudeid. Viited külmakindluse määramise katsemeetoditele puuduvad täielikult.

Viimasest asjaolust johtuvalt on paljudes riikides, eriti Põhjamaades, alustatud oma rahvuslike lisade koostamist betooni pikaajalisust tagavate nõuete kohta (Soome vastavas töögrupis osaleb ka allakirjutanu), aga samuti tehniliste juhendite korrigeerimist (nt Soomes by 32).

Lähtudes eelpooltoodust on Tallinna Tehnikaülikooli ehitustootluse instituudi töögrupp instituudi direktori Toomas Lauri juhtimisel koostanud Majandusministeeriumi tellimisel Eesti standardi "Normaalbetoonide külmakindluse" eelnõu, mille põhimõtteid alljärgnevalt tutvustamegi.

Eesti on võtnud orientatsiooni valdavalt eurostandardite kasutamisele, mistõttu on otstarbekas ka betoonide külmakindluse hindamisel lähtuda ettevalmistatud eurostan-

dardite eelnõudest nii nõuete kui ka katsemeetodite osas.

Eesti standardi eelnõu koostamisel on külmakindluse nõuete spetsifitseerimisel võetud aluseks EN 206-1 keskonnaklasside liigitus. Katsemeetodika osas lähtuti CEN-i standardimise tehnilise komitee CEN/TC 51 poolt koostatud Euroopa standardi kavandi eelnõust (doc. N 649). Selle puhul on omakorda lähtutud Rootsi standardist SS 137244 "Betooni katsetamine – Kivistunud betoon – Külmakindlus (katse plaadiga)", Saksa juhiste "Betooni katsetamine – Külmutamis-sulatamiskindlus – Kuubikute pinnakoormine vees ja 3%-lises NaCl vesilahuses" (DAFStb Heft 422) ning RILEM-i soovitusel TC117-FDC "Betooni külmutamis-sulatamiskindlus ja vastupidavus jäätõrjele".

Oma rahvuslike standardite põhimõtete säilitamiseks on eri liikmesmaade tungivaid

nõudeid arvestades lülitatud Euroopa standardi kavandi eelnõusse kolm katsemeetodit: põhimeetod ja kaks alternatiivmeetodit (meeldetuletuseks: Euroopa hariliku tsemendi harmoneeritud tootestandard sisaldab 27 tsemendi eritüüpi). Eesti standardi eelnõusse on võetud ainult põhimeetod, mis omakorda lähtub Rootsi standardist SS 137244.

## Külmumise ja sulamisega kokkupuutuvate betoonarandite vastupidavus

peab olema piisav nende projekteeritud kasutusea vältel. Siinjuures peavad betooniteed ja teised transpordiehitised olema külmakindlad ka jäätõrjeainete kasutamisel. Uue koostisega betoonide, uute liсандite või tehnoloogia muutmise puhul, samuti kaubabetooni ja betoonkonstruktsioonide sertifitseerimisel ning jä-

relevalves on vaja määrata betooni külmakindlus otsese katsetamisega.

Erinevates riikides on betooni külmakindluse hindamiseks välja töötatud mitmeid katsetusmeetodeid: otsene vahelduv külmutamine-sulatamine; hindamine värske betooni õhusisalduse järgi; arvutuslik, võttes arvesse betoonisegu koostist iseloomustavaid parameetreid jne. Otsesel katsetamisel, pärast vahelduvat külmutamist-sulatamist hinnatakse betooni külmakindlust painde-tõmbetugevuse või dünaamilise elastsusmooduli languse või massikao järgi.

Aastakümneid ja kuni tänaseni kasutatakse Eestis betooni külmakindluse hindamisel GOST-standardeid, milledest viimastena on olnud otsese katsetamisega GOST 10060-87 ja GOST 10060-95. Nimetatud standardid esitavad väga ranged nõuded nii massikaole (pinnakoormisele) kui

## Eesti külmakindluse standardi kasutamisel tuleb lähtuda lisaks järgmistest standarditest

EN 206-1*	Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity
EN 12350-7*	Testing fresh concrete – Part 7: Air content of fresh concrete – Pressure methods
EN 12390-1*	Testing hardened concrete – Part 1: Shape, dimensions and other requirements for test specimens and moulds
EN 12390-2*	Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength tests
EN 12390-7*	Testing hardened concrete – Part 7: Density of hardened concrete
EN 197-1**	Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements
SS 137244	Concrete testing – Hardened concrete – Scaling at freezing

\* Ette valmistatud ülevõtmiseks Eesti standardiks

\*\* Ette valmistatud ülevõtmiseks Eesti standardiks, tsemendi standardina on käesoleval ajal kehtiv standard EVS 635:1999

**Tabel 1. Külmaskindluse keskkonnaklassid**

Kesk-konna klass	Keskkonna kirjeldus	Näited keskkonnaklasside rakendamise kohta
XF1	Veega, ilma jäitevastase aineta mõõdukalt küllastunud	Vihma ja külma eest kaitsmata püstsed betoonpinnad: teest eemalasuvate hoonete fassaadid, samade hoonete soklid; samuti: kütmata hoonete sisemised betoontarindid, käigutunnelid, külmhooned
XF2	Veega ja jäitevastase ainega mõõdukalt küllastunud	Transpordiehitiste püstsed betoonpinnad, mis on külmumise ja jäitevastast ainet sisaldavate udupiiskade eest kaitsmata: sillapostid, maanteede müratõkkeseinad, teeäärsete hoonete soklid
XF3	Tugevasti veega küllastunud, ilma jäitevastase aineta	Vihma ja külma eest kaitsmata betoonpinnad: välisbasseinid, veehoidlad, tiigid; hoonete rõdud, terrassid
XF4	Veega ja jäitevastase ainega või mereveega tugevasti küllastunud	Betoonpinnad, mis on avatud jäitevastaseid aineid sisaldavatele pritsmetele ja külma mõjule. Jäitevastaste ainete mõjule avatud tee- ja sillakatted. Pritsmete tsoonis asuvad külma mõjule avatud mererajatised, lisaks: parkimisplatsid, garaažide sissesõidu kaldteed, välistrepid

ka sisestruktuuri kahjustusele. Võrreldes survetugevusega enne katsetamist on pärast etteantud külmutus-sulatustsükleid lubatav massikadu 3% ja survetugevuse langus 5%. Vi-

mane on kahe tulemuse võrdlemisel juba ligilähedane katsetäpsusele.

Pärast uue Eesti standardi juurutamist kaovad järgmised senini kasutusel olevad be-

toonide külmaskindlust puudutavad normid ja standardid:

GOST 26633-91 – БЕТОНЫ ТЯЖЕЛЫЕ И МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ.

GOST 10060-87 ja -95 – БЕТОНЫ. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ МОРОЗОСТОЙКОСТИ.

Külmaskindluse nõuete püstitamisel tuleb loomulikult arvestada Eesti kliimaatiliste tingimustega. Betooni ebapiisava külmaskindluse korral eristatakse kaht eri liiki kahjustust: pinnakooremise ja sisestruktuuri kahjustused. Mõlema nähtuse vahel on ka teatav funktsionaalne side. Käesolevas Eesti standardis on betooni külmaskindluse otsest määramist käsitletud ainult pinnakooremisest (massikaost) lähtudes.

Eesti standard on määratud juhendamiseks ehitiste projekteerimisel, betooni ja betoonitoodete tootmisel, kvaliteedijuhtimisel, -hindamisel, -järelvalvel ja tarnimisel.

## Käsitlusala

Eesti standardis püstitakse nõuded normaalbetooni külmaskindlusele sõltuvalt betoontarindi eksploatatsiooni-

**Tabel 3. Betooni koostisele ja omadustele esitatavad nõuded (informatiivne)**

	Külmakindluse klass			
	KK1	KK2	KK3	KK4
Maksimaalne v/ts	0,55	0,50	0,45	0,45
Minimaalne tugevusklass	C30/37	C30/37	C30/37	C40/45
Minimaalne tsemendi hulk (CEM I 42,5) kg/m <sup>3</sup>	280	280	280	300
Min. manustatav õhusisaldus, % kui täitematerjali D, mm				
8		5	5	6
16		4	5	5
32		4	4	5
Muud nõuded		Täitematerjali piisav külmakindlus vastavalt EN 12620:2000 nõuetele		

tingimustest ja antakse katsemeetod selle otseseks määramiseks. Betoontarindite projekteerimisel tuleb sageli arvestada peale külmakindluse nõude ka teiste keskkonnanaklasside mõjuritega (EN 206-1 jaotis 4.1), mis võivad tingida erimeetmete rakendamist nii betooni koostisosade valikul, tehnoloogilises protsessis kui

ka betoontarindite konstruktsioonis (nt armatuuri kaitsekihi määramisel).

Standardis on kirjeldatud betooni külmakindluse hindamist külmutamis-sulatamis-meetodiga otsesel katsetamisel ettenähtud katsetus(külmutus)keskkonnas, milleks võib olla kas vesi või 3% NaCl vesilahus.

Arvestades standardis EN 206-1 määratletud konkreetset keskkonnanaklassi, mille alusel toimub betoontarindi külmakindluse klassi ja sellele vasta-va vastavuskriteeriumi valik, võib üksikjuhtudel nii keskkonnanaklassi (külmakindluse klassi) kui ka katsetus(külmutus)keskkonna määramine toimuda osapoolte kokkuleppel.

Käesolev standard ei käsitle standardi EN 206-1 klassifikatsiooni järgi raske- ega kergbetooni (mull- ja korebetoon).

### Nõudeid betooni külmakindlusele

Vaata tabelit 1, kus on välja toodud keskkonnanaklassid vastavalt EN 206-1 jaotises 4.1 esitatud keskkonnamõjurite liigitusele külmutamis-sulamis-mõju järgi, samuti näited betooni ja betoontoodete kuulumise kohta erinevatesse keskkonnanaklassidesse.

### Vastavuskriteeriumid

Betooni vastavust külmakindluse nõuetele tuleb hinnata kõigi külmakindluse klasside korral otsese katsetamisega juhul, kui tootja deklareerib kaubabetooni või betoontootet vastavust külmakindlusele.

Püsiva tootmise korral kontrollitakse sertifitseeritud kaubabetooni või betoontoo-

**Tabel 2. Betooni külmakindluse normväärtused**

Keskonna klass	Külmakindluse klass	Külmakindluse vastavuskriteeriumid, kui külmutuskeskkonnaks (külmutusaineks) on	
		vesi	3% NaCl lahus
XF1	KK1 (F50)*	$S_{56} \leq 1,00$ – koorunud (murenenud) materjali mass pärast 56 tsüklit on väiksem kui $1,00 \text{ kg/m}^2$	$S_{28} \leq 1,00$ – koorunud (murenenud) materjali mass pärast 28 tsüklit on väiksem kui $1,00 \text{ kg/m}^2$
XF2	KK2 (F100)	$S_{56} \leq 0,50$ – koorunud (murenenud) materjali mass pärast 56 tsüklit on väiksem kui $0,50 \text{ kg/m}^2$	$S_{28} \leq 0,50$ – koorunud (murenenud) materjali mass pärast 28 tsüklit on väiksem kui $0,50 \text{ kg/m}^2$
XF3	KK3 (F150)	$S_{56} \leq 0,20$ – koorunud (murenenud) materjali mass pärast 56 tsüklit on väiksem kui $0,20 \text{ kg/m}^2$	$S_{28} \leq 0,20$ – koorunud (murenenud) materjali mass pärast 28 tsüklit on väiksem kui $0,20 \text{ kg/m}^2$
XF4	KK4 (F200)		$S_{28} \leq 0,10$ – koorunud (murenenud) materjali mass pärast 28 tsüklit on väiksem kui $0,10 \text{ kg/m}^2$

\* Orienteerumiseks on sulgudes toodud külmakindluse margid (F) määratuna GOST 26633-91 ja katsetatuna GOST 10060-87 järgi, mis uude standardisse tegelikult ei kuulu. Betooni külmakindluste suhte määramine tuleb vastavate võrdluskatsetustega täpsustada.

dele vastavust külmakindlusele vähemalt kaks korda aastas. Lisaks tuleb kontrollida juhtudel, kui:

- muudetakse betoonisegu koostist (uus sideaine, täitematerjal või lisandid);
- muutub oluliselt betoonisegu transportimise või paigaldamise/tihendamise tehnoloogia;
- tootmine on alperioodis, püsiva tehnoloogia väljatöötamine ja täpsustamine alles toimub.

Betooni külmakindluse hindamise vastavuskriteeriumiks on tabelis 2 toodud katsekeha pinnakooremise (massikao) piirväärtus ( $S_n$ ) ettenähtud külmutus-sulatustsükli järgi.

Külmakindluse nõudele vastava kaubabetooni või betoontoodete tootmisel on soovitatav lähtuda tabelis 3 toodud tehnoloogilistest nõuetest, mis võivad olla teatud eelduseks külmakindla betooni saamisel.

### Katseteetodika

Selle meetodiga määratakse betooni külmakindluse kordu-

va külmutamise ja sulatamise teel destilleeritud vees või 3%-lises naatriumkloriidi (NaCl) vesilahuses.

Alljärgnevalt on kirjeldatud proovikehade ettevalmistusprotsessi.

Katsekehad valmistatakse ette kooskõlas standardiga EN 12390-2. Betoonisegu tihenda-

takse vastavalt tehnoloogiale (soovitavalt vibreerimisega).

Kuubikust (150 x 150 x 150 mm) lõigatakse välja katsekeha paksusega 50 mm ning mille pinna mõõtmed on 150 x 150 mm. Katsetamisel asetatakse katsekeha lõikepinnaga ülespoole.

Katsekeha kõikidele külge-

dele, välja arvatud pealispind, kleebitakse kummiümbris. Kummiümbrise serv ulatub 20 mm üle katsekeha serva, mis võimaldab hoida külmutusainet katsekeha pinnal.

Katsekeha kõik küljed, välja arvatud pealispind, isoleeritakse 50 mm paksuse soojusisoleerimaterjaliga. Polüetüleenkile takistab aurumist katsekeha pealispinnalt, millele on valatud 3 mm paksune külmutusaine kiht.

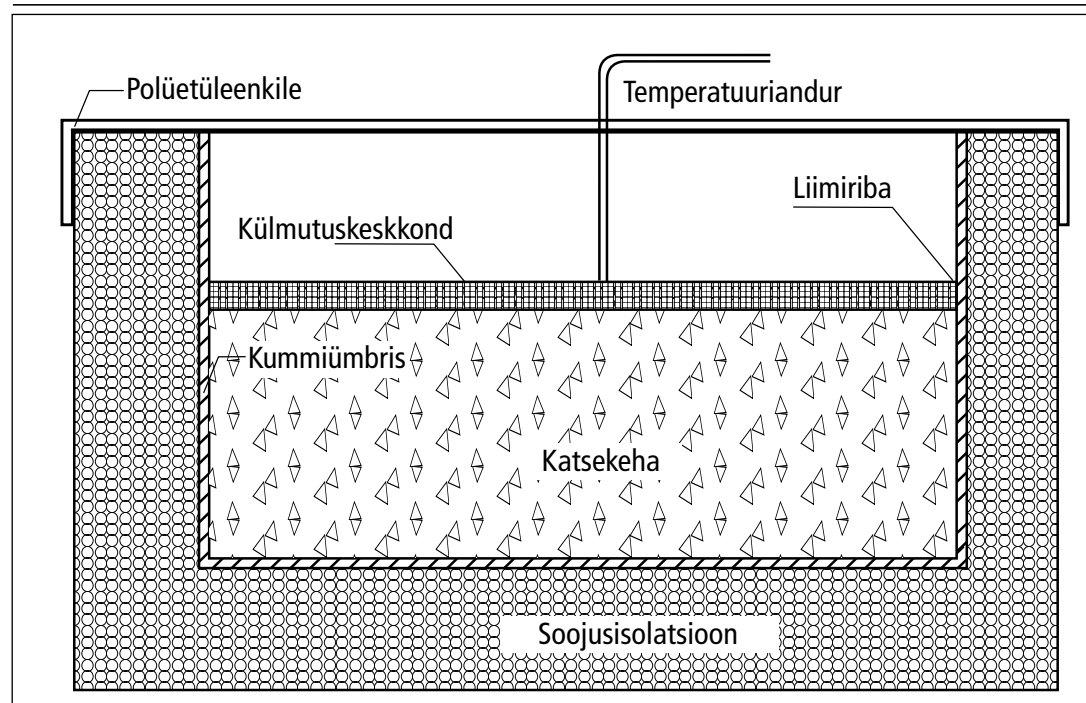
Külmutuskindlus määratakse automaatselt reguleeritavas külmutuskapis joonisel 2 toodud režiimi järgi. Katsekeha külmutatakse ja sulatatakse korduvalt. Üks külmutamis-sulatamistsükkel kestab 24 tundi. Pärast kindlaksmääratud arvu tsükleid määratakse katsekeha pealispinnalt murenenud materjali kogus. Murenenud materjali lõplik mass (kaalukadu) määratakse 28 või 56 tsükli kumulatiivväärtuse põhjal.

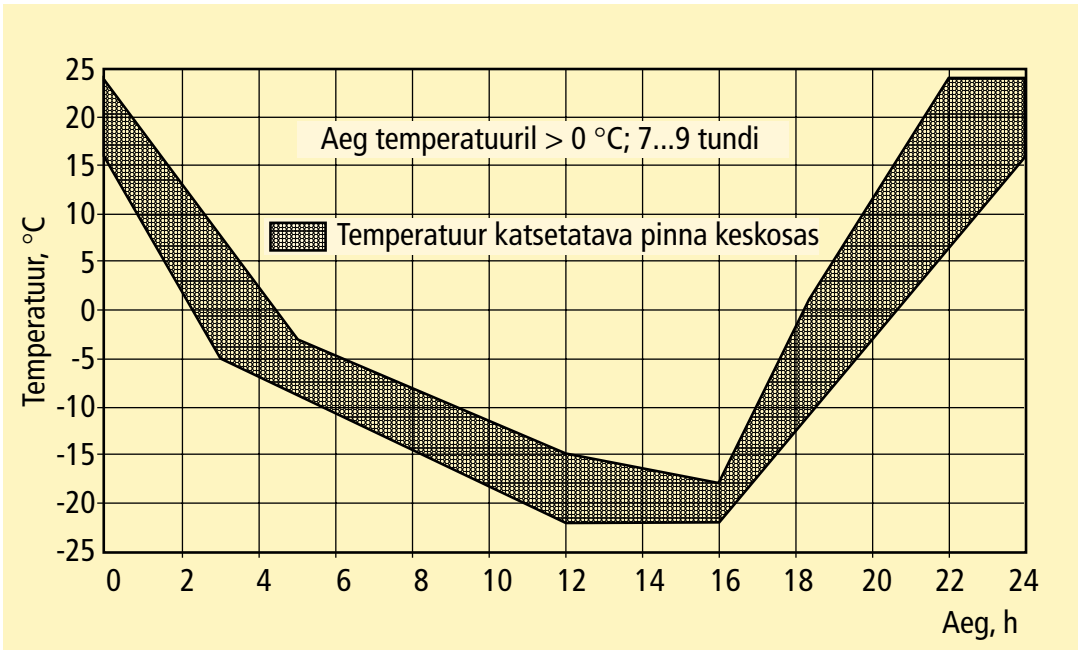
Murenenud materjali mass  $M_n$  grammides arvutatakse valemist:

$$M_n = M_{\text{üld}} - M_{\text{anum}} + \text{filter}$$

kus  $M_{\text{üld}}$  – murenenud materjali mass koos anuma ja filterpaberiga, g, ja  $M_{\text{anum}} + \text{filter}$  –

Joonis 1. Külmutamis-sulatamiskatse korraldamise põhimõtteline skeem





Joonis 2. Külmutuskeskkonna temperatuuri-ajatsükkel katsetatava katsekeha pinna keskel

anuma ja filtri mass, g

Tulemus ümardatakse täpsusele üks gramm.

### Tulemuste väljendamine

Iga mõõtmise ja katsekeha kohta arvutatakse pärast  $n$  arvu tsükleid murenenud materjali ühikulise pindala kohta selle summaarne kogus ( $S_n$ ) kilogrammides ruutmeetri kohta ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) järgmise valemi abil:

$$S_n = \frac{M_n}{A} \times 10$$

kus  $M_n$  on murenenud materjali summaarne mass (kaalukadu) grammides pärast  $n$  arvu tsükleid, veapiiriga 1 gramm

$A$  on katsetatav pind,  $\text{cm}^2$ , veapiiriga  $1 \text{ cm}^2$ , mis on arvatud kummagi külje vähemalt kahest mõõtmistulemusest, veapiiriga  $0,5 \text{ mm}$ .

Betooni külmakindluse hindamiseks arvutatakse nelja katsekeha kaalukao keskmine väärtus ja dispersioon.

### Võimalikud kõrvalekalded standardmeetodist

Standardkatsemeetodi kirjeldamisel käsitletakse katsekeha mõõtmega  $50 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ , mis katse alguseks on 31 päeva vana ning mille puhul katsetatakse selle lõigatud pinda. Samasugust põhimõtet võib rakendada ka muude tingimuste korral. Harilikult on

tegemist standardmeetodist erineva katsekehade valmistamise ja töötlemise meetodiga. Alternatiivselt võib kasutada näiteks järgmisi meetodeid:

- katsekeha geomeetriline vorm võib olla teistsugune, kuid selle paksus peab alati olema  $50 \pm 2 \text{ mm}$ . (Seda meetodit võib näiteks kasutada valmis monoliitsetest või monteeritavatest konstruktsioonidest väljasaetud või -puuritud katsekehade katsetamiseks. Väljapuuritud proovikeha läbimõõt ei tohi olla väiksem kui  $95 \text{ mm}$ );
- lõigatud pinna asemel võib katsetada betoonvalu pealispinda või vastu vormi/raketist olnud pinda;

- võib kasutada muid kivine-mistingimusi ning külmutamis-sulatamiskatse alguses ei pruugi betooni vanus olla 31 päeva. Pärast puurkärnade saabumist laborisse asetatakse need vähemalt kaheks ööpäevaks hoiukambris, mille järel toimub katsekeha, kõrgusega  $50 \pm 2 \text{ mm}$  väljasaagimine;
- NaCl asemel võib võtta muid jäätörjeks kasutatavaid vahendeid;
- külmutus-sulatustsüklite arv võib varieeruda.

Alternatiivvariantide puhul lõigatakse katsekehad paksusega  $50 \pm 2 \text{ mm}$  valmis kümme päeva enne külmutamis- ja sulatamiskatse algust. Nende kümme päeva jooksul hoitakse katsekehi seitse esimest päeva hoidekambris ja seejärel taasküllastatakse külmutusainega kolme päeva jooksul analoogselt standardmeetodile. Edasi jätkub katse vastavalt standardmeetodis sätestatule.

Katseprotokolli märgitakse kõik kõrvalekalded standardmeetodist.

Katsetulemuste täpsust hinnatakse katsetulemuste korduvuse ja korrutatavuse kaudu.

Artikli autor ootab tänuga kirjutise kohta arvamusi ja ettepanekuid e-postiaadressil: tootlus@edu.ttu.ee

TOOMAS LAUR  
TTÜ EHIJUSTOOTLUSE  
INSTITUUDI DIREKTOR

