

BETOONI KLASS, SELLE MÕISTE JA MÄÄRAMINE

Betooni iseloomustavad paljud omadused: tugevus (surve-, tõmbe-, nakke- tugevus jne), deformatsiooniomadused (elastne deformatsioon, roome ja mahukahanemine), tihedus, külma- ja kulumiskindlus, veetihedus, vastupidavus keemilistele mõjutustele, dekoratiivsus ja veel muudki. Milline neist omadustest on oluline betooni kvaliteedi hindamisel, sõltub konkreetsele konstruktsioonile esitatavatest nõuetest ja konstruktsiooni töötingimustest. Näiteks eluruumi vahelaepaneeli puhul ei oma betooni külmakindlus ja püsivus keemiliselt agressiivses keskkonnas mingit tähtsust, küll aga on need omadused esmaolulised teeplaadi või kõnnitee äärekivi valmistamisel.

Siiski on betoonil mõningaid, eeskätt betooni tugevusega seotud omadusi, millel on betooni kvaliteedi hindamisel üldisem tähendus. Selliseid projekteerimisel etteantavaid põhilisi betooni kvaliteedinäitajaid nimetatakse betooni klassideks või markideks. Seejuures klass või mark on betooni kvaliteedinäitaja üks kindlatest normeeritud väärtustest.

Betooni klass

Põhimõtteliselt võiks betooni mingit omadust kirjeldada nii klassi kui ka marki abil, nende erinevus seisneb vaid selle omaduse garanteerituse tasemes. Klass määratakse kvaliteedinäitaja (näiteks tugevuse) teatud tõenäosusega garanteeritud suuruse järgi, mark selle näitaja keskmise suuruse järgi.

SNiP 2.03.01-84 eristab betoon- ja raudbetoonkonstruktsioonide jaoks järgmisi betooni klasse ja marke:

- survetugevusklass B,
- külmakindlusmark F,
- veetihedusmark W ja
- tihedusmark D.

Euroopa betoonistandardi eelnõus prEN 206, mis on aluseks Eesti betoonistandardi koostamisel, vaadeldakse kivistunud betooni korral survetugevusklassi C, mitmed muud kvaliteedinõuded ei ole formuleeritud klassi või margina.

Kuna betooni survetugevus iseloomustab kaudsel ka betooni muid tugevus- ja deformatsiooniomadusi, siis loetakse betooni põhiliseks kvaliteedinäitajaks betooni survetugevusklassi (varem

survetugevusmarki), mille vaatlemisega ka allpool piirduetakse.

Betooni survetugevusklass ehk lihtsalt **betooni klass** väljendatakse enamasti betooni 95% tõenäosusega garanteeritud silindrilise või kuubilise survetugevuse kaudu.

Betooni 95% tõenäosusega garanteeritud tugevust nimetatakse normtugevuseks, s.o tugevuseks, millest suuremat või millega võrdselt tugevust omavad 95% kõigist vaadeldavast betoonist valmistatud katsekehadest. Betooni klassi ja normtugevuse mõisted siiski ei ühti, klass on betooni normtugevusele lähim väiksem suurus normidega ette antud klasside reas.

Võtame näiteks Eesti raudbetoonkonstruktsioonide projekteerimisnormides EPN 2 fikseeritud klasside reast kaks naaberklassi C20/25 ja C25/30. Kui betooni silindriline normsurvetugevus f_{ck} on piires $20 \text{ MPa} \leq f_{ck} < 25 \text{ MPa}$ või kuubiline normsurvetugevus $25 \leq f_{cube,k} < 30 \text{ MPa}$, siis vastab betoon klassi C20/25 nõuetele. Teisisõnu, betooni klass on C20/25, kui vähemalt 95 protsendil katsetatud silindritest või kuupidest survetugevus ei ole väiksem kui 20 või 25 MPa.

Betooni klass tuli Eestis kasutusele 1984. aastal koos projekteerimisnormidega SNiP 2.03.01-84. Kuni selle ajani oli meil betooni kvaliteedi põhinäitajaks betooni survetugevusmark (tavaliselt lihtsalt **betooni mark**), mis erines betooni klassist vaid selle poolest, et määrati betoonkatsekehade keskmise (s.o 50% tõenäosusega garanteeritud) survetugevuse järgi. Käesoleval ajal betooni survetuge-



vuse marki enam ametlikult ei kasutata.

Betooni klassist on huvitatud erinevad asjaosalised. Betoon- või raudbetoonkonstruktsioonis kasutatava klassi määrab projekteerija lähtudes konstruktsiooni vajalikust kandevõimest, kestvusest, kasutusnõuetest ja küllalt sageli ka kogemusest. Viimasel ajal võib täheldada tendentsi kasutada suhteliselt kõrget klassi lihtsalt "igaks juhuks".

Nii betooni või betoonitoote tootja kui



ka ehitaja peavad garanteerima betooni vastavuse projektis toodud klassi nõuetele.

Kuigi iga konstruktsiooni või toote valmistamiseks kasutatud betoon peab rahuldama projektis näidatud klassi nõudeid, ei taga see veel kaugeltki konstruktsiooni või toote rahuldavat kvaliteeti. Kvaliteetne on vaid õigesti koostatud projektile vastav konstruktsioon või toode, kus on kasutatud projektis ette nähtud alltooteid (sh armatuuri) ja kus betoon vastab projekteeritud klassi nõuetele.

Eestis kasutatavad betooni klassid

Betooni klass C vastab Eesti raudbetoonkonstruktsioonide projekteerimismõõni EPN 2 eelnõule ja euronormile EC 2. Tavabetoonile on kehtestatud klassid C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60. Arvud klassitähise C taga vastavad betooni normsurvetugevusele MPa-tes. Kaldjoone peal olev tähistab silindrilist survetugevust f_{ck} (silinder diameetriga 150 mm ja kõrgusega 300 mm), kaldjoonealune on kuubiline survetugevus $f_{c,cube}$ (kuup küljepikkusega 150 mm).

Betooni klass B kehtestati Nõukogude Liidus 1984. aastal. SNiP 2.03.01-84 määratles tavabetoonile klassid B3,5, B5, B7,5, B10, B12,5, B15, B20, B25, B30, B35, B40, B45, B55, B60. Arv klassitähise B taga vastab betooni kuubilisele normsurvetugevusele R_n MPa-tes. Survetugevus määratakse kuupidel küljepikkusega 150 mm. Klassi B rakendatakse Eestis kõrvuti klassiga C.

Betooni klass K vastab Soome raudbetooninormidele B4. Määratletud on klassid K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40, K45, K50, K55, K60. Arv klassitähise K taga vastab betooni kuubilisele normsurvetugevusele f_{ck} MPa-tes (kuup küljepikkusega 150 mm, garanteerituse tase on veidi alla 95%).

Kuigi betooni margi kasutamisest loobuti Eestis ametlikult enam kui 15 aastat tagasi, on see mõiste praktikas millegipärast väga visa kaduma. Seetõttu lisame vaadeldud klassidele veel **betooni margi M**, mis oli kasutusel NLis kuni 1984. aastani. Tavabetoonile olid kehtestatud margid M50, M75, M100, M150, M200, M250, M300, M350, M400, M450, M500, M600, M700, M800. Arv margitähise M taga vastas betooni keskmisele kuubilisele survetugevusele R kgf/cm² (kuup küljepikkusega 150 mm).

Kokkuvõttena on betooni klasside puhul kasulik meeles pidada, et sama betooni korral

$C = B \approx K$, kus C, B ja K on EPN 2-le, SNiP-ile ja B4-le vastav betooni klassiarv (kuubiline normsurvetugevus).

Varem kasutatud betooni mark M ei ole põhimõtteliselt võrreldav ühegi betooni tugevusklassiga.

Kuidas määratakse betooni normtugevust?

Betooni klassi määramisel aluseks olev betooni normsurvetugevus f_{ck} (või SNiP-i järgi R_n) määratakse survekatsetel saadud tulemuste statistilise töötusega, lähtudes tavaliselt tugevuse sümmeetrilisest normaaljaotusest.

Normtugevus $f_{ck} = f_{cm} (1 - tv)$, kus f_{cm} – vaadeldavast betoonist valmistatud kõigi katsekehade keskmine tugevus
 t – tegur, millest sõltub garanteerituse määr, garanteeritus on 95%, kui
 $t = 1,64$

v – tugevuse variatsioonitegur

Variatsioonitegur $v = \sigma/f_{cm}$, kus katsetulemuste keskmine ruuthälve

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n - 1}}$$

ja

n – katsekehade üldarv

f_{ci} – üksiku katsekeha tugevus

Betooni klassivastavuse määramine

Betooni klassivastavuse määramisest on huvitatud:

- betooni valmistaja, kes peab garanteerima, et tema valmistatud betoon vastaks projekteerija, toote valmistaja või ehitaja nõuetele; sageli on toote valmistajaks betoonitootja ise;
- ehitaja, kes peab garanteerima, et ehitise (konstruktsiooni) paigaldatud betoon vastaks projektile;
- ehitusekspert, kes peab kindlaks tegema, kas betoon olemasolevas konstruktsioonis vastab teatud klassile või millisele klassile see vastab.

Laskumata detailidesse vaatleme klassivastavuse määramise põhimõtteid klasside C ja B korral. Soome klassi K kasutatakse meil peamiselt välisfirmadega (Soome, Rootsi) väga tihedalt seotud tehastes, kus valmistatavad konstruktsioonid on projekteeritud Soome normide järgi.

Artikli autor peab ebanormaalseks, kui muudel juhtudel kohalik ehitaja on sunnitud kasutama Soome või mõne muu riigi normide järgi klassifitseeritud betooni.

Betoonitehastes ning betoon- ja raudbetoonitoodete tehastes hinnatakse betooni klassivastavust lähtudes tehases tootmise käigus määratud ja jooksvalt korrigeeritavast survetugevuse variatsioonitegurist v .

Betoonipartii vastavust klassile B kontrollitakse GOST 18105-86 järgi tingimusega

$$R_m \geq R_T, \text{ kus}$$

R_m – betooni tegelik keskmine tugevus antud betoonipartiiis

R_T – betooni kontrolltugevus (variatsioonitegurist v olenev vähim lubatud tugevus)

Kontrolltugevus vaadeldaval ajaperioodil

$$R_T = K_T B, \text{ kus}$$

B – projekteeritud klassiarv (nt klassil B30 $B = 30$ MPa)

K_T – kontrolltugevustegur, mis määratakse GOST 18105-86 järgi sõltuvalt vaadeldavale perioodile eelnenud perioodi kõigi betoonipartiide keskmise variatsiooniteguri V_n suurusest

Tavabetoonil muutub K_T piirides 1,07 ($V_n \leq 0,06$) kuni 1,43 ($V_n = 0,16$).

Üksiku betoonipartii tugevuse variatsioonitegur V_m leitakse olenevalt partiis katsetatud katseseeriade arvust (minimaalselt 2, soovitatavalt üle 6), katsekehade arv igas seerias 2...8 (olenevalt seeriasisest variatsioonitegurist). V_n määramiseks peaks üldine katseseeriade arv olema vähemalt 30.

Kui katseseeriade üldarv on andmete statistiliseks töötlemiseks liiga väike (alla 30), siis soovib GOST võtta $R_T = 1,1B / K_b$. Tavabetooni korral $K_b = 0,78$ ja $R_T = 1,42B$.

Survetugevuse vastavust klassile C kontrollitakse prEN 206 järgi. Vastavusnõuded sõltuvad sellest, kas on tegemist esmase tootmisega (tootmisperiood, mille vältel koguneb vähemalt 35 katsetulemust) või pideva tootmisega (kuni 12 kuu pikkuse perioodi jooksul on kogunenud vähemalt 35 katsetulemust).

Betoonigrupi vastavus normsurvetugevusele f_{ck} (f_{ck} on võrdne murrupealsele klassiarvule, näiteks klassi C25/30 korral $f_{ck} = 25$ MPa) on tõendatud, kui vastavuskatsete tulemused rahuldavad järgmisi nõudeid:

- esmasel tootmisel $f_{cm} \geq f_{ck} + 4$ MPa, $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$ MPa;
- pideval tootmisel $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48\sigma$



MPa, $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$ MPa, kus f_{ci} – üksiku katsetulemuse suurus f_{cm} – betoonigrupi kõigi katsetulemuste keskmine suurus

σ – keskmine ruuthälve, mis arvutatakse vähemalt 35 järgneva katsetulemuse põhjal ja on saadud kontrollimisele eelneva, vähemalt kolmekuulise perioodi vältel

Katsetulemuste arv vaadeldavas grupis on esmasel tootmisel 3, pideval tootmisel vähemalt 15.

Betooni klassivastavuse kontroll ehitusel ei erine põhimõtteliselt eeltoodust.

Kontrollimisel GOST 18105-86 järgi esineb kolm võimalust.

1. Variatsiooniteguri ja klassivastavuse määramine toimub nagu tehases. See eeldab väga suurt betooni mahtu ja pikka ehituse kestvust ning ei ole Eesti oludes reaalne.

2. Betooni kontrolltugevuse $R_T = K_T B$ määramiseks vajaliku tugevuse variatsiooniteguri V_n annab oma saatedokumentatsioon kaasa betoonitootja. Vastavust kontrollitakse tingimusega $R_m \geq R_T$, keskmine tugevus R_m määratakse kohapeal valmistatud kuupide või silindritega.

3. Kui variatsiooniteguri kohta andmed puuduvad (betoonitootja ei ole võimeline garanteerima variatsiooniteguri või betoon valmistatakse ehitusplatsil), siis tuleb kontrolltugevuseks võtta

$R_T = 1,1B / K_b$, tavabetoonil $R_T = 1,42B$ (betoonitootja jaoks äärmiselt ebasoodne!).

prEN 206 järgi peab tootja ja ostja vahel enne tarnimist kokku lepitud teatud betoonikoguse klassivastavust kinnitama vastuvõtukontroll, mille puhul eristatakse kahte juhtu.

1. Kui betooni vastavus või tootjapoolne tootmiskontrollisüsteemi vastavus on ametlikult tõendatud, siis loetakse vaadeldava betoonikoguse klassivastavus tõendatuks, kui

$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$ MPa ja 2 kuni 4 tugevuskatse korral $f_{cm} \geq f_{ck} + 1$ MPa, 5 kuni 6 tugevuskatse korral $f_{cm} \geq f_{ck} + 2$ MPa.

2. Kui betooni vastavus või tootjapoolne tootmiskontrollisüsteemi vastavus ei ole tõendatud, siis loetakse klassivastavus tõendatuks, kui vähemalt kolme tugevuskatse korral

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \text{ MPa ja } f_{cm} > f_{ck} + 4 \text{ MPa.}$$

Betooni klassi määramine olemasolevas konstruktsioonis

See on omaette huvitav ja sageli küllalt segane probleem. Raske pole betooni keskmise tugevuse leidmine, vaid normtugevuse (s.o antud konstruktsioonis esineva minimaalse tugevuse) hindamine, sest variatsiooniteguri statistiliseks määramiseks vajalike tugevuskatsete arv läheks võimatult suureks. Lihtsam on olukord, kui variatsiooniteguri sisaldav dokumentatsioon on säilinud. Reeglina pole aga sellisel juhul betooni klassi ehitusjärgne määramine vajalik. Küsimuse lahendamine nõuab eksperdilt oskust olemasolevate standardite nõuded mõistlikult ekstrapoleerida, sellega seotud vastutus endale võtta ja uuritava konstruktsiooni töötamise mõistmist. Kõige selle lähem käsitlemine võiks olla aga juba omaette kirjatüki teemaks.

VELLO OTSMAA,
TEHNIKAKANDIDAAT

