

Betooni häid ja halbu külgi

Georgi Samuel, ETUI BetonTEST nõustaja

Betoon on paljude kivitaoliste ehitustoodete, nagu asfaltbetoon, polümeerbetoon või saepurubetoon, liignimi. Samas ei ole betoon kui (enam-vähem) inertsete täitematerjalide ja sideaine (tsemendi, lubja, kipsi, magnesiaalsete kemikaalide, bituumeni, tehisvaikude, savi) segu kõvastumise produkt loogika seisukohast korrektselt määratletav. Mis ja milline on betoon?

Peenema täitematerjali korral võidakse nimetada betoonisarnast toodet ka mördiks, pahtliks või lihtsalt seguks. Piir on hägus ja võib sõltuda tardumata segu käsitsusviisist (kelluga, pahtli-labidaga), väljakujunenud keeletavast või ärihuvidest.

Tsementmörti käsitsemise kellu ja silutiga, sama terasusega segust tehtud katusekivi aga nimetame betoon-katusekiviks. Kui see on äri huvides, nimetatakse kuni 3 mm terasusega liiva kuivsegu sideainega betooniseguks. Hao või õlgedega sarrustatud tampsaviseina või kruusasegust tampsavipõrandat pole aga kunagi betooniks nimetatud.

Ega nimi last riku. Kõigil neil toodetel on või on olnud ehituses oma nišš, kus üht või teist toodet on kõige otstarbekam kasutada. Tooted võistlevad oma niši laiendamise eest, ning kuni see võistlus on aus, edendab see ehitusvaldkonda.

Suurim kasutusnišš on tänapäeval kahtlemata **tsementbetoonil** (edaspidi – betoon), mille sideaineks on kas **portlandtsement** või mõni muu, tavaliselt suuremal või vähemal määral portlandtsemendi klinkrit sisaldav tsement.

Keskajal domineerisid ehituses looduskivi, tellis, puit ja pinna. Kivimaterjalide ja täiteainete (liiva, kruusa) sideainetena kasutati lupja, hüdraulilist lupja, rooma tsemendi ja kipsi. Avasid sillati kaarte, kuplite või puittaladega.

Portlandtsemenditaolist sideainet – põletatud lubjakivi ja savi segu jahvatussaadust – olevat tuntud juba Antiik-Roomas. Kölni raekoja juurdeehi-

tuse keldris eksponeeritakse Rooma asevalitseja (preetori) residentsi – preetooriumi varemeid, sealhulgas pragude ja murenemisjälgedeta betoonmassiivi, mis on varemetes ilmastikule vastu pidanud umbkaudu 18 sajandit.

Portlandtsemendi (taas)sünniaastaks võib lugeda aastat 1843, mil inglane Isaac Johnson tõstis vähesel hulgal toodetava ja kasutatava rooma tsemendi klinkri põletustemperatuuri paakumistemperatuurini. Prantsusmaal hakati portlandtsementi tootma 1850., Saksamaal 1855. ja Eestis (Kundas) 1870. aastal.

Tsementbetoon osutus kivimüüritisest tugevamaks, mis võimaldas vähendada müüritise mõõtmeid. Ka kiirenes tänu tsemendi uutele omadustele müüritise tugevuse kasv ning pikenes ehitushooaeg (jahedatesse perioodidesse). Seetõttu levis sarrustamata betoon kiiresti ning ta ei ole oma kasutusnišši minetanud tänapäevani.

Umbes samal ajal portlandtsemendi taassünniga arenes välja ka valtsterase tootmine. Valtsterasega sai sillata suuremaid avasid, valmistada õhukeseseinalisi mahuteid ning ehitada kergemaid sõrestikke ja torne. Seetõttu laiendasid terastarindid kiiresti oma kasutusala, tõrjudes eemale nii müüritist kui ka puitu.

Ent nii nagu mis tahes teisel ehitustootel, olid ka terastarinditel omad puudused. Korrosiooni vältimiseks tuli terastarindeid perioodiliselt üle värvida, tulekahjus aga varisesid terastarindid, kuigi nad ei põlenud, kiiremini kui puit.

Neid puudusi saab vältida, pannes

terase betooni sisse. Juba 1854. aastal demonstreeriti Pariisis Maailmanäitusel esimest sardbetoonplaati. Sestsaadik on sardbetoon oma kasutuspiire järjest laiendanud.

Võib-olla on liialdus võrrelda sardbetooni kasutuselevõttu ratta leiutamisega, ent ilma sardbetoonita ei suuda me tänapäeva ehituskeskkonda ette kujutada.

Ei tahaks alahinnata terase ja puidu kasutuseeliseid kande- ja piirdetarindites: teras- ja puittarindid on sardbetoonitarinditest kaalult kergemad ning võivad olla ka odavamad. Ent seal, kus tarinditelt oodatakse tulepüsivust, **elektromagneetilist ja radiatsioonikaitset, hooldusvabu ning viimistlust mittevajavaid pindu, kulumiskindlust, müra ja vibratsiooni neelamist, sooja-mahtuvust, võimalike varingute ohu varajast avastamist, kujundamisvabadust, vastupanu mitmesugustele keemilistele või bioloogilistele teguritele**, eelistatakse sageli just sardbetooni, või kui tõmbepingete taluvus pole oluline, siis (sarrustamata või vähesarrustatud) betooni.

Enne Esimest maailmasõda kasutati betooni ennekõike sildades (nii kaarkui ka talasildades) ja tööstushoonete ehitusel, kus ta võistles edukalt müüritise ning teras- ja puittarinditega. Eestis on üks mälestisi sellest ajast Kasari jõe nüüd juba 90-aastane sild, mis talub veel tänagi koormusi, mille kandmiseks ta omal ajal ehitati.

Nigel R. Hewsoni [1.] andmetel ehitatakse tänapäeval avadele 25...450 m peamiselt pingebetoonisildu. Nende eelistena nimetab autor majanduslikkust



ja esteetilisust ning kestvust.

1952. aastal Jaapanis ehitatud Tahei pingebetoonsilla seisund oli uuringute andmetel [2.] ka 50 aastat hiljem laitmatu (st kõik tarbeomadused olid säilinud, isegi algseid lagunemistunuseid polnud). Sardbetooni kestvuse näideteks Eestis on 90-aastaste tööstushoonete kandetarindid Tallinnas Koplis, aga ka Teise maailmasõja ajal sakslaste juhtimisel lõpuni ehitamata jäänud Ahtme tööstushoone karkass (ehitasid sõjavangid), mis on ilmastiku käes seisnud nüüd juba üle 60 aasta.

Enne Esimest maailmasõda hakati betooni kasutama (ka Eestis) militaar-ehitistes. Kahe ilmasõja vahel laienes betooni kasutusala aga peaaegu kõigis võimalikes valdkondades, sealhulgas vesiehitiste (paistammid, sadamakaid, kanalid, kaldakindlustused, laine-murdjad), teedeehituse (teekatted, estakaadid, viaduktid, tunnelid), mahutite (punkrid, silod, veepaagid, basseinid), tornide ja korstnate, torustike ja puhastusseadmete, samuti ühiskondlike hoonete ja elamute ehituses. Mõnel pool esines tagasilööke, mille taga olid põhjendamatu ootused, konkureerivate tarindiliikide areng ning majanduslikud tegurid. Ent üldiselt on kõik loetletud betooni kasutusala säilinud tänapäevani ning seal, kus betoonil on kas tehnilisi või majanduslikke eeliseid, teda ka eelistatakse.

Pärast sõda betooni areng jätkus. Juba sõja ajal juurutati talvine betoneerimine ning tekkisid monteeritava betooni alged (vesi- ja militaarehitised). Betoonliiprid tõrjusid välja puitliiprid. Pingebetoon võimaldas suurendada sildeavasid ning vähendada betoonarindite omakaalu. Võitluses pragude

vastu ning tarindite keemilise kaitse tõhustamiseks võeti kasutusele (teras-, klaas-, süsinik-, polümeer)kiudbetoon. Plastifikaatorite kasutuselevõtt võimaldas vähendada vee hulka segus, kokku hoida tsementi või saada tugevamat betooni.

Viimaseks sõnaks on isetihenev betoonisegu, mis võimaldab arhitektil anda tarinditele pilkupüüdvaid kujusid.

Eri vajaduste paremaks rahuldamiseks hakati juba ilmasõdade vahel tootma erinevaid tsemendi liike, mille ühisomaduseks oli portlandtsemendi klinkri suurem või väiksem sisaldus. Seegi aitas kaasa betooni kasutusvaldkonna laiendamisele.

Vaatamata kiirele arengule, on betoon hästi läbiuuritud. Sardbetooni arvutusala publitseeriti esmakordselt juba 1886. aastal (sakslase M. Koeneni poolt). Tänapäeval koordineerib uurimis- ja arendustööd ülemaailmne betooniföderatsioon (*fib*), kelle betooni näidiskoodeks (Concrete Model Code, 1990) oli aluseks ka betooni projekteerimist reglementeerivale eurokoodeks 2-le (selle põhjal koostati omal ajal Eesti projekteerimisnormid EPN 2 ja selle alusel laseb EV Standardikeskus nüüd välja vastavaid standardeid).

Näidiskoodeksit on *fib* esmaavaldamisest saadik pidevalt edasi arendanud. Töö tulemusi publitseeritakse jooksvalt ajakirjas Structural Concrete. Journal of the *fib* ja *state-of-art*'i aruannetes, samuti on need arutlusteemadeks *fib*'i teema-sümposiumidel ja kongressidel.

(*Fib*)näidiskoodeksi täienduste alusel saab juba projekteerimisel argumen-

teeritult ja tõendatult ette kavandada betoonarindite 50-aastase ja pikema kasutusea, seades selleks vajalikud teostus- ja kasutustingimused [3.]. Rohkem või vähem on reglementeeritud ka olemasoleva tarindi seisundi ja järelejäänud kasutusaja hindamine, tarindi korrashoid ja kordategemine [4.]. Betooni tüüpkoodeksi ning kahe viimati mainitud täienduse [3., 4.] eestikeelsed tõlked on kättesaadavad nii Ehituskeskuses kui ka ETUI BetonTEST-is.

Olemasolevad, vähemalt kord kvartalis *fib*'i poolt avaldatavad teadmised (*state-of-art*), sh kaasuste ja nende analüüsi kirjeldused, aitavad hoiduda senitehtud vigadest ning valida sihipäraselt ja ratsionaalselt tarindite kaitse- ja ennistusvahendeid.

Võimaluste mitmekesisus, praegune teadmiste tase ja peaaegu sajandipikkune tagasiside muudavad betooni paljudel, valdkonniti aga koguni enamikul juhtudel hindaväärt ehitustooteks.

W. R. Ashby vajaliku mitmekesisuse seaduse [5.] kohaselt eeldab kasutusotstarvete ja -tingimuste suur mitmekesisus (tulemi saavutamiseks) ka vastavate vahendite mitmekesisust. Betooni nišš ehitusvaldkonnas ongi nii suur ka seetõttu, et kasutusel olevad tooted on piisavalt mitmekesised. Täna päeva seisuga on betooni kavandajal ja tellijal vähemalt järgmised valikuvõimalused.

Tugevusklassi järgi saab eurokoodeks 2 või selle alusel väljaantud regulatsioonide kohaselt valida tavabetooni (mahumass 2000...2600 kg/m³) surve-tugevuse üheksa klassi vahel: C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60 (esimene arv näitab silindrilise katsekeha

tugevust tõenäosusega 95%, MPa, teine arv sama katsekuubiku kohta).

Nõukogude Liidu SNiP 2.03.01-84 kohaselt saab näha ette ka nõrgema survetugevusega betooni (B3,5, B5, B7,5, B10, B12,5 – kuubikulise survetugevuse järgi, MPa). Soome sardbetooninormide järgi on samuti võimalik valida madalama tugevusega mark K10 (kuubikuline survetugevus tõenäosusega veidi alla 95%, MPa). Muus osas langevad Nõukogude Liidu ja Soome regulatsioonide valikuvõimalused kokku eurokoodeks 2 omadega.

EVS-EN 206-1:2002 kohaselt saab valida madalama klassi betooni, alates silindri survetugevusest 8 MPa, mis tänapäeval on kasutusel peamiselt kergbetoonitoodete (mahumass alla 2000 kg/m³) valmistamisel. Tuleb märkida, et ilmasõdade vahel valati Eestis betooni kuubikulise survetugevuse matemaatilise ootusega (ehk tagatud tõenäosusega 50%) 70, 90, 110 ja 130 kg/cm² ning paljudel juhtudel teenib see betoon tarindites veel tänapäevalgi.

Majanduslikult lähenedes – mida kõrgem klass, seda kallim betoon – tuleb valida nii kõrge klass kui vaja, ent siiski nii madal kui võimalik.

Tehnilise käsitluse järgi – mida kõrgem klass, seda rohkem tsementi betoonis; seda suurem on nii algne kui ka eluaegne mahukahanemine ja praotekke oht, seda enam vabaneb (muude võrdsete tingimuste korral) hüdratatsiooniprotsessis vaba lupja Ca(OH)₂; seda suurem on betooni korrosiooni oht mitmesuguste keemiliste reagentide (kloriidide, sulfaatide, nitraatide, Mg- ja Al-ühendite, tugevate leeliste jne) tõttu ning sarruse korrosiooni oht karboniseerumise (vaba lubja ja süsihappegaasi ühinemise) tõttu.

Teisisõnu: valikuvabadus on suur. Ent vabadus pole midagi muud kui tunnetatud paratamatus (Baruch Spinoza, 1632–1677).

Tegelikult on asi veidi keerulisem, sest vaba lubja kogust saab reguleerida (või reaktsioone ohutuks muuta või koguni vältida) ka paljude muude vahenditega, nagu tsemendi liigi ja margi valiku, vesi-tsementteguri, mitmesuguste segulisanditega jne. Selline lai valik ja optimeerimise võimalus on betooni kasutusniši ulatuse juures üks olulisi tegureid.

Külmakindlust saab Eesti standardi



Portlandtsemenditaolist sideainet, põletatud lubjakivi ja savi segu jahvatusaadust, olevat tuntud juba Antiik-Roomas. 48,5 m kõrgune Colosseum ehitati Roomas 50. aastal.

EVS 814:2003 järgi valida nelja klassi (KK1, KK2, KK3, KK4) alt, mis sisuliselt katavad külmale eksponeeritud betooni kõik võimalikud variandid. Kasutada võib ka Saksa Föderatiivse Vabariigi ja Nõukogude Liidu vastavaid regulatsioone, või loobuda külmakindluse taotlemisest üldse (nt püsivalt kuivades tingimustes või alalisel plus temperatuuridel töötava betooni puhul).

Tarindi tegeliku külmakindluse tagamiseks tuleb siiski järgida ka muid nõudeid, sh vältida pragude teket, mitte lasta talvel betoonil külmuda liiga vara, järgida betooni hooldusnõudeid jms.

Vajadusel saab valida **veetiheda** betooni. Veetiheduse suhtes katsetatakse betoonkatsekehi standardi EVS-EN 12390-8:2002 järgi 72 tunni jooksul 500 kPa (5 bar, 5 kg/cm²) veerõhu all.

EVS-EN 206-1:2002 p 5.5.3 kohaselt lepivad veetiheduse kriteeriumi omavahel kokku betooni spetsifitseerija ning tootja. Näiteks võidakse tunnistada betoon veetihedaks juhul, kui vesi tungib katsekehasse mitte üle 50 mm, nagu sätestas EN 206 üks eelasi.

Ent vettapidavaid betoonitarindeid on läbi aegade ehitatud ka ilma betooni veetihedust eelnevalt laboratoorselt tõendamata. Kas laboratoorselt veetihedast betoonist tarind tegelikult vett peab, selgub alati hiljem. Näiteks võib vesi tungida tarindisse kivinemisaegse

mahukahanemise pragudest.

Kahjuks ei ole tsemendi kivinemisaegne mahukahanemine normitud. Kunda Nordic Tsement on siiski tellinud vastava uurimistöo ning avaldab tema poolt toodetavate tsemendiliikide oodatava mahukahanemise parameetrid lähemal ajal. Kust hankida samasuguseid andmeid imporditava tsemendi kohta, on selle kasutaja mure.

Veetihedast betoonist saab ehitada vedelikumahuteid, vettpidavaid torustikke ja puhastusseadmeid; muuta vettpidavateks paistamme ja muid veetõkkeid. Takistatud on ka mitmesuguste kemikaalilahuste tungimine betooni sisemusse, mis vähendab betooni ja sarruse korrosiooni ohtu (nt mererajatistes, sulatussooladega kokkupuutuvates teerajatistes ja keemiaettevõtetes).

Kemikaalikindlust lisab ka tsemendi ja segulisandite sobiv valik. Sellist betooni nimetatakse **kemikaalikindlaks** või vastavalt kemikaalile näiteks sulfaadikindlaks (kasutusel mererajatistes). Teatud juhtudel – kokkupuutel seebikivi, tugevate happelahuste, suhkruahuse, taimsete või loomsete rasvade või ammoniumsalpeetriga – vajab betoon siiski spetsiaalset vee- ja vastava kemikaali kindlat kaitsekihti.

Kuumakindlat betooni saab tsemendi baasil teha kuni kasutustemperatuurini 250 °C. Alates kasutustemperatuurist 50 °C muutub nii betoonitarindite konstrueerimine ja arvutamine (sh

osavarutegurid) kui tarindite valmistamine. Alates 200 °C tuleb järgida erinõudeid täitematerjalide kohta. Kasutuselaks on korstnad, kollete alused ja kuumtehnoloogiarajatised.

Kõrge kulumiskindlusega betooni kasutatakse põrandate, teekatete ja punkripindade, samuti abrasiivosakesi sisaldava vooluveega kokkupuutuva te pindade rajamisel. Täitematerjalina (selle liigi ja terasuse kohta käivad erinõuded) võidakse kasutada ka metallipuru.

Samuti võib valada **kiudbetooni** (antud juhul teraskiu lisandiga betooni). Kuid kiudbetoonil (ka muude kiudude baasil) on teisigi kasutusalasid, näiteks pragude vältimine või koguni tõmbepingete vastuvõtmine.

Arhitekt võib ette näha teatud toonis **pigmentbetooni** (tavaline betoon, millele on lisatud sobivat pigmenti), mis avardab arhitektuurseid võimalusi ning väldib vajadust tarindeid perioodiliselt üle värvida.

Betoonivaldkonna siseselt konkureerib kohtbetoon tehasevalmite betoonaranditega nii seeria- kui ka tellimustoodete osas ning kaubabetoon kohapeal valmistatud betoonisega. See võimaldab kasutajal otsida hindaväärt lahendusi, et optimeerida ehitust nii majanduslikult, organisatsiooniliselt kui ka tehniliselt; samuti tõstab see betooni kui terviku konkurentsivõimet.

Betoon on ehitusturul ka tükktoodetena: mitmesugused müüritiseplokid, sillutiskivid ja eespool mainitud betoon-katusekivi, mis konkureerivad edukalt lubi- ja tuhkbetoonplokkide, asfaltbetooni ja keraamiliste katusekividega. Esimene Eestis kasutusele võetud betoonist tükktoode oli minu teada katusekivi "taani romb" ülemöödnud sajandi lõpus. Nende tootmine lõpetati Kundas 1950. aastatel.

Betooni tänapäeva nõrkuseks on enese mainest mittehoollivate ja puudulike teadmistega isikute tegevus selles valdkonnas. Tendents tekkis Nõuko-

gude Liidus 1930. aastate paiku, mujal maailmas pärast Teist maailmasõda. Seda on püütud korvata tohtu hulga regulatsioonide avaldamise ja osaliselt ka jõustamisega, järelevalve- ja kvaliteedisüsteemide sisseviimisega, tegijate litsentseerimisega jne.

Nähu drastilisemateks ilminguteks on varingud: Nõukogude Liidus – ehitatavad saagkatused ja sillad, Eestis – üks ehitatav loomahoone ja üks 17-aastane kaubandushoone, Soomes – ehitatav kõrgelamu, USA-s – ehitatav 14-korruselise elamu jne. Siiski on betoonehitiste varingud seni vähem tõenäolised kui suureavaliste puit- ja metallkandjate varingud.

Tavaliselt ilmnevad vead esialgu silmanähtavate pragude või külmakahjustatud pindadena. Kui midagi ette ei võeta, järgneb sarruse korrosioon ja sarruse kaitsekihi murenemine.

Kahel Stockholmi sillal avastati praod kahe esimese kasutusaasta jooksul. Sillad suleti ajutiselt ja tugevdati. Iseloomulik oli, et isikuid, kelle tegevuse või tegevusetuse tõttu kahju tekkis, ei suudetud tuvastada. Pragude tekke põhjusena toodi lõpuks välja projekterimismäär, mille järgi oli seni rajatud tuhandeid ehitisi, ning otsustati, et põikjõusarrust tuleb Rootsi normis vastavalt Euroopa Liidu uutele projekterimismääradele kahekordistada.

Analoogsetel kaalutlustel on pärast Teist maailmasõda suurendatud tsemendi hulka betoonis, võetud kasutusele kõrgemaid betooniklasse jne. Ent betoonarandite kestvus on vaatamata kõigele langenud. Eestiski on mõnekümneaastaseid sildu ja viadukte remonditud või asendatud, korrodeerunud sarrusega sildu ja viadukte seisab nende tööde ootel veelgi. Pudenenud kaitsekihi ja roostes sarrusega betoonrõdusid ja varikatuseid on meil samuti hulgi, aga loodetavasti ei kuku need alla – see on sardbetoonarandite eelis.

Ühesõnaga võiks selle kohta midugi öelda nõukogude pärand – nüüd on

kõik teisiti ja parem. Kahjuks rikuivad selle idüllilise isegi ainult aastavanustes tarindites nähtavad (üle 0,3 mm laiad, mis on *fib*'i kestvustingimuste piiriks) praod, mille vahelt aeg-ajalt immitseb ka vett (Viru väljaku jalakäijate tunnel, Linnamäe paistamm, Kunstimuseumi transporditunnel jne).

Fib'i hinnangul on prao avanemisest sarruse korrodeerumiseni mitte just ränkades tingimustes aega ca 20 aastat (nn viitsütikuga pomm). Seega minetavad pragulised ja külmakahjustustega betoonarandid oma tarbeomadused kindlasti ennetähtaegselt (alla 50 aasta). Betooni mainele ei mõju see kuigi hästi, seda enam, et paljud müürid, puittarandid ja ka mõned terastarandid (mida Eestis omal ajal vähe kasutati) on vastu pidanud tunduvalt kauem.

Eelmise aasta Eesti betoonipäeval 11. märtsil tõdeti, et betooni kasutatakse kindlasti laialdasemalt, kui tema maine oleks parem. [Ⓔ]

Viidatud kirjandusallikad:

1. Nigel R. Hewson. *Prestressed Concrete Bridges: Design and Construction* 2003
2. Komonmae, R., Ohura, T., Okuda, Y. and Torii, K. *Durability investigation of prestressed concrete bridge after a performance period of 50 years. Tahei Bridge. Proceedings of the International Congress on Concrete Structures in the 21st Century, Osaka, 13-19 October 2002, paper W-330*
3. *fib (CEB-FIP) Bulletin 3. Structural Concrete. Textbook on Behaviour, Design, Performance. Updated knowledge of the CEB/FIB Model Code 1990. Volume 3, Chapter 5 "Durability". December 1999*
4. *fib (CEB-FIP) Bulletin 3. Structural Concrete. Textbook on Behaviour, Design, Performance. Updated knowledge of the CEB/FIB Model Code 1990. Volume 3, Chapter 8 "Assessment, maintenance and repair". December 1999*
5. W.R.Ashby. *Self-regulation and Requiste Variety. Systems Thinking. Penguin Education. 1969*

TALOT

- BETOONIST TEKATTEKIVID
- KÖNNI- JA SÕEDUTE AJALUSED
- BETOONISEGLED, NENDE TRANSPORT JA PuhPAMINE
- KERAMISTBETOONIST JA BETOONIST SEINA- JA VUNDAMENDIPLOKID
- ERINEVA PINNATIMISTLUSE JA YÄRVIVALIKUAGA KAUDBETOONIPANEELID
- ARMATUURTOOTED
- PALJI MUUD BETOONITOOTED

TEL. (0) 637 9285, (0) 637 6498
FAXI (0) 637 1963
VANAMÄRVA NHT 8, TALLINN
WWW.TALOT.EE

TOOME KAUBA KOHALE