

ISETIHENEV BETOON

Tänu betoonisegu atraktiivsetele omadustele on isetihenev betoon (ITB) levimas üle maailma. ITB kasutamise kaasnab industrialiseeritum ja madalama tehnilise maksumusega tootmine ehitusplatsil, see tõstab töö tootlikkust ja ehitamise kiirust, parandab konstruktsioonide pikaalisust ja väljanägemist ning kõrvaldab mõningate potentsiaalsete inimlike vigade tekke võimaluse betooni tihendamisel. ITB asendab betoonisegu käsitsitihendamise kaasaegse isetiheneva tehnoloogiaga, mislõbi paraneb nii töökeskkonna tervislikkus kui ohutus. Isetiheneva betooni tehnoloogia nõuab märksa oskuslikumat segu projekteerimist kui tavaline vibreeritav betoon, hoolikamat kvaliteedikontrolli ning sagedasemat seguproovi võtmist, eriti kasutamise algetapil.

Isetihenev betoon (ingl k *self compacting concrete* – SCC) on suhteliselt hiljutine betoonitehnoloogia arendus, mille väljatöötamise vajaduse tõstis esile Tokyo Ülikooli professor H. Okamura 1986. aastal. Selle algseks ajendiks oli kvalifitseeritud ehitustööjõu pidev vähenemine Jaapanis. Kvalifitseerimata tööjõud viis aga ehitiste kvaliteedi ja nende eeldatava pikaalisuse langusele. Sagedamini põhjustas seda hoolimatu betoonisegu tihendamine, mille tagajärjel jääb armatuuri kaitsev betoonikiht poorseks või selles leidub tühemikke. Armatuur hakkab õhu juurdepääsu tõttu varakult korrodeeruma, metallist kaitsekiht karboniseerub süsihappesgaasi toimel ning kaotab oma kaitsevõime. Betoon hakkab enneaegselt lagunema.

Lahendus leidis isetihenevas betoonis. See võimaldab paika omaraskuse mõjul ja konstruktsiooni kvaliteeti ei sõltu enam töölisest, kaob ka vajadus spetsiaalsete tihendusseadmete järele.

Isetiheneva betooni prototüübi uuringutega jõuti Tokyo Ülikoolis lõpule 1988. aastal. Üheks esimeseks isetiheneva betooni suuremahulise kasutamise näiteks on maailma pikima, 1991-meetrise sildeavaga Akashi-Kaikyo ripp silla trosside betoonist ankurdusmassiivid, millesse valati 290 000 m³ isetihenevat betooni. ITB kasutamine tavabetooni asemel võimaldab tööaega lühendada 20% võrra.

Uut tehnoloogiat püüti esialgu hoida saladuses ja betooni

toodeti mitmesuguste erinimetus all nagu NVC (*non-vibrated concrete* ehk vibratsioonivaba betoon), SQC (*super quality concrete* ehk superkvaliteetbetoon) või Biocrete.

Jaapanlaste 1980. aastate lõpu tehnoloogiline algatus levis siiski, kutsudes esile elava huvi kogu maailmas ning õigustatult võib öelda, et isetihenev betoon on viimase viieteistkümneme aasta kõige revolutsioonilisem nihe betoonitehnoloogias. ITB on nüüdseks tunginud nii kaubabetooni kui betoonelementide tootmise valdkonda.

On ka väidetud, et isetihenev betoon ei ole pärit Jaapanist ja et selle eelkäijaks on olnud veelgi varasemad modifikatsioonid. Näiteks betoon vee-aluseks valamiseks, mille koospüsivus on saavutatud viskoossust tõstvate lisanditega ja mida tavapärasest betoonist erinevalt ei vibreerita. Isetihenevate betoonide eelkäijatena nimetavad mõned autorid ka betoonisegusid, mille töödeldavust iseloomustab koonuse vajumine üle 18 cm.

Praeguste isetihenevate betoonide mõistes on sellised betoonid kaugel isetihenevaist. Lisaks tihenemisele omaraskuse mõjul raketises või vormis peab see toimuma ka ühtlaselt, kihistumiseta. Kaasaegsed isetihenevad betoone iseloomustab koonuse laialivalgumine piirides 65...75 cm, mille juures koonuse vajumine, mis tavabetoonide puhul on peamine töödeldavuse hindamise mõõdupuu, on sõltuvalt täitemater-

jali maksimaalsest terasuurusest D_{max} võrdne 30... D_{max} ehk 28...29 cm. Isetiheneva betoonisegu laialivalgumisel moodustub 65...75 cm läbimõõduga betoonikook, mille ei tohi olla mingeid mittehomogeensuse tunnuseid. Täitematerjal peab olema jaotunud kogu kooi ulatuses ühtlaselt, koogi äärel ei tohi tekkida vee riba.

Isetiheneva betooni arengule Euroopas on suuresti kaasa aidanud 1992. aastal loodud RILEM-i Tehniline Komitee 145 "Spetsiaalbetoonisegude töödeldavus". 1993. aastal toimunud RILEM-i konverentsil Glasgow's räägiti juba isetihenevast betoonist ja selle kasutamisest vee-alusel betoneerimisel.

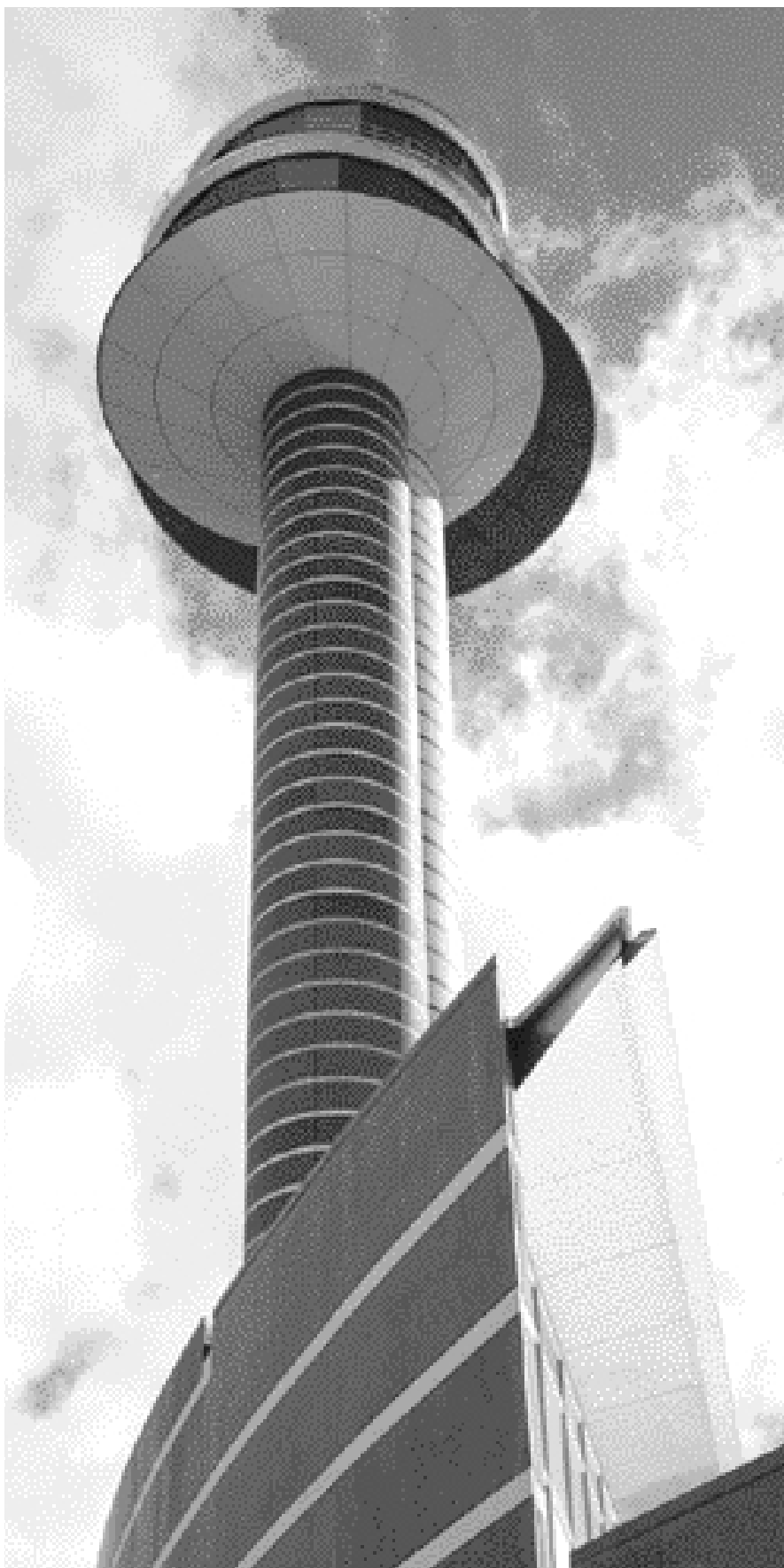
Tehnilise Komitee 145 eestvõtmisel kavandati ka üle-euroopaline uurimisprogramm Brite-EuRam "Ratsionaalne tootmine ja paranenud töökeskkond isetiheneva betooni kasutamisel". Programmi maksumus oli 47 miljonit Eesti krooni ja see hõlmas ajavahemikku jaanuar 1997 kuni juuni 2000. Esmalt seati eesmärgiks tõestada ITB kaubandusliku tootmise võimalikkust erinevates riikides ja viia läbi isetihenevate betoonide katsetused praktilises ehitustegevuses. Orienteeruti kohalikele materjalidele ning spetsiaalsetele isetihenevale betoonile kavandatud lisanditele. Tuli tõestada, et kivilinenud isetihenev betoon ei jää oma omaduste poolest alla tavabetoonile. Demonstreeriti, et ITB-tehnoloogia rakendamiseks paraneb

töökeskkond oluliselt – vibratsioon kaob ja müra väheneb.

Isetiheneva betooni jõudmine Euroopa betooniturule ja potentsiaalne eeldus tavabetooni kõrvale tõrjuda andsid tõe uue RILEM-i Tehnilise Komitee 174 "Isetihenev betoon" loomisele 1997. aastal. Komitee etteotsa sai Rootsi Tsemendi ja Betooni Instituudi juhataja dr Åke Skarendahl. 1999. aasta sügisel korraldati Stockholmis esimene rahvusvaheline isetiheneva betooni sümposium; järjekorras teine samateemaline sümposium toimus alles hiljuti, 2001. aasta oktoobris Tokyos. Selle korraldas sealne ülikool, kaassponsoriteks SCC-Net, fib ja RILEM.

Rootsi Tsemendi ja Betooni Instituut eesotsas dr Åke Skarendahliga on kujunenud Euroopa üheks juhtivaks isetiheneva betooni uurimisasutuseks, mis on võtnud südameasjaks rahvusvaheliste ITB-alaste seminaride ja töögruppide korraldamise oma seinte vahel. Käesoleva artikli autoreil on olnud võimalus nende seminaride töös osaleda ning kohutada ka teiste ITB spetsialistidega. NCC AB on aktiivselt kaasa löönud nii programmis Brite-EuRam kui ka RILEM-i sümposiumi korraldamises Stockholmis 1999. aastal.

Eestis kasutati isetihenevat betooni esimest korda 2000. aasta esimesel poolel. 2001. aastal ulatus ITB kasutus juba üle 1200 m³. ITB ainutootjaks Eestis on senini NCC Industri Eesti AS betoonitööstus. Sama ettevõtte betoonilaborisse on



koondunud ka isetiheneva betooni alased uuringud. Artikli autorid on osalenud isetiheneva betooni väljatöötamises ja juurutamises Eestis algusest saati. Siinkohal tänu NCC Industri Eesti AS betoonilaboratooriumi tehnoloogile Kristi Kallastele viljaka ja meeldiva koostöö eest.

Isetihenevate betoonide tehnoloogia kasvavat rolli näitab vastavate konverentside ja sümposiumide sagedus. ITB arenguprojektidele eraldatavad summad on mõneski riigis aukartustäratavalt suured. Prantsusmaa on isetiheneva betooni rahvuslikule arenguprojektile aastateks 2000...2002 eraldanud näiteks summa, mis on võrdne 63 miljonit Eesti krooniga. Tõmbame mõned paralleelid Eestiga. 2000. aastal toodeti Prantsusmaal 50 000 m³ isetihenevat betooni, meil 1200, Prantsusmaa elanikearv on 60 miljonit, meil 1,4 miljonit, miljoni inimese kohta toodeti Prantsusmaal 833 m³, meil 857 m³ isetihenevat betooni, uurimistoetus iga kuupmeetri kohta Prantsusmaal on 420 krooni, Eestis 0. Eelpooltoodud arvud annavad hinnangu meie uurimisgrupi panusest ITB väljatöötamise Eestis. Tagasihoidlike arvutuste kohaselt on see 0,5 miljonit Eesti krooni aastas.

Järgnevalt isetiheneva betooni omapärast, valmistamisest, nõuetest vormidele ja raketistele ning valamisest ehitusplatsil.

Isetiheneva betooni omapära

- Isetihenev betoonisegu on kõrge voolavuse tõttu võimeline omaraskuse mõjul tiheneda ja täitma ükskõik millise kuhu või mootmetega ruumi. Pärast valamist pole vaja rakendada mingeid täiendavaid tihendamisoperatsioone. Selline betoon loob rea eelseid, kui tegu on keerukate konstruktsioonide, vormide või väga tiheda sarrustusega, mis muudavad tihendamise keeruliseks või isegi võimatuks.
- Isetiheneva betoonisegu töödeldavust (voolavust) iseloomustatakse koonuse laialivalgumisega, mitte vajumisega, nagu oleme harjunud tavabetooni puhul. Laialivalgumine peab olema ligilähedalt 70 cm.
- Isetiheneva betooni kõrge voolavus ei avalda negatiivset mõju betooni tugevusele ega kivilinenud betooni teistele omadustele. Samal vesisementteguril saavutatakse samaväärsed või mõnevõrra kõrgemad tugevusnäitajad kui tavalise vibreeritava betooni korral.
- Vaatamata kõrge voolavusele säilitab õigesti projekteeritud ITB oma homogeensuse ega kihistub.

- Takistustest möödavoolamisel ei tohi betoon blokeeruda takistuste, näiteks sarruse taga.
- Betoonisegu voolavuse ja mittekihistumise tagamisel on lähtekohaks Binghami mudel, mille kohaselt segu ei hakkab voolama enne, kui talle on rakendatud piisav jõud. Et segu oleks stabiilne ega kihistuks, peab tal olema teatud plastiline viskoossus. Liikuma sundiv jõud minimeeritakse superplastifikaatoritega. Plastilise viskoossuse tagamiseks suurendatakse isetiheneva betooni segus märkimisväärselt peenosakeste (alla 0,08 mm) hulka või kasutatakse paksendajaid, nagu tselluloosi derivaadid, polüsahhariidid või mitmesugused kolloidid suspensioonid. Sageli vahendeid kombineeritakse. Kaasaegsed isetiheneva betooni superplastifikaatorid kätkevad endas ka viskoossust tõstva lisandi omadusi.
- Isetiheneva betooni lisandid ei tee tavabetonist isetihenevat betooni. Isetihenev betoon vajab spetsiaalset betoonisegu projekteerimist.
- Maksimaalne terasuurus isetihenevas betoonis on tavaliselt 8...16 (20) mm. Betooni võime voolata takistustest mööda väheneb maksimaalse terasuuruse suurenemisel. Suurem D_{max} on põhimõtteliselt võimalik, kui on tegu väikese armeerimistihedusega.
- Betooni vertikaalpinnad on võrreldes tavabetoonpindadega märgatavalt parema väljanägemisega.
- Betoonisegu hind on tavabetooni omast mõnevõrra kõrgem. Võttes arvesse tööde lihtsustumist, seadmete ja tööjõu vajaduse vähendamist, töötootlikkuse suurenemist ning töötingimuste paranemist, on isetihenev betoon tavabetooni kõrval igati konkurentsivõimeline.

Isetiheneva betooni valmistamine

- Segamiseks sobivad igat tüüpi segistid. Segamisaeg peab olema mõnevõrra pikem kui tavabetooni puhul.
- Enne kui alustada isetiheneva betooni tootmist, peab sellega tegelema hakkavad inimesed välja koolitama.
- Superplastifikaatori lisamine segamise lõppstaadiumis annab paremaid voolavustulemusi.
- Kui ehitusobjektile lisatakse segistisse terasfiiber, tuleb segu segada vähemalt 1 minut iga kuupmeetri kohta.
- Enne segu vahetut kasutamist ehitusobjektile peab vastutav töötaja hindama segu voolavust kas visuaalselt või viima läbi voolavuskatse ning veenduma, et segu ei kihistu.

Vormid või raketised

- Vormi pindadeks võib kasutada kõiki tavapäraseid materjale. Parima tulemuse annab puit. Kui võrrelda vineeri ja metalli, siis metallpindadel on oodatust rohkem poore.
- Tänu ITB kõrgele kohesiivsusele ei tarvitse raketised olla tihedamad kui vibreeritava tavabetooni korral, küll aga peavad olema tihealt paigaldatud ja hästi kinnitatud, et liitekohad ei annaks betooni kõrgendatud survele järele.
- Liigne vormimäärde hulk võib betooni vertikaalpinnal tekitada liigse poorsuse. Määritud raketise pinnad tuleb pühkida võimalikult kuivaks. (Uute, varem kasutamata veekindlast vineerist raketiste korral on täheldatud, et parima tulemuse võib anda hoopis puhas, määrimata raketis.)
- Kui raketis on valtavast betoonist märgatavalt külmem, võib betooni pinna poorsus suurened.
- Praktika on näidanud, et betooni pumpamine raketisse

selle alaostast mööda sinna paigaldatud toru annab parema betooni pinna kui betooni pumpamine raketisse ült. Sama on täheldatud ka siis, kui betooni pumpamisel hoitakse toru ots betooni sees ega lasta betoonil vabalt kukkuda.

ITB valamine ehitusplatsil

- Enne ITB kasutamist tuleb töötajaid sellest teavitada ning õpetada neid sellega ümber käima. Pärast teatud kogemuste omandamist on soovitatav ehitusmeeskond kokku võtta ja tehtut analüüsida ning hinnata.
- Enne iga valu peab vastutav töötaja kas visuaalselt või katseliselt hindama betoonisegu valguvust ja veendumat, et segul puuduvad kihistumise tunnused.
- Betooni võib valada kas pumba, kolu või renni abil. Betooni pumbatakse raketisse kas selle alaosa kaudu või ülaosast.
- ITB võib voolata ilma kihinemiseta küllaltki kaugel. Soovitatakse piirduda 10 meetriga, olgugi, et ka 15...20 meetri korral on saavutatud häid tulemusi. Pikemate voolamiskauguste vajadusel peaks sellest teavitama segu projekteerijat, et vältida segu kihinemist.
- Põrandate valamisel võib hea voolavus probleeme tekitada. Sel juhul on soovitatav kasutada väiksema voolavusega betooni või jagada põrand väiksemateks valusektsioonideks.
- Betooni normaalseks lange- miskõrguseks vertikaalseinte valul loetakse 2,5...3 meetrit, kuid häid tulemusi on saadud isegi langemis- kõrgustel kuni 8 meetrit. Vajadusel lasta betoonil langeda kõrgemalt kui 3 meetrit oleks soovitatav sellest eelnevalt informeerida betoonisegu projekteerijat. Kõrgelt langemisel säilib siiski pindade kvaliteedi

halvenemise ning õhumul- lide tekke oht pinnal.

- Kuna ITB segus on suurel hulgal lisandeid, võib betooni kividemise algus venida, seda eriti madalatel temperatuuridel. Kui aga kividemine on alanud, toimub see kiiresti, millega peab arvestama suurepinnaliste põrandate tasandamisel ja viimistlemisel.
- Värske betooni hooldamine ja viimistlemine tekitab tööde ajastatuse probleeme: põrandale võib esialgu tekkida kõndimist mittetaluv koorik, mis ei ole veel viimistletav.
- Kividemine betooni tuleb hooldada samamoodi kui tavalist vibreeritavat betooni. Häid tulemusi on saavutatud pinna lihvimisega päev-kaks pärast valamist. Hiljem osutub see betooni suure tugevuse tõttu raskeks.

Millist edu võib isetihenevalt betoonilt loota elementitootja?

- Vähem vibraatorite müra ja väiksem vibratsioonioht töötajatele.
- Kiirem betooni valamine ja kõrgem tootmisefektiivsus.
- Töö lihtsus, väheneb töötajate arv.
- Kindlus selles, et toode on piisavalt tihendatud.
- Vormipargi väiksem kahjustumine ja kulumine.
- Segistite väiksem kulumine.
- Parem toodete pinnakvaliteet ja vähem kulutusi parandustööks.
- Energiatarbe vähenemine, kuna vibratsiooniseadmeid pole tarvis.
- Toodete kõrgem veepidavus.

ENN UUSTALU,
NCC AB BETOONITÖÖTUSE
UURINGU- JA ARENGUJUHT
BALTIMAASES JA VENEMAAL, PHD
MIKK RÕÖMUSOKS,
NCC INDUSTRI EESTI AS
BETOONITÖÖTUSE
LABORATOORIUMI JUHATAJA,
EHITUSINSENER

