

Põrketugevuse ning ultraheli kaudu saab betooni hinnata



Betooni survetugevuse hindamisel saab lisaks laboratoorsetele, purustavatele meetoditele kasutada ka oluliselt kiiremat, mittepurustavat hindamisviisi. Eesti Maaülikoolis uuriti põrkevasara ning ultraheli meetodit põhjalikult.

MIHKEL KIVISTE

Eesti Maaülikooli maaehituse osakonna lektor, doktorant

Betooni üheks tähtsamaks ehitustehnoloogiliseks omaduseks peetakse survetugevust. Seda põhjusel, et betoon on oma olemuselt suhtelistelt habras materjal, mis võtab hästi vastu survepingeid. Betooni survetugevus on kaheksa kuni 15 korda suurem tõmbetugevusest.

Betooni survetugevuse otseseks määramiseks tuleb katsekehad koor-mata kuni purunemiseni. See aga eeldab vajalike katsekehade olemasolu. Katsekehi on võimalik saada kas ise valmistades või betoonkonstruktsioonidest väljapuurimise teel. Kasutades ehitusobjektidel väljapuurituid katsekehi, on vaja need esmalt eraldada konstruktsioonidest, transportida laborisse, ette valmistada ja siis katsetada. Paraku võib selline protseduur põhjustada segadust ja hiline mist raudbetoonkonstruktsioonide hindamisel. Samuti vajab katsekehade valamine ehitusplatsil eelnevat planeerimist ning kärni puurimine kahjustab konstruktsiooni (kuigi lokaalselt).

Vastavalt standardile EVS-EN 206: 1-2007 kehtivad praegu normaal- ja raskebetoonile järgmised survetugevusklassid: C8/10, C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60, C55/67, C60/75, C70/85, C80/95, C90/105, C100/115. Betooniklassi tähise esimene number näitab 150 mm läbimõõduga 300 mm kõrguste silindriliste katsekehade minimaalset normsurvetugevust. Tagumise numbri puhul on tegemist 150 mm küljepikkusega kuupide minimaalse normsurvetugevusega. Katsekehad tuleb tihendada vähemalt kahes kihis, kusjuures ühegi kihi paksus ei tohiks olla üle 100 mm. Samuti tuleb katsekehi hoida kuni katsetamiseni vees temperatuuril 20 ± 2 °C või kambriis samal temperatuuril ja suhtelisel õhuniiskusel $\geq 95\%$ kuni katsetamiseni 28 päeva vanuselt.

Selliste tihendamise- ja hoidmistingimuste loomine ehitusplatsil on keeruline, kui mitte võimatu, mistõttu tavaliselt tehakse katseid betooni klassi määramiseks laboratooriumis. Nagu eelnevalt mainitud, on laboratoorne katsetamine mitmel puhul liiga kee-

ruline ning lisaks ei anna katsekehade purustav survekate tingimata otsest informatsiooni konstruktsioonis oleva betooni tugevuse kohta. Samas, inseneride jaoks on määrav just ehituskonstruktiooni betooni tegelik tugevus.

Meetodid, mis ei vaja laboratoorseid katsetusi

Antud põhjusel on välja töötatud meetodid, kus mõõdetakse esmalt betooni mõnda teist tunnust peale tugevuse ja siis seotakse neid tugevuse, vastupidavuse või muu omadusega.

Mõõdetavateks tunnusteks võivad olla kõvadus, vastupidamine väljatõmbele, küljest rebimisele, põrkearv, võnkesagedus ja võime juhtida ultraheliimpulssi läbi betooni. Betooni elektrilised omadused, võime neelata, hajutada ning edastada röntgen- ja gammakiiri, ning akustilised omadused võimaldavad hinnata betooni veesisaldust, tihedust ja tsemendisaldust.

Mittepurustavate katsete põhiline eelis seisneb selles, et nad ei kahjusta ega mõjuta ehituskonstruktiooni käitumist. Lisaks võimaldavad nad lihtsat ja kiiret katsetamist: katsetulemused



Mihkel Kiviste (ultraheliseadmega) ja **Vahur Schmidt** (Schmidt'i vasaraga, paremal) EMÜ spordihoone ehitusplatsil.

on kohe kättesaadavad ning betooni tugevust saab määrata kohtadest, kust kärne pole võimalik puurida (õhukesed seinad, tihedalt armeeritud jne). See omakorda vähendab tööjõukulu katsetamisel ja ettevalmistamisel (nagu näiteks armatuuride asukoha määramine).

Eelnimetatud eelised on aga väärtusetud, kui katsetulemused ei ole usaldusväärsed, näitlikud ja võimalikult sarnased konstruktsiooni osa tegeliku survetugevusega.

Betooni survetugevuse hindamine pörkevasaraga

Betooni survetugevuse hindamine pörkevasaraga on üks vanemaid ja levinumaid mittepurustavaid meetodeid. Seadme töötas välja Šveitsi insener **Ernst Schmidt** 1948. aastal, mistõttu tuntakse seadet tänapäeval eelkõige kui Schmidt'i vasarat (kasutatakse ka Šveit-

si vasara, pörkevasara või skleromeetri nimetust). Betooni survetugevust mittepurustavalt (löökpendliga) on Eestis määratud alates 1970ndatest Ehituse Teadusliku Uurimise Instituudis.

Schmidt'i vasar töötab tagasipörke printsiibil: elastse massi tagasipörke suurus sõltub pinna kõvadusest, millelt mass pörkab. Surudes vasarat katsepinna poole, jõutakse punkti, kus pinge all olev vedru vabastatakse ja vedru jõul liikuma pandud mass lööb pinnaga kontaktis olevale kolvile. Kokkupörkekolvilt tagasi pörganud massi tagasipörketeeekonna pikkust, väljendatud protsendina vedru algpikkusest, nimetatakse pörkearvuks. Sisuliselt on tegemist löögi kineetilise energia määramisega.

Pörkearvu on võimalik teisendada betooni survetugevuseks. Selleks kasutatakse teisenduskõveraid, kus on leitud matemaatiline seos vasara tagasi-

pörkearvu ja katsekeha survetugevuse vahel. Laboratooriumis tehtud kuni 28 päeva vanuste betoonsilindrite pörkearvu ja survetugevuse vahel leiti suhteliselt tugev seos juba 1950ndate lõpul.

Laboratoorsest katsetest katsekehadega pärinevad ka erinevate pörkevasaratootjate poolt seadmega kaasatud "universaalsed" teisenduskõverad. Milline on aga pörkearvu ja "universaalse" teisenduskõvera usaldusväärsus betooni tugevuse hindamiseks ehitusplatsil ja olemasolevates (vanades) raudbetoonkonstruktsioonides?

Pörkevasara katsed kontrollitavad, ent siiski "ujuvad"

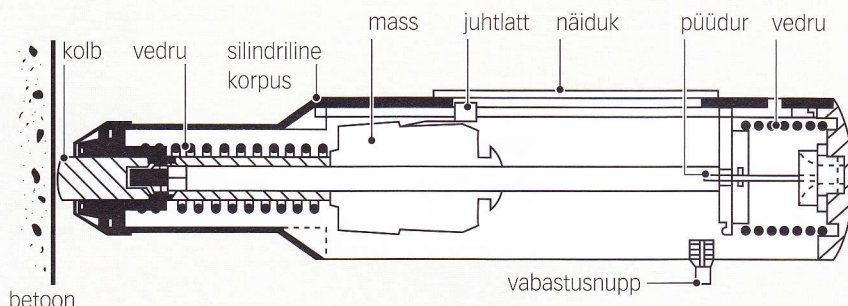
Nõuded pörkevasara katsele konstruktsioonides on kirjeldatud standardis EVS-EN 12504-2:2003. Pörkearvu registreerimiseks tuleb teha vähemalt

"Hilti teenused on palju rohkemat kui lihtsalt garantii!"

Hilti. Suudab rohkem. Kestab kauem.

www.hilti.ee

Põrkevasar



GRAAFIKA: ALARI PALUOTS

ja betooni tugevuse vahel ei ole otsest füüsilist seost. Ultraheliimpulsi levimise kiirus sõltub küll betooni tihedusest ja tihedus on teataval määral seoses betooni survetugevusega, aga sellise topeltseose kaudu kumuleeruvad ka vead.

Siiani on kahte mittepurustavat meetodit käsitletud individuaalselt, kuid neid on võimalik ka samaaegselt koos kasutada. See on kasulik, kui betooni omaduste muutus mõjutab katsetulemusi erinevates suundades. Näiteks veesisalduse suurenemine betoonis suurendab ultraheliimpulsi kiirust, kuid vähendab Schmidt'i vasaraga registreeritud pörkearvu.

Viimastel kümnenditel on teadusvaldkonnas betooni tugevuse mittepurustaval hindamisel hakatud kasutama peamiselt pörkevasara-ultraheli kombineeritud meetodit. Laboratoorsete katsete tulemusena on välja on töötatud teisenduskõveraid betooni tugevuse hindamiseks kombineeritud mittepurustaval meetodil. Samas ei ole suudetud tõestada selliste teisenduskõverate paikapidavust ehitusplatsi tingimustes.

Maaülikoolis võrreldi pörkevasarat laboratoorsete katsetega

EMÜ maaehituse osakonnas tehtud uurimuses kontrolliti, kas pörkevasara tootja poolt kaasa antud teisenduskõveraid kasutades on võimalik hinnata betooni tugevust 1950ndatel ehitatud tootmishoone monoliitsetes raudbetoonpostides ja -talades. Kohtadest, kus kõigepealt sooritati pörkevasara katse, puuriti hiljem betoonkärnid, mille tugevus määrati purustaval survekatsel laboratooriumis. Selgus, et kõik labori tingimustes välja töötatud teisenduskõverad ülehindasid survetugevust, võrreldes kärni tugevustega. Pörkearvu ja "universaalsete" teisenduskõverate alusel prognoositud mittepurustav survetugevus oli kõikidel juhtudel vähemalt kaks korda suurem kärni purustavast survetugevusest.

EMÜ maaehituse eriala üliõpilane Vahur Schmidt (perekonnanimi on kokkusattumus pörkevasara leiutajaga) kontrollis oma magistritöös katseliselt, kui täpselt hindab pörkevasar üksinda ja pörkevasar kombineeritult ultraheli-seadmega betoonkatsekehade purustavat survetugevust. Kasutati seadme tootja poolt välja pakutud kõige konservatiivsemat teisenduskõverat. Katseid tehti nii laboratooriumis valmistatud kuupide kui ka ehitusplatsidelt puuritud betoonist puursüdamikega.



Ultraheliimpulsi meetodi aluseks on pingete levimine lainetena: mõõdetakse, kui palju aega kulub lainetel, et läbida ettemääratud teepikkus.

ühiksa lööki, kusjuures löögipunktide kaugus üksteisest ja servast ei tohi olla alla 25 mm. Kui löök satub jämetäitematerjali (killustiku) tükile või pinna (lähedasele) tühikule, siis tulemust ei arvestata. Katsetulemuseks loetakse kõikide lugemite mediaani. Kui üle 20% lugemitest erineb mediaanist rohkem kui kuue ühiku võrra, loetakse kogu lugemite seeria kehtetuks. Tulemust mõjutab ka vasara suund, sest gravitatsioon mõjutab massi liikumist vasaras. Pörkevasar peab olema risti katsetatava betoonpinnaga, mis omakorda peab olema sile ja jäik.

Piisava jäikuse tagamiseks katsetatakse Schmidt'i vasaraga katsekehi, mis on kindla konstantse koormuse all. Paraku võib eeldada, et konstruktsiooni jäikus on erinev koormatud katsekeha omast. Seega vastu koormatud katsekeha tehtud Schmidt'i vasara löögi pörkearv on vastu konstruktsiooni tehtud löögi pörkearvust erinev.

Hoolimata näilisest lihtsusest, on pörkevasara katse seotud löögi ja sellega seotud lööklaine levimise kompleksse probleemiga. Lisaks on pörkearv suhteliselt "tujukas" arv näitaja. Ei tohi unustada, et pörkearv peegeldab ainult pindmist betooni. Vasaraga saab hinnata survetugevust ainult kuni 30, mõningatel andmetel ka 30 kuni 50 mm sügavuselt.

Pörkearv sõltub betooni pinna küllastusastmest, karboniseerumisest, temperatuurist (ka külmumine) ning pinna viimistlusest. Betooni pindmistes kihtides toimuvad muudatused, nagu niiskumine (mis vähendab pörkearvu)

või karboniseerumine (mis suurendab pörkearvu), omavad minimaalset mõju betooni omadustele sisemuses. Tulemust mõjutab ka täiteaine tüüp ja betoonisegu proportsioonid. Konstruktsiooni survetugevust võib vähendada ebapiisav tihendamine, mis samas ei mõjuta Schmidt'i vasara pörkearvu.

Pörkevasara-ultraheli kombineeritud meetod

Teine suhteliselt laialt levinud mittepurustav meetod betooni omaduste uurimisel on ultraheliimpulsi kiiruse katse. Tänapäeval kasutuses olev ultraheli-seade, mis kasutab impulsi edastamiseks ja vastuvõtmiseks andureid, leiutati 1946.–1947. aastal. Ultraheliimpulsi meetodi aluseks on pingete levimine lainetena: mõõdetakse, kui palju aega kulub ultrahelilainetel, et läbida ettemääratud teepikkus. Ultraheliimpulsi edastab elektroakustiline saateandur, mida hoitakse kontaktis betoonpinnaga. Kui on teada impulsi teekonna pikkus betoonis, teisendab vastuvõtuandur võnkeimpulsi elektriliseks signaaliks ja elektrooniline aja-võtuseade võimaldab mõõta aega, mis kulub impulsil teekonna läbimiseks. Jagades aja teepikkusega, leitakse ultraheliimpulsi kiirus. Ultraheliimpulsi kiiruse määramise katse on kirjeldatud standardis EVS-EN 12504-4:2004.

Ultraheli-seadmega on võimalik hinnata betooni kvaliteedi ühtlust, betooni elastsusmoodulit, avastada betooni tühimikke ja pragusid, hinnata erinevaid kahjustusi (tulekahju, läbikülmumine). Ultraheliimpulsi levimise kiiruse