

PAISUVAD BETOONID JA NENDE KASUTAMINE

Heino Marmor, PhD, OÜ ETUI BetonTEST fib INFOPUNKT

Portlandsemendi baasil valmistatud betoon on kaasajal üks kõige enam kasutatavaid ehitusmaterjale ja ilmselt säilitab selle koha ka tulevikus. Põhjuseks on tema kasutamise rentaablus.

Betoonile on võimalik valmistades anda soovitud tehnilisedomadused, nagu tugevus, külmakindlus, veepidavus, vastupidavusagressiivses keskkonnas jne. Lisaks on tsementbetoonid suhteliselt odavad ja nende valmistamiseks vajalikud toormaterjalid kergesti kättesaadavad. Üleminek kõrgtugevate tsementidele võimaldab oluliselt vähendada konstruktsioonide massi. Seetõttu säilitab betoon oma olulise koha ehitusmaterjalide hulgas ka tulevikus.

Tavalise betooni puudusteks on suhteliselt madal tõmbetugevus ja mahukahanemine kivinemisel. Tõmbetugevuse suurendamiseks kasutatakse erinevaid betooni sarrustamise meetodeid.

Mahukahanemine põhjustab kivinevas betooni tõmbepingeid, mille tagajärjel konstruktsioonistekivad kas läbivad või pindpraod. Täiendavalt suurendab pragunemisohtu betooni kuivamisest põhjustatud mahukahanemine.

Tsementkivi mahukahanemisest tingitud pragunemise ohu vähendamiseks tavalisteks võteteks on kas betoonisegu veesisalduse (plastifitseeritud või jäigad segud) või siis tsemendisalduse vähendamiseks täiteaine granuloomeetriselise koostise sobiva valikuga. Konstruktsioonid võivad olla ette nähtud ka deformatsioonivõimega, milliste omavaheline kaugussõltub kasutatav betooni mahukahanemise suuruselt.

Kivinemisega kaasneva mahukahanemise suurus sõltub omakorda tsemendi mineraloogilisest koostisest ning just selle muutmisega on võimalik radikaalselt mõjutada tekkivate sisepingete iseloomu.

Tavaliselt suurendab kivinevas tsemendi mahukahanemist kaltsium-

aluminaatide sisalduse kasv. Kui seda aga suurendada üle "normaalse" ja samaaegselt lisada vajalikul hulgal kipsi, asendub mahukahanemine paisumisega ning tõmbepinged survepingetega. Siinjuures ei mõjutaki vinenud betooni mahusuurenemine kunagi 2% võrratema survetugevust.

Selliseid tsemente nimetatakse paisuvateks või pingestuvateks tsementideks tingimisel, et paisumise suurus oleks prognoositav ja vajadust mööda reguleeritav.

Võrreldes tavalise portlandtsemendiga on paisuvad tsemendid suhteliselt "noored". Nende vanus on alla seitsmekümne aasta. Kõige varasema teate kivinemise ajal paisuva tsemendi valmistamise kohta avaldas H. Lassier 1936. aastal. Samast aastast on olemas Prantsuse firma Poliet et Chausson patentselisetsemendikohta. Tööstuslikult valmistatakse paisuv tsementi R. Perré (1943). Edasi registreeriti patent paisuva tsemendi koostise ja valmistamise kohta N. Liidus 1946. aastal. 1948 avaldati V. V. Mihhailovi uurimus paisuvate tsementide valmistamisest. Tema poolt pakutud koostis kasutati isepingestava raudbetooni tootmiseks ja Moskva metroo ehitusel tunneli elementide ühendamiseks plii asemel. USA-s valmistas ja uuris paisuvaid tsemente A. Klein oma kaastöötajatega California Ülikooli juures (1958). [1].

Kõigi üllatavalt uurijate poolt valmistatud tsementide (täpsemini: paisuva lisandiga portlandtsementide) paisumise põhjuseks on ühendi $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ tekkimine, mille looduses esinevat vormi nimetatakse ettringiidiks.

Teiseks paisuvat tsemendi valmistamiseks võimaluseks on kasutada magneesiumoksiidi hüdratsioonist tingitud ma-

humuutust. Sellisetsemendide valmistasid Zlatanov ja Diabavov 1961. aastal.

Tallinna Tehnikaülikoolis on uuritud võimalust valmistada paisuvat tsementi, kasutades põlevkivisisalduva vaba lubja hüdratsioonile kaasnevat mahumuutust (J. Rass). Valmistati ka 650-tonnise tööstuslikkate partii sellist tsementi.

Arvestades paisuvate betoonide kasutuselevõtu suurt perspektiivsust, on teda nimetatud 21. sajandi materjaliks. Seda on esiletõstetud nii viimaste aastate fib'i (CEB-FIP) konverentsidel (1997 Washington, 2001 Moskva) kui ka ülemaailmsel betooni kongressil Osakas (Jaapanis).

Paisuvate tsementide peamine kasutusala on betoonide valmistamine. Sõltuvalt kasutamise eesmärgist ja otustakse paisuva tsemendi baasil valmistatud betoonid kahte gruppi.

1. Kompenseeritud mahukahanemisega betoonid. Paisumisest tingitud isepingestumine kompenseerib nendes mahukahanemisest tingitud sisepinged. Kivinenud betoon pole isepingestunud ning teda kasutatakse suuremõdulistes konstruktsioonides, et vältida sepragunemist.
2. Pingestuvates betoonidest kiibitakistatud paisumise korral selline struktuuri isepingestumine, mis säilib ka pärast kivinemise lõppemist. Neid betoone kasutatakse konstruktsioonide eelpingestamiseks.

Tavaliselt kasutatakse selliste betoonide valmistamisel erinevaid paisuvaid tsemente, mis saadakse paisuvalisandi ja portlandtsemendi klinkri koosjahvatamisel. Põhimõtteliselt on ükskõik, kas kasutatakse sellist koosjahvatamisaadud tsementi või lisada eelnevalt jahvatatud paisuvalisand betoonisegu valmistamise ajal. Viimane variant on tehniliselt soodsam, kuna võimaldab valmistada mõlemat liiki betooni, kasutades üht paisuvat lisandit. Varieerida tuleks üksnes selle sisaldust. Kergem on tagada ka tsemendi vastavust esitatud nõuetele.

Paisumise põhjustav lisandid võib jaotada gruppideks (A. J. Zvezdov [2]):



Praod Stockmanni kaubamaja äärses Europarki tunneli põrandas.

- 1) aluminaadid – sulfaadid;
- 2) aluminaadid – sulfaadid-oksiidid;
- 3) oksiidid.

Esimese lisandite grupi puhul toimub betoonipaisumine üksnes ettringiidi tekkimise tõttu. Siia kuulub Mihhailovi poolt kasutatud paisuv lisand: aluminaattsement koos kipsiga. Tehases Tsemdekor valmistatakse paisuv lisand sulfoaluminaalsest klinkrist, mis saadakse põletamisel 1200...1250 °C juures ja jahvatatakse eripinnani 500 m²/kg.

Toodetakse kaht liiki lisandit: RD-K (kompenseeritud mahukahanemisega

betoonidele) ja RD-N (isepingestuvatele betoonidele). Analoogselisandiga on valmistatud ka paisuvad tsemendid NTs-10 ja NTs-20, mis erinevad ise- pingestumise suuruselt (A. O. Lebedev jt [2]).

Teise lisandite grupi puhul on paisumise põhjuseks ettringiidi ja Ca(OH)₂ tekkimisest tingitud mahumuutused.

Kolmandasse lisandite gruppi kuuluvad kas kaltsiumi või magneesiumi oksiidid. Seega toimub paisumine üksnes nende hüdratatsioonitulemusel. Näiteks võiks tuua Djabarovi poolt kasutatud paisuvalisandi, missaadi dolo-

miidi põletamisel 800...900 °C juures ja lisati betoonile 5...7% tsemendi massist [1].

Kõige kolme lisandite grupi puhul on oluline, et paisumist põhjustavad keemilised reaktsioonid toimuksid kivinevas betoonis (enne kivinemise algust toimuvad reaktsioonid paisumiste põhjusta) ning oleksid kontrollitavad.

Kõige kergemini ja kindlamalt võimaldavad paisumist reguleerida sulfoaluminaalsed lisandid, mistõttu neid kasutatakse ka enam. Nende sisaldus varieerub piirides 5...20%, teise grupi lisandite kasutamise piirkond on 3...10%, kolmanda grupi lisanditel 1...5%.

Esimese grupi paisuvaid lisandeid sisaldavat tsemendi hüdratatsiooni ja nende baasil valmistatud betoonide omaduste uurimine näitas, et paisumist põhjustava ettringiidi tekesõltub kasutatud paisuvate komponentide liigist, aktiivsusest ja kogusest betoonis. Protsessi mõjutavad ka portlandtsemendi omadused. Siinjuurest tugevuse muutumise, paisumise ja isepingestumise üldised seaduspärasused säilivad (L.A. Titova jt [2]).

Ettringiidi teke algab 1-2 tundi pärast segu valmistamist ja võib pidurduda veepuuduse tõttu. Paisumine algab kohe pärast betooni detaili piisavat niisutamist, kestab 3...7 päeva ja on proportsionaalne tekkinud ettringiidi hulga. Nii nagu paisumine, on ka betooni isepingestumine määratud ettringiidi tekkimise kineetikaga.

Paisuv tsement kivineb hästi ka madalatel (5...10 °C) temperatuuridel ja talub aurutamist pehmel režiimil 60 °C juures.

Kivineva betooni veevajadus on suur, seetõttu nõuab ta korralikku järelehooldust, eriti kivinemise esimesel nädalal (eelkõige hoolikat kastmist kuivamise vältimiseks).

Kuivamisel ja niiskumisel käitub isepingestuv betoon analoogselt tavalise betooniga: niiskumisel paisub, kuivamisel kahaneb. Seetõttu tuleb arvestada, et betooni kuivamise larmatuuri eelpeingestatus väheneb 20% võrra.

Kompenseeritud mahukahanemisel ja isepingestavas betoonis on poorid osaliselt täitunud paisumist põhjustavate ühenditega. Seetõttu on temperatuurivõimeomadused tavalisest betoonist erinevad: külmakindlus on 2 korda suurem, veepidavus 3...5 korda ja õhupidavus 10 korda suurem, vastupidavus sulfaatsele korrosioonile 3 korda ja magneesiaalsele 2 korda suurem ning kloriididele 3 kor-

dasuurem, kulumiskindlus on 16...25% kõrgem. Betoon on vastupidav CO₂ rasvhapete ja karbamiidi toimele.

Paisuvabetooni head vastupidavust välismõjudele kinnitab ka tema seisukordpärast pikaajalistekspluatatsiooni. Näiteks Lužnikis pordikompleksi jääväljakumoniolitne 1800 m² pinnagajuhutusplaat betoneeriti 1979. aastal. Aastal 2000 oli betooni seisukord rahuldav. Lihakombinaadi Kampomospaisuvast betoonist põrand ei ole kahjustunud üheksa-aastase eksploatatsiooni jooksul, betooni tugevus on kasvanud 20% võrra.

Paisuval betoonil on kolm peamist kasutusala.

1. Head hüdroisolatsiooni vajavates konstruktsioonides: reservuaarid, ilma täiendava hüdroisolatsioonita katused, plaatvundamendid jne.
2. Mahukahanemise kompenseerimist

vajavates konstruktsioonides: eelkõige betoonpõrandates. Sel juhul on neid võimalik valmistada monoliitsetena jalkumiskindlust vähendavate pindpragudega. Nagu näitab praktika, on sellised põrandad vastupidavad agressiivsetele vedelikele ja õlidele.

3. Raudbetooni sarruse arvutuslikult vajalike eeltingimuste saamiseks. Statistika kohaselt (Moskva ajavahemikus 1999–2000) oli isepingestuva betooni tarbimine järgmine: 1000 m³ isepingestuvat ja 40 000 m³ kompenseeritud mahukahanemisega betooni. Seega on kasutatakse kompenseeritud mahukahanemisega betooni enam.

Mahukahanemise sttingitud defektidesagedase esinemise järgi Eestis võib järeldada, et meilgi osutuvad perspektiivseks just kompenseeritud mahuka-

hanemise gabetoonid. Otstarbekas on valmistada selliseid betoonesegistisse lisatavapaisuvalisandi abil. Kunalisandi toimet mõjutab ka kasutatavate sementi mineraloogiline koostis, peab ilmselt tegema vajalikus ulatuses täiendavaid eelkatseid.

Käesoleval ajal AS Kunda Nordic Tsement paisuvat tsementi ei tooda. Küllagavõikstaedukalt laiendada oma toodangut paisuvate betoonide kuivlisandi valmistamise ja turustamisega, mille järele on nõudlus nii Eestis kui ka rahvusvahelisel turul.

Kasutatud kirjandus:

1. H. F. W. Taylor. The Chemistry of Cements 1964
2. Nr 4 2001

Kommentaari

Eesti ehituses on hakanud viimasel ajal eriliselt põhjustama betoonist lamiklagedesse ja põrandates tekkinud mahukahanemise praod juba nende valmistamise algstaadiumis. Kõrvalfoto on näha praod Tallinna kaubamaja eesasu vajalikäijate tunneli laes. Need ilmusid juba tunneli kasutuselevõtu alguses ja võivad espidi läiened kaasa tuua ebameeldivusi: hakatarohkem läbi tilkuma, sarruse korrodeerumisel ilmuvad pinnaleroostelaigud. Selle tunneliosa kasutusega paratamatult lüheneb.

Analoogne näide on tuua Stockmanni kaubamaja kõrval oleva Europarki tunneli betoonpõrandasse tekkinud (ja tekkivate) pragude näol. Seepõrand on küll hiljem sisse freesitud deformatsioonivuukidega hoolikalt sektsioonideks jaotatud, kuid mahukahanemise pragusid pole see vältinud. Praod on tihti peale tekkinud freesitud vuukide vahetusel lähedusse. Võimalik, et sisse freesitud vuugid polesel küllalt paksu betoonpõrandaga jaoks piisavalt sügavad. Olukord on halb, kuna pragudes koguneb aja jooksul õli, bensiini ja pesemisjäätmeid ning sealt algab edasine põrandalagunemine – kestvuse vähenemine. Pragude teke võib kesta aasta või kauemgi. Parandamine on võimalik, injekteeerides pragudesse kõrgsurve all spetsiaalsegu. Sellise töö maksumus pole aga väike.

Mida ette võtta?

Heino Marmorini artiklis "Paisuvad betoonid ja nende kasutamine" on antud ülevaade ühest perspektiivsest võimalusest, kuidas mahukahanemise pragusid oluliselt vähendada. Selle realiseerimine Eestiseeldab teatud uurimistööd ning vastavaid instrumentaalkatseid, kõigepealt aga finantseerimist. Juhul, kui ehitusfirmadel on tõsisemid probleeme kirjeldatud pragude tekkinemise ja nende suhteliselt kalli injekteeerimisega ning nad peavad otstarbekas maksuvõtta kasutusele mahupaisuvate betoonide tehnoloogia, osaleme selles ka meie.

Olav Sammal, PhD, OÜ ETUI
BetonTEST juhatuse esimees

Praod Tallinna kaubamaja kõrval oleva tunneli laes.

