

TSEMENDI SULFAADIKINDLUS – BETOONI PÜSIVUSE ÜKS EELTINGIMUSI 1.

Ehitustegevuse laienemine lähitulevikus kandub kindlasti ka mitmesuguste erirajatiste püstitamisele. Nii hüdrotehniliste kui ka agressiivses keskkonnas asuvate betoon- ja raudbetoonrajatiste ehitamiseks on vaja suurema püsivusega tsemente, sealhulgas sulfaadikindlat portlandtsementi. Samal ajal peab soolasid sisaldava vee piiril töötav betoon rahuldama veel muid nõudmisi – olema küllaldase tugevusega, tihe, veepidav ja külmakindel.

Tallinna Tehnikaülikooli ehitustootluse instituudi ehitusmaterjalide laboris sooritatud kauaaegsete uuringute tulemusena on selgitatud portland-põlevkivitsemendi (PPT) omapära, eriomadused ja kasutamistingimused, mis mõnedel juhtudel harilikul portlandtsemendi (PT) omadest oluliselt erinevad. Üheks PPT eriomaduseks on sellest valmistatud betoonide märgatavalt suurem sulfaadikindlus võrreldes PT-st valmistatud betoonidega.

Erinevates riikides on kehtestatud betoonile mõjuva agressiivse keskkonna hindamiseks erinevaid normatiive. Põhirõhk on asetatud sulfaat-, kloor-, magneesiumiooni sisaldavate keskkondade ning merevee mõjule.

Siin ja edaspidi sõna “merevesi” kasutamine on tinglik, kuna merevee soolsus sõltub suuresti veekogu asukohast. Nii on avaookeanide vee soolsus 30...40‰, kuid Läänemere vee soolsus keskmiselt ainult 7‰.

Betooni korrosioon on põhjustatud mitmete faktorite koosmõjust. Esitades sellega seoses nõudmisi betooni püsivusele, et leida selle kaitsmiseks vajalikke vahendeid ja võimalusi, tuleb vaadelda:

- keskkonda, milles betoon töötab;
- betooni koostist ja tehnoloogiat;
- tsemendi koostist ja liiki, selle hulka betoonis.

Betooni koostise määramisel tuleb arvestada kõigepealt keskkonnatingimustega, samuti rea betooni püsivust mõjutavate asjaoludega, mis tulevad juba tsemendi enese omadustest. Seega tuleks betoonile agressiivse keskkonna määramisel alustada nende kontsentratsioonide kindlaks määramisest ning piiritleda näitajad, mis võivad betooni püsivust vähendada või suurendada

Betooni ühe põhilise, korrosiooni suhtes kõige tundliku koostisosa – tsemendikivi – iseloomustamiseks võib öelda, et kuna temas on mitmesuguse suurusega poore, on ta tundlik väliskeskkonna mõju suhtes. Geeli-, kapillaar- ja õhupoore sisaldav süsteem muudab tsemendikivi ja järelikult ka betooni omadusi (püsivus, külmutuskindlus). Seetõttu mõjutavad peale keemiliste ainete agressiivse toime betooni püsivust oluliselt veel füüsikalised protsessid nagu vahelduv kuivamine-niiskumine ning külmumine-sulamamine.

Betooni võime imada vett ja selles lahustunud aineid sõltub eelkõige betoonis olevate kapillaarpooride hulgast, samuti sõltub kapillaarpooride suurus ja hulgast ka betooni külmutuskindlus. Teisalt ei saa betooni püsivust projekteerides jätta kõrvale asjaolusid, mis mõjutavad raudbetoonkonstruktsiooni püsivust (armatuuri korrosioonikindlus ja kaitsekihi paksus, pragude avanemise laius jne).

Agressiivsed keskkonnad

Betoonile keemiliselt agressiivseteks keskkondadeks võivad olla nii gaasilised, vedelad kui ka tahked keskkonnad. Suurimat agressiivset toimet avaldab vedel keskkond (pinnase-, merevesi, heitveed jms). Vundamentide, vaiade jms betoonelementide projekteerimisel tuleb arvestada pinnase keemilist koostist ja temas sisalduvate betoonile agressiivsete ionide kontsentratsiooni.

Agressiivsete keskkondade määramisel Eesti tingimustes oleme lähtunud antud juhul erinevate riikide normdokumentide analüüsist.

- Venemaa normides (SNiP 2.03.11-85) on detailselt välja toodud sõltuvus betooni veekindlusest (W4, W6, W8). Sulfaatiooni SO_4^{-2} agressiivsuse aste muutub sõltuvalt kaasneva süsihappeiooni kontsentratsioonist ja teiste vedelas keskkonnas kaasnevate ionide koosmõjust.
- Cembureau, Soome (by 32) ja Rootsi (VAV, 1975) normides loetakse mitteagressiivseks kontsentratsiooniks $<200 \text{ SO}_4^{-2} \text{ mg/l}$.
- Prantsuse normides (NF P18-011) puudub kahjutu miinimumkontsentratsioon.
- prENV 206 puudub keskkondade jaotus agressiivse iooni kontsentratsioonist järgi. Määratletakse seos betoonisegu koostise ja kasutuskeskkonna ning

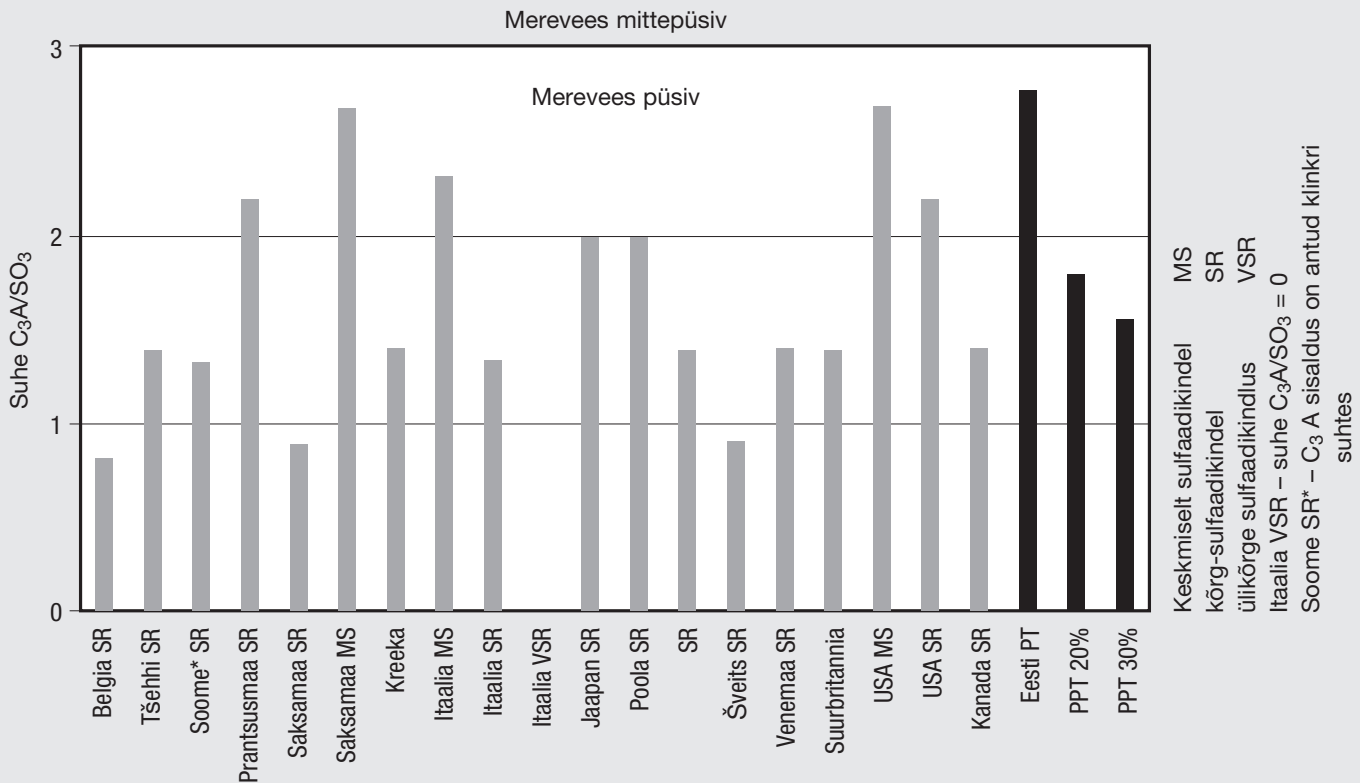
betooni püsivuse vahel.

- Suurbritannia normides (BS 8004: 1986) tuuakse välja seos erineva kontsentratsiooniga sulfaatiooni sisaldava pinnase, vedela keskkonna ja nende kombinatsioonide esinemisel ning sellest sõltuva agressiivsuse taseme vahel; määratletakse kasutatava tsemendi liiki, betooni maksimaalselt lubatud vesitsemenditegur ning minimaalne kasutatav tsemendikulu betoonis.
- Saksamaa normides (DIN 4030) jaotatakse betoonile agressiivne sulfaatiooni sisaldav keskkond kolme klassi, mis langevad nõrgalt agressiivse keskkonna suhtes kokku teiste normidega, kuid on oluliselt rangemad tugevalt agressiivsete keskkondade määramisel.

Analoogiat järgides, võiks sulfaatiooni SO_4^{-2} poolt põhjustatud korrosiooniohtlikkust betoonile lugeda Eesti tingimustes järgmise klassifikatsiooni alusel:

nõrgaks,
200...600 mg/l SO_4^{-2} ;
keskmiseks,
600...3000 mg/l SO_4^{-2} ;
tugevaks,
kui kontsentratsioon on üle 3000 mg/l. SO_4^{-2} .

Võttes arvesse, et betooni püsivus ei sõltu üksnes sulfaatioonide kontsentratsioonist ümbritsevas keskkonnas, vaid ka teiste kaasnevate agressiivsete ionide koosmõjust, kon-



struktsiooni asukohast veeni- voo suhtes, võimalikust kül- mumisest, tuleks vaadelda siinjuures veel näiteks merevee mõju raudbetoonile meie kli- maatilistes tingimustes.

Läänemere vee soolsuse järgi on see nõrgalt agressiivne keskkond, kuid teisalt võib olla tegemist nii vahelduva nivoo kui ka vahelduva niiskumise- külmutamisega. Sellised tingi- mused tõstavad omakorda keskkonna ohtlikkuse taset ja tingivad vajaduse tõsta veelgi betooni külmutuskindlust ja suurendada veepidavust.

Betoonile agressiivse keskkonna tuvastamisel peab be- tooni projekteerima selliselt, et oleks tagatud tema maksimaal- ne püsivus. Maailma ehitus- praktikas esitatakse betoonile ja betoonisegu koostisele rida nõudeid. Neist üheks on tse- mendi sulfaadikindlus.

Tsemendide sulfaadikindluse kriteeriumid

Sulfaadikindlus on enami- ku riikide normides määratle-

tud portlandtsemendi alumi- naatse osa (trikaltsiumalumi- naadi $3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$, lühend C₃A) sisaldusega tsemendi- klinkris. Lisatingimustena esi- tatakse mõnikord aliidi C₃S, Al₂O₃ ja SO₄ sisaldus tsemendi- Maailma tsemendistand- ardi ülevaate *Cement Standards of the World* 1991 põhjal saab teha järeltõlge sulfaadikind- latele tsemendidele kehtestatud standardite nõudmiste kokku- langevuste ja erinevuste kohta. Kui portlandtsemendi C₃A si- saldus on tavaliselt üle 7%, siis sulfaadikindlate portlandtse- mentide määratlemine on erinevate riikide standardites pi- sut isesugune. Nii peab Prant- susmaal, Venemaal ja Hispa- nias sulfaadikindla portland- tsemendi C₃A sisaldus olema alla 5%, Soomes ja Saksamaal alla 3%.

Sulfaadikindla portlandtse- mendi kõrval tuntakse veel sulfaadikindlaid tsemente, mil- le koostisse kuuluvad lisandi- tena räbud, tuhad või putsolaa- nid. Koos klinkriosa vähene- misega väheneb tsemendis vas- tavalt ka C₃A sisaldus.

Betooni püsivuse kohta me- revees on A. M. Palliere', M. Ravedry, J. Millet* leidnud, et tsemendid, mille koostisosiste protsentuaalne suhe on C₃A% / SO₃% ≥ 3 , on merevees mitte- püsivad ja suhte C₃A% / SO₃% < 3 korral merevees püsivad.

Käesoleval ajal toodab AS Kunda-Nordic Tsement port- landtsementi (PT), mille klinkri C₃A sisaldus on kuni 10% ja SO₃ sisaldus tsemendis kuni 3,5% ning portland-põlevkivi- tsementi (PPT), mille põleta- tud põlevkivi sisaldus on 20... 30% ja mille suhte C₃A% / SO₃% väärtus vastavalt 20% li- sandi korral on 1,8 ja 30% li- sandi korral 1,6.

Nii mitmete maailma riiki- de sulfaadikindlate tsemendide kui ka Eestis toodetavate tse- mentide nimetatud suhtarvu iseloomustab juuresolev dia- gramm. (Itaalia VSR tsemendil suhtarv on 0)

Kuna suhte C₃A% / SO₃% väärtus ei kajasta erinevate tsemendide hüdratsiooni- ja kivinemisprotsesside erinevu- si, siis ei saa toodud näitaja olla püsivuse hindamisel kau-

geltki ainumäärav.

Vaatamata sellele võib an- tud näitajate järgi otsustada, et portland-põlevkivitsement so- bib kasutamiseks sulfaatsetes keskkondades, sh merevees paremini kui harilik portland- tsement. On eeldusi PPT sul- faadikindluse tõstmiseks nii põletatud põlevkivi hulga kui ka koostise reguleerimisega aga samuti erinevate muude li- sandite kasutamiseega.

Järgneb

* A. M. Palliere, M. Ravedry, J. Millet, VTT Symp., 3-rd Int. Conf. on the Durability of Building Materials and Components, Espoo, 1984, v. 3 p. 35-45

VERNER KIKAS, TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOI EMERIITPROFESSOR

TOOMAS LAUR
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOI
EHITUSTOOTLUSE INSTITUUDI DIREKTOR,
EESTI TSEMENDI JA LUBJA STANDARDIMISE
KOMITEE ESIMEES

LEMBI-MERIKE RAADO
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOI
EHITUSMATERJALIDE ÕPPETOOLI JUHATAJA