

TSEMENDI SULFAADIKINDLUS – BETOONI PÜSIVUSE ÜKS EELTINGIMUSI

Algus maikuu *Ehitaja*

Artikli esimeses osas vaatleme betoonile keemilisel agressiivseid keskkondi ja nende normeerimist eri riikide normdokumentides. Samuti tutvusime tsemendi mineraloogilise koostise mõjuga tema püsivusele neis keskkondades.

Agressiivses keskkonnas kasutatavate betoonide projekteerimisel ja valmistamisel tuleb arvestada mitmete tehnoloogiliste faktoritega:

- sideaine tüüp ja selle kogus 1 m³ betoonis;
- täitematerjalide liik ja nende mineraloogiline ja terastikukoostis;
- betoonisegu (värske betoon) töödeldavus;
- armatuuri tüüp ja paigutus;
- detailide suurus, armatuuri kaitsekihi paksus;
- kivinemise tingimused;
- nõutav kasutusiga.

Agressiivses keskkonnas töötavale betoonile esitatakse eri riikide normides mõnevõrra erinevad tingimused. Vaatleme siinkohal mõningaid näiteid.

Prantsusmaa normides eristatakse sulfaadikindlad ja merevee-kindlad tsemendid lubatava trikalsiumalumiinadi (C₃A) sisalduse järgi klinkris: vastavalt ≤5% ja ≤10%.

Merevees ja muudes agressiivsetes keskkondades töötavatele betoonidele esitatakse nõuded erinevalt, kusjuures:

- minimaalne tsemendi doosering (T_{tsem}) on sõltuvas täitematerjali maksimaalsest tera suurusest (D): $T_{tsem} = A \cdot \sqrt[3]{D}$;
- määratakse kindlaks maksimaalne lubatav vesi-tsementtegur;

- määratakse kindlaks sulfaate keskkonna kontsentratsioonist olenev tsemendiliik, kusjuures üliagressiivsetes lahustes lubatakse kasutada vaid spetsiaalselt kaitstud (impregneeritud) sulfaadikindlate tsementidega valmistatud betooni. Merevee puhul on betooni osaline impregneerimine kohustuslik juba tugevalt agressiivse keskkonna puhul, esitatakse ka soovitus aluminaattsemendi kasutamiseks. Tuletame siinkohal meelde, et Läänemere vett ei loeta antud kontekstis mereveeks.

Vene normide järgi oleneb tsemendi valik keskkonna agressiivsete ionide sisaldusest, kusjuures arvestatakse filtratsioonikoefitsienti $K_F > 0,1$ m/ööp sõltuvalt HCO_3^- ioonide sisaldusest (mg-ekv/l), mille juures esitatakse tingimus betooni nõutavale vee pidavusele (tihedusele). Portlandtsemendiga valmistatud veepidavusega W4 betooni on näites lubatud kasutada keskkonnas, milles on kuni SO_4^{2-} 1500 mg/l. Sama W4 betooni, mis on valmistatud portlandtsemendiga, milles on piiratud C₃A ≤ 7% sisaldus, lubatakse kasutada keskkondades, milles on SO_4^{2-} kuni 6500 mg/l, üle selle tuleb betoon valmistada sulfaadikindla tsemendiga.

Vastavalt sulfaadikindlate portlandtsementide kasutusalade käsitle-

vale Vene standardile kasutatakse SO₃ sisaldavate keskkondade, samuti külmumis- ja kuivamisohlike SO₃ sisaldavate keskkondade ning väikese soojuseralduse nõude korral korrosiooniohlike keskkondades erinevaid sulfaadikindlaid tsementi (nagu sulfaadikindlad portlandtsemendid, portland-räbu- ja räbusemendid).

Üldistades saab öelda, et Venemaa normides asendub betooni klass ja minimaalne tsemendi hulk betooni veepidavuse klassiga, mis on omakorda seotud vesitsementteguriga W/C:

- kõrge veepidavusega betoon W8, lubatav vesi-tsementtegur W/C ≤ 0,45;
- keskmise veepidavusega betoon W6, lubatav vesi-tsementtegur W/C ≤ 0,55;
- madala veepidavusega betoon W4, lubatav vesi-tsementtegur W/C ≤ 0,6.

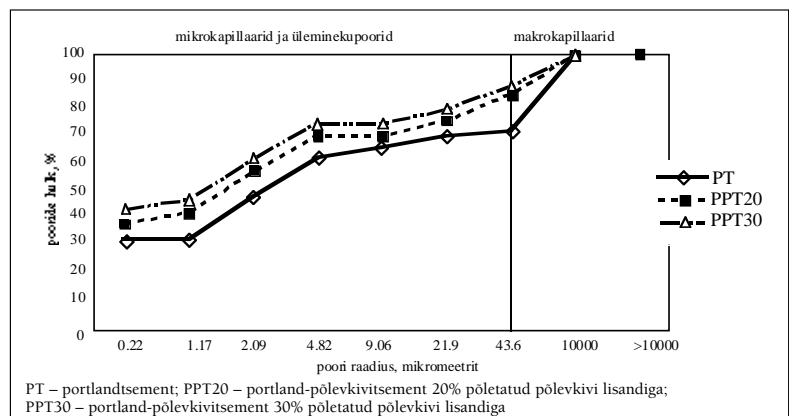
Euroopa betooni standardi kavandis esitatakse soovitusel betooni koostisele vastavalt keskkonnaklassile: minimaalne tugevusklass, minimaalselt lubatav tsemendi hulk 1 m³ betoonis ja vesi-tsementtegur.

Soome normides esitatakse nõuded olenevalt keskkonna agressiivsusest ja betooni tugevusklassi minimaalväärtusest, veepidavuse nõudest, soovituslikust õhusisaldusest ja armatuuri kaitsekihi paksusest. Samuti antakse tsemendi minimaalne lubatud kogus ja maksimaalne lubatud vesi-tsementtegur betoonisegus.

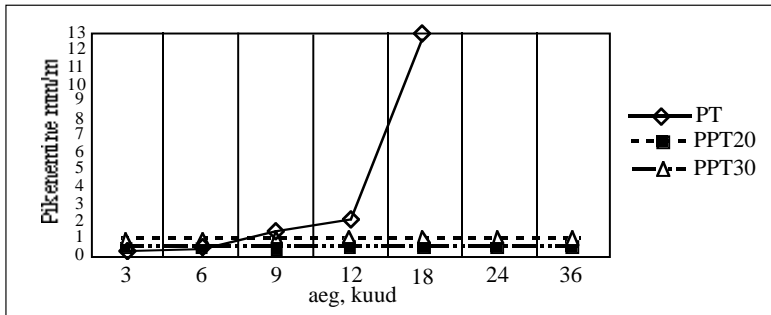
Toodud näidetest selgub, et agressiivses keskkonnas asuvalle betoonile esitatakse tsemendi aluminaatide sisalduse kõrval eelkõige kõrge veepidavuse (tiheduse) nõue, mis üldjuhul saavutatakse vesi-tsementteguri piiramisega, kasutades selleks mitmesuguseid vahendeid.

Sellest seisukohast lähtudes võime täiendavalt kinnitada Eestis toodetava portland-põlevkivitsemendi (PPT) võimaliku suurendatud korrosioonikindlust (vt *Ehitaja* nr 5/1999).

PPT sisaldab oma koostisosa, põletatud põlevkivi lisandi tõttu võrreldes hariliku portlandtsemendiga (PT) enam CaO_{vaba}, samuti CaSO₄ ja tema koostisesse kuuluvad putsoolaanne osa ning klaasifaas.



Joonis 1. Põõrde jaotumine normaaltingimustel kivinenud portlandtsemendi- ja portland-põlevkivitsemendi standardmördis.



Joonis 2. Portland- ja portland-põlevkivitsemendi püsivus 5% Na₂SO₄ lahuses olenevalt põletatud põlevkivi sisaldusest tsemendis.

(Viimasel puudub iseseisev hüdrauliline aktiivsus, kuid selle aktivaatoriteks on CaSO₄ ja Ca(OH)₂. PPT hüdratatsioonil ja kivinemisel tekib tsemendikivi, milles on makrokapillaarpoore >50µm suhteliselt vähem kui portlandtsemendi kivinemisel (vt joonis 1). Jooniselt nähtub, et makrokapillaarpooride maht PPT kivinemisel moodustab 9...19% kogupoorsusest ja PT puhul vastavalt 23...29%, kusjuures põletatud põlevkivi sisalduse suurenemisel 10% võrra väheneb suurte kapillaarpooride maht ca 6%.

Teisalt, kuna põletatud põlevkivi ei sisalda trikalsium-alumiinaati (C₃A), siis väheneb ka tsemendi vastav sisaldus proportsionaalselt põletatud põlevkivi lisandi kogusele.

Vastavalt makrokapillaarpooride mahu vähenemisele suureneb betooni veekindlus. Sellest tulenevalt on PPT baasil valmistatud betoonid püsivamad sulfaate sisaldavate lahuste mõjule, mida illustreerib joonis 2.

Sulfaadikindla portland-põlevkivitsemendi koostise väljatootamine, mille koostis ja omadused oleksid täpselt nor-

meeritavad, seisab aga veel ees.

Käesolevas artiklis on puudutatud tsemendi valikut vastavalt keskkonna tingimustele. Eraldi tuleb aga vaadelda mitmeid tehnoloogilisi mõjureid.

Õigesti projekteeritud ja valmistatud värske betoon ei taga veel betoonkonstruktsiooni püsivust, kuna betooni veekindluse saamiseks on olulise tähtsusega värske betooni paigaldamine, tihendamine ja hilisem hooldamine. Peale selle ei saa olla veekindel ja püsiv betoonkonstruktsioon, mis on väljakuivamise tõttu pragunenud või mille armatuuri liiga õhuke kaitsekiht on karboniseerunud, soodustades märgatavalt armatuuri korrodeerumist.

Meie kliimavööndis tuleb arvesse võtta ka betooni kahjustavat lisategurit – külmu-

mist. Veega küllastunud betooni külmumisel võivad selles tekkida praod, mille kaudu agressiivne keskkond kahjustab betooni märksa ulatuslikumalt. Tavapäraselt võetakse külmumisohu korral aluseks agressiivsuse järgmine klass. Näiteks kui agressiivsete ioonide kontsentratsiooni järgi oleks meil tegemist keskmiselt agressiivse keskkonnaga, siis külmumise võimalikkus muudab keskkonna tugevalt agressiivseks.

Kirjeldatud keskkonnuuringud, tsemendi ja betooni koostise valik ning muude betooni kaitsmiseks vajalike meetmete tarvilikkuse üle otsustamine toimub loomulikult konstruktsiooni kasutusiga arvestades. Lähtudes betoonehitise ettenähtud kasutuseast tuleks kindlasti määratleda keskkonna tingimused ja vastavalt sellele projekteerida betooni koostis.

VERNER KIKAS
TOOMAS LAUR
LEMBI-MERIKE RAADO

