

# ETUI BetonTEST uuris Kunda tsementide mahukahanamist

**Olav Sammal**, DPh., OÜ ETUI BetonTEST

**Praad betoonis on tarindi kvaliteedi hindamisel peamisi näitajaid, seega on nende vältimine ehitusorganisatsiooni jaoks hea maine saavutamisel ja hoidmisel ülioluline.**

Kõrge tugevusega sarrustatud tsementbetoon on kvaliteetsete ja kauakestvate betoonrajatiste ehitamisel asendamatu. Kuid muret on hakanud tegema betooni pragunemine tarindites, mistõttu on see ka viimasel ajal rahvusvaheliste kongresside ja sümposiumide aktuaalseks teemaks. Võiks öelda, et pragude tarjatis tundub "imelikuna".

Betooni mahukahanamisprotsess on mitmekülgne ja komplitseeritud, sõltudes tsemendi omadustest, betooni valmistamisest (retseptuurist), transpordi tingimustest, paigaldamisest, tihendamisest, järelhooldusest jne. Pragude tekkimine on aga üks põhinäitajaid betoonitarindi kvaliteedi hindamisel.

Eesmärk on kauakestvate (üle 50 aasta) ja töökindlate rajatiste ehitamine. Selle eesmärgi saavutamisel on üks prioriteete pragudeta (alla 0,2...0,3 mm) tarindite loomine. Halva näitena võib tuua alles eelmisel aastal avatud jalakäijate tunnelid Tallinna kaubamaja ja Stockmanni kaubamaja kõrval: juba on seal tõsised, mitmekordselt Euroopa Liidus soovitatud määrasid ületavad praod nii lagedes kui põrandates. Selliste rajatiste kestvus ei küüni 50 aastani – nende valdajail tuleb hakata kohe mõtlema tunnelite remontimisele lähematel aastatel, mis pole sugugi väikese maksumusega.

Üheks eelduseks pragude vältimisel on sobivate omadustega (mahumuutustega) tsementide kasutamine. Seetõttu valmiski OÜ-s ETUI BetonTEST Kunda Nordic Tsemendi taotlusel esialgne uurimistöo, mille eesmärgiks oli määrata viie Kunda tsemenditüübi sisedeformatsioonid (mahumuutused, lisandite mõju, survetugevus) erinevate koostiste ja järelhoolduse tingimus-

te puhul ning anda soovitusi nende tsementide sobivuse kohta erinevate rajatiste (tarindite) loomisel.

## Katsete plaan

Uuriti viit tsemenditüüpi:

- 1) normaalportlandtsement CEM I 42,5R;
- 2) põlevkivitsement CEM II/B-M (T-L) 32,5R;
- 3) põlevkivikiirtsement CEMII/B-T 42,5R;
- 4) komposiittsement CEMII/B-M (T-L) 42,5R;
- 5) kiirtsement CEM I 42,5R.

Igast tsemenditüübist valmistati neli katseprismat (7 × 7 × 30 cm).

Kaks katseprismat valmistati nn puhtast segust. Koostis:

- 2 kg liiva (silikaatkuivliiv 0...0,8 mm);
- 0,8 kg tsementi (vastavalt tüübile);
- 0,48 l vett (vesitsementtegur 0,60).

Kaks prismat valmistati lisandiga (CA-10) segust. Koostis:

- 2 kg liiva;
- 0,8 kg tsementi;
- 0,48 l vett;
- 5 ml lisandit (OÜ Albeka koostatud tsemendiaktivaator CA-10).

Vormidesse, millesse oli kinnitatud spetsiaalandur T-20, pandi segu käsitsi (raputades).

Järgmisel päeval vabastati betoonprismad vormidest ning alustati sisedeformatsiooni mõõtmisi seadmega T-20/BTM-6.

Deformatsioonide registreerija T-20/BTM-6 on väga stabiilne ja kõrge täpsusega portatiivne, akutoitega mikroprotsessoriseade, mis ETUI-s on välja arendatud betooni pragude ja sisedeformatsioonide kontrollimiseks. Deformatsioonide mõõtmise



**Tüüpilised mahukahanamise praod.**



**Sisedeformatsiooni anduri T-20 paigaldamine vormi.**



**Vormi täitmine liiv-tsementseguga.**

Tabel I. Kunda Nordic Tsement, ("puhaste") katsekehade mõõtmistulemid

Tabel nr	Katsekeha kood	Mahukaal g/cm <sup>3</sup>	Prismiline survetugevus MPa	Surveelastsusmoodul, MPa	Järelhooldus	kahanemine/paisumine mm/m	Tsement
1	IV	2,20	32,7	21660	vees/õhus	0,46 / -0,34	Normaalportlandtsement CEM I, 42,5R
2	V	2,08	33,0	20930	kilekotis/õhus	0,11 / -0,46	Normaalportlandtsement CEM I, 42,5R
3	VIII	2,11	32,6	22243	vees/õhus	2,60 / -	Põlevkivitsement CEM II/B-M(T-L) 32,5R
4	IX	2,11	35,3	23800	kilekotis/õhus	0,22 / -	Põlevkivitsement CEM II/B-M(T-L) 32,5R
5	XII	2,13	42,9	23900	vees/õhus	0,47 / -0,06	Põlevkivikiirtsement CEM II/B-T 42,5R
6	XIII	2,12	41,8	24600	kilekotis/õhus	2,01 / -	Põlevkivikiirtsement CEM II/B-T 42,5R
7	XVI	2,06	43,3	23190	vees/õhus	1,81 / -	Komposiitsement CEM II/B-M(T-L) 42,5
8	XVII	2,10	40,8	22740	kilekotis/õhus	2,26 / -	Komposiitsement CEM II/B-M(T-L) 41,5
9	XXVIII	2,17	44,5	24010	kilekotis/õhus	0,32 / -0,15	Kiirtsement CEM I 42,5R
10	XXI	2,16	36,9	21040	kilekotis/õhus	1,05 / -	Kiirtsement CEM I 42,5R

aluseks on tensoandurite tensoresistorefekt alalisvoolu Wheatstone'i silla lülituses (sisemise elektrilise kalibreerimisega). T-20 tundlik element on tensoresistor 2ПКИ20-200B (TY 25.06-1382-78). Mõõteseade võimaldab kindlaks teha sisedeformatsioonide muutusi tundlikkusega  $\varepsilon = 10^{-6}$  ehk 1  $\mu\text{m/m}$ .

Valmistati viis katsekehade seeriat (viiest tsemenditüübist). Iga seeria koosnes neljast katseprismast ( $7 \times 7 \times 30$  cm).

Igast seeriast hoiti üht prismet:

- vees (1-2 nädalat) ja seejärel toa-

õhus;

- niiskes kilekotis (1-2 nädalat) ja seejärel toaõhus;
- vees (1-2 nädalat, lisandiga CA-10) ja seejärel toaõhus;
- niiskes kilekotis (1-2 nädalat, lisandiga CA-10) ja seejärel toaõhus.

Deformatsioonimõõtmisi tehti 60 päeva jooksul (hommikuti). 60 päeva möödumisel purustati katsekehad katsepressi all. Määrati katsekehade mahumass, prismiline survetugevus, surveelastsusmoodul ning sisedeformatsioonid.

### Katsetulemite interpreteerimine

Iga katsekeha (prisma) mõõtmistulemid interpreteeriti ja kujutati graafiliselt arvutis (programm Exel).

Mõõteseadme T-20/BTM-6 näidud kontrolliti katseprismade katsetamisega pressi all.

Võrreldi prisma kahele tahule paigaldatud (Huggenbergeri tüüpi) tenso-meetrite deformatsioone mõõteseadme T-20/BTM-6 näiduga ( $EM_i - EM_0$ ). Määrati eksperimentaalne tegur  $k_t = 2,05$ . Seega määrati sisuliselt nn vaba mahukahanemine, mis iseloo-



Mõõteseade BTM-6.



Katsekeha prismilise survetugevuse määramine pressi all.



Katsekeha surveelastsusmooduli määramine pressi katsetel.

Tabel II. Kunda Nordic Tsement, lisandiga CA-10 katsekehade mõõtmistulemid

Tabel nr	Katsekehakood	Mahukaal g/cm <sup>3</sup>	Prismiline survetugevus MPa	Surveelastsusmoodul, MPa	Järelhooldus	kahanemine/paisumine mm/m	Tsement
11	VI	2,13	36,7	22995	vees/õhus	0,05 / -0,33	Normaalportlandtsement CEM I, 42,5R
12	VII	2,14	35,9	24740	kilekotis/õhus	0,30 / -	Normaalportlandtsement CEM I, 42,5R (katkest.)
13	X	2,10	32,7	24000	vees/õhus	0,02 / -0,24	Põlevkivitsement CEM II/B-M(T-L) 32,5R
14	XI	2,12	29,8	20800	kilekotis/õhus	3,50 / -	Põlevkivitsement CEM II/B-M(T-L) 32,5R
15	XIV	2,15	44,9	24200	vees/õhus	2,23 / -	Põlevkivikiirtsement CEM II/B-T 42,5R
16	XV	2,17	36,7	23100	kilekotis/õhus	0,23 / -0,40	Põlevkivikiirtsement CEM II/B-T 42,5R
17	XVIII	2,07	41,0	23800	vees/õhus	0,37 / -0,10	Komposiitsement CEM II/B-M(T-L) 42,5
18	XIX	2,11	40,2	21040	kilekotis/õhus	1,31 / -0,08	Komposiitsement CEM II/B-M(T-L) 41,5
19	XXII	2,12	44,9	24810	vees/õhus	1,20 / -1,04	Kiirtsement CEM I 42,5R
19	XXIII	2,13	39,0	22910	kilekotis/õhus	0,20 / -1,20	Kiirtsement CEM I 42,5

mustab uuritava liiv-tsementsegu mahumuutusi 60 päeva kestel pärast valamist.

Koondtabelis I on Kunda Nordic Tsemendi “puhaste” katsekehade mõõtmistulemite kokkuvõte ning koondtabelis II lisandiga (CA-10) katsekehade mõõtmistulemid.

### Kokkuvõte ja soovitused

1. Kunda normaaltsementi CEM I 42,5R võib tõepoolest soovitada laiale tarbijaskonnale kui normaaltsementi. See tsement saavutab piisava survetugevuse ning on järelhoolduse ja lisandi manustamise suhtes võrdlemisi vähetundlik.
2. Põlevkivitsement CEM II/B-M(T-L) 32,5R on suhteliselt madala tugevusega ja vees kõrge mahukahanemisega (~ 6 korda suurem normaalportlandtsemendist), mis sõltub järelhooldusest. On lisandi manustamise suhtes väga tundlik. Pole soovitatav jõukonstruksioonides, küll aga mörtides.

3. Põlevkivikiirtsement CEM II/B-T 42,5R on mõõduka mahukahanemisega tsement, mis vajab veega kastmist rohkem, vastasel korral (õhus) on mahukahanemine kuni neljakordselt suurem. Seegi tsement on lisandi manustamise suhtes tundlik. Soovitav kasutada mereehitistes.
4. Komposiitsement CEM II/B-M 42,5R on mõõduka mahukahanemisega, mis järelhooldusest sõltub vähe, kuid lisandi manustamisest oluliselt.
5. Kiirtsement CEM I 42,5R on piisava kastmise korral nõrgalt mahupaisuv, kuivana tekib mahukahanemine ~ 0,3 mm/m. Lisandi manustamise ja järelhoolduse suhtes on tundlik. 20...30 päeva vanuselt algab mahupaisumine, mis stabiliseerub nivool 0,2 mm/m. Võib soovitada põrandate valamiseks.
6. Katseprismade mahumassid, survetugevused ja surveelastsusmoodulid on toodud koondtabelites I ja II. Ilmneb, et lisand CA-10 (tsemen-

diaktivaator) tõstab normaalportlandtsemendi survetugevust ~ 10%.

7. Peab märkima, et tsemendiaktivaator CA-10 mõjutab Kunda erinevatest segudest tsementide omadusi erinevalt.
8. Tehtud uurimistööd tuleks lugeda alguseks järgmistele uuringutele. Edaspidi oleks vaja uurida:
  - erinevate tsementide valmistamise ühtlust (stabiilsust tootmisel, mahukahanemisel, tugevusel, lisandite mõju);
  - uute tsemenditüüpide vastavaid omadusi enne masstootmise alustamist;
  - Kunda Nordic Tsemendi tsemenditest valmistatud betoonkatsekehade (prismade) mahukahanemist, survetugevust, lisandite manustamise mõjusid; katsekehad teha vastavalt betoonitehastes betoonide valmistamise ja tihendamise tingimustele;
  - fiibersarruse mõju betooni mahumuutustele. <sup>ⓔ</sup>