

# BETOONI PRAGUNEMINE

**Betoon peab olema võimeline vastu seisma tema kasutuskohas toimivatele keskkonna- ja eksploatatsioonitingimustele ning projektikohastele koormustele kogu kavandatud kasutusea.**

**K**õige nähtavam ja sagedasem betooni kahjustusvorm on pragunemine ning sellel on kümneid põhjuseid. Praod võivad tekkida juba värskest valatud betooni või ilmnedes alles 5...10 aasta möödudes.

Pragunenud betoon muutub kergesti kahjustatavaks. Praod on teedeks, mida mööda tungivad betooni nii vesi kui muud keemiliselt agressiivsed komponendid, põhjustades

betooni omaduste, nagu tugevus, kulumus, külmumiskindlus, veepidavus, halvenemist kas füüsiliselt või keemiliselt.

Betooni pinnakihi tiheduse vähenemisel jõuab agressiivne keskkond läbi kaitsekihi suhteliselt lihtsalt armatuurini, mis toob kaasa selle korrodeerumise ja paisumise, mis lõhub armatuuri kaitsekihi lõplikult. Armatuuri korrodeerumise tagajärjel kaob vajalik side betooni ja armatuuri vahel

ning väheneb armatuuri efektiivne töödiameeter.

Kui armatuuri kaitsmiseks ei võeta õigeaegselt kasutusele vastavaid meetmeid, kaotab konstruktsioon aja jooksul oma kandevõime, sest terasarmatuur on raudbetoonis eeskätt tõmbekoormuste vastuvõtlik.

Armeerimata betooni tõmbetugevus on palju kordi väiksem kui survetugevus. Kui pragudesse tunginud vesi külmub, toimub vee paisumine. Korduvate külmumiste-ülesulamise tagajärjeks on samuti betooni järkjärguline lagunemine.

Betooni omaduste hästi läbimõeldud spetsifitseerimine, betooni koostise õige projekteerimine ning hoolikas pai-

galdamine aitavad ennetada probleeme, mida võib põhjustada betooni kontrollimatu pragunemine.

Sajaprotsendiliselt pragude teket vältida ei ole praktiliselt siiski võimalik. Betooni armeerimine vähendab küll ohtlike pragude tekket riski, kuid ei kahanda betooni enda kahanemisdeformatsioonide suurus. Küll muudab ta üksikud laiad ja ohtlikud praod paljudeks vähemärgatavateks peenteks või mikropragudeks.

Oluline on see, milliste pragudega on tegemist. Igasugune betoon sisaldab tahes või tahtmata pragusid. Kui neid poleks, oleks midagi tõsiselt korrast ära, sest pragunemist tuleb käsitleda kui toimet, mille kaudu lahenevad pingeolu-

**Tabel. Joonisel toodud praotüüpide ja nende tekkepõhjuste selgitus**

Prao tüüp	Viide joonisel	Alajaotus	Kõige tavalisem esinemiskoht	Primaarne tekkepõhjus	Sekundaarne tekkepõhjus
Plastiline vajumine	A	Armatuuri kohal	Paksukihiline betoon	Tugev vee-eraldus	Kiire varane kuivamine
	B	Kaarjas	Sambad, postid, piilarid		
	C	Betooni paksuse muutus	Ribi- ja vahvelplaadid		
Plastiline kahanemine	D	Diagonaalne	Teed ja plaadid	Kiire varane kuivamine	Aeglane vee-eraldus
	E	Juhuslik	Armeeritud betoonplaadid	Lisaks eelmisele armatuur liiga lähedal pinnale	
	F	Armatuuri jälgiv	Armeeritud betoonplaadid		
Varane termiline kokkutõmbumine/kahanemine	G	Välimine takistus	Paksud seinad	Liiga suur soojaeraldus	Kiire jahtumine
	H	Sisemine takistus	Õhukesed plaadid	Liiga suured temperatuurigradiendid	
Pikaaegne kuivamis-kahanemine	I		Õhukesed plaadid ja seinad	Mitteefektiivsed vuugid	Liiga suur kahanemine ja mitteküllaldane järelhooldus
Võrkjas juuspragunemine	J	Vastu raketist		Veetihe raketis	Tsemendirikkad segud ja halb järelhooldus
	K	Hõõrutatud betoon	Plaadid	Liigne hõõrutamine	
Armatuuri korrosioon	L	Looduslik	Sambad, postid, piilarid	Kaitsekihi puudulikkus	Madalakvaliteediline betoon
	M	Kaltsiumkloriid	Betoonelemendid	Kaltsiumkloriidi kasutus	

korrad heterogeenses materjalis, nagu seda on betoon. Õnneks on enamik pragusid betoonis mikroskoopilised ega moodusta silmaga nähtavaid defekte.

Betoonile on omane "iseravimisvõime". Tsemendi reageerimisel veega tekivad valdavalt mikroskoopilised uusühendid, mille pidev juurdekasv põhjustab tugevuse kasvu ehk kivilinemise, kivitaoliseks muutumise. Mida noorem on

betoon, seda enam on selles reageerimata tsemendiosakesi ning seda suurem on tema potentsiaal "iseravimiseks" ehk pragude ja defektide kinnikasvatamiseks.

Kivilinemise käigus tekivad uusmoodustised suudavad kinni kasvatada tegelikult vaid mikropraod. Kui prao laius ulatub juba 0,3 millimeetrini, on tõenäosus, et see iseravimise teel ei kao, vaid enne hakkavad keskkonna negatiivsed

toimed betooni kahjustama, väga suur. Ohutuks prao laiuseks vahelduva märgumisekuivamise või merevee pritsmete tsoonis võib lugeda 0,15 mm. Kompliksioone tekitavaks võib osutuda prakku sattunud vesi ja selle külmumine ja paisumine.

### Miks praod tekivad?

Betoon praguneb siis, kui selles tekkinud tõmbepinged ületavad tema tõmbetugevuse. Betooni tõmbetugevus kasvab kivilinemise käigus, värskel betoonisegul on see null. Seega, betooni pragunemise risk on eriti suur kivilinemise varases vanuses, kus tõmbetugevused on väikesed.

Praguneda võib siiski ka aastatevanune betoon, kus tõmbetugevused on juba märkimisväärselt kõrged. Põhjuseks võivad siin olla näiteks leelisreaktsioonivõimeline täitematerjal, armatuuri korrosioon ja vahelduvad külmumise-sulamise tsüklid. Selles artiklis ei räägi me pragunemisest, mida põhjustab betooni ülemäärane koormamine.

### Millest tulenevad betooni tõmbepinged?

Paigaldatava betoonisegu koostises on vett alati rohkem, kui seda oleks tarvis tsemendi reageerimiseks. Vesi on vajalik mitte ainult tsemendi reageerimiseks, vaid ka betoonile vastava töödeldavuse tagamiseks. Kui kivilinev betoon mingil põhjusel kaotab vett, siis ta kahaneb mahus. Kui kahanemine ei ole takistatud, siis betoonis pingeid ega pragusid ei teki. Praktiliselt aga ei ole võimalik rajada ühtki märkimisväärsete mõõtmetega betoonkonstruktsiooni, ilma et selle kahanemisele ei tekiks takistust.

Pragunemise nähe on iseenesest väga kompleksne protsess, mis sõltub paljudest faktoritest: kuivamise kiirusest ja ulatusest, betooni tõmbetugevusest, takistusest ka-

hanemisele jms. Kuivamiskahanemist ja selle kiirust mõjutavad vesitsemmenttegur, tsemendi liik, peensus ja mineraloogiline koostis, täitematerjali jäikus, terakuju, pinnatekstuur ja terastiku koostis, lisandite omadused ja hulk, konstruktsiooni mõõtmed ja kuju ning muidugi keskkonna niiskus, temperatuur ja tuul.

Maailmapraktikale tuginedes on pragude tekke põhjustel 36% ulatuses ehitusliikku laadi või järelevalvet puudutavad, 27% ulatuses seotud projekteerijaga, 21% ulatuses keskkonna tingimustega, nagu temperatuur ja õhuniiskus, ja 17% ulatuses seostatavad materjalide kvaliteediga.

Sõltuvalt sellest, millal prao on tekkinud, võib need jaotada kahte suurde gruppi:

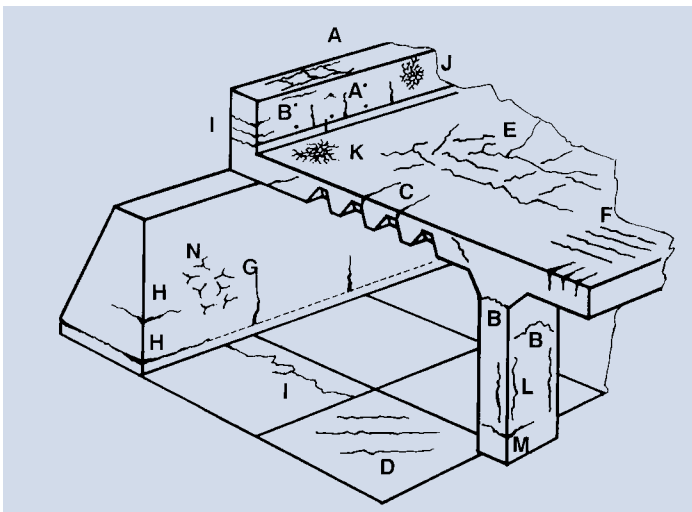
- prao, mis on tekkinud enne betoonisegu tardumist (plastilise kahanemise prao ning plastilise vajumise prao);
- prao, mis on tekkinud kivilinemise staadiumis (varajasest soojuspaisumisest või kahanemisest, kuivamiskahanemisest ja korrosioonist ning vahelduvast külmumisest-sulamisest põhjustatud prao).

Selgituseks on artiklile lisatud betoonehitistes esinevate tüüpiliste pragude skeem ja tabel lühiselgitustega nende asukoha ning tekkimise põhjuste kohta.

### Plastilise vajumise prao

on kõige varajasema tekkega. Vee pinnale kerkimisega kaaneb betoonisegu vajumine. Kui vajumise teele jääb mõni takistus, võib selle kohale tekkida pragu. Selliseks takistuseks on betoonis tavaliselt armatuur. Tüüpiline vajumise suurus on 0,5...1 cm betooni 1-meetrise pakuse kohta, mis vastab vee-eraldusele 5...10 liitrit kuupmeetri kohta.

*Meetmed plastilise vajumise pragude kõrvaldamiseks*



Meetmed	Ilmnemise aeg
Betoonisegu vee-eralduse vähendamine või ülevibreerimine	10 minutit kuni 3 tundi
Varasem järelhoolduse alustamine, kiu kasutamine betoonis	30 minutit kuni 6 tundi
Soojaeralduse vähendamine või isoleerimine	1 päev kuni 3 nädalat
Vee hulga ja peenmaterjali hulga vähendamine betoonisegus, järelhoolduse parandamine	Nädalad, kuud
Viimistlustööde tehnoloogia ja järelhoolduse parandamine	1 kuni 7 päeva, vahel hiljemgi
Loetletud põhjuste kõrvaldamine	Tavaliselt üle 2 aasta

või tekkeohu vähendamiseks.

- Plastilise vajumise pragude tekke korral tuleb betoon uuesti üle vibreerida.
- Hoida betooni töödeldavus võimalikult madalal tasemel (koonuse vajumine 8...10 cm) ja/või kasutada väikese vee-eraldusega betoonisegusid.
- Ette näha piisavalt suure paksusega betooni kaitsekiht armatuuri kohal.
- Kasutada õhku siseseviivate lisanditega betoone. Õhku siseseviiva lisandi kasutamine vähendab oluliselt betoonisegu vee-eraldust, eriti juhul, kui betoonis ei ole piisavalt peenosa veehoidvuse tagamiseks. Õhu sisaldus betoonis võiks olla 2...4%. Õhu siseseviimine tõstab ka betooni külmutiskindlust.

### Plastilise kahanemise praod

tekivad värskelt paigaldatud betooni pinnal viimistlemise

ajal või vahetult sellele järgneval perioodil. Seda tüüpi praod tekivad siis, kui niiskuse aurustumise kiirus betooni pinnalt ületab vee pinnaletõusu ehk vee-eralduse kiirust. Plastilise kahanemise praod ilmnevad kõige sagedamini suvel, tingimustes kui on soe, tuuline ja õhuniiskus madal. Plastilise kahanemise praod võivad olla väga sügavad, laiusega kuni 3 mm, ja nende pikkus väga erinev, ulatudes kohati kuni meetrini.

Plastilise kahanemise pragude tekke suhtes on altimad:

- kõrge tsemendisaldusega betoonid;
- kõrge jahvatuspeenusega tsementide baasil valmistatud betoonid;
- madala vesitsemmenteguriga betoonid, kaasa arvatud superplastifikaatoritega betoonid;
- betoonid, kus on kasutatud tardumise/kivinemise aeglustajaid. Aeglustajad pikendavad plastise oleku aega, kuid ei mõjuta

kuivamiskahanemise tingimusi.

*Ettevaatusabinõud plastilise kahanemise vältimiseks.*

- Valida võimalusel betooni valamiseks aeg, kui ilmastik selleks on soodne, vältida valamist tuule tuule ja päikese käes.
- Alustada betooni hooldusega kohe, niipea kui võimalik.
- Betoonivalu eel niisutada aluspinnad, raketised ning armatuur.
- Kasutada plastfiibrit.

### Võrkjas pragunemine

on tingitud betooni pinnakihi kahanemisest. Praod on tavaliselt paar millimeetrit sügavad ja moodustavad tüüpiliselt võrgustiku, mille silm on heksagonaalsele lähedase kujuga. Silma ava on tavaliselt mõne sentimeetri suurune. Võrgustik kipub tekkima kohtades, mida on tasandatud terashöürutiga.

Selline pragunemispilt te-

kib sageli juhul, kui ei ole kinni peetud betoonitööde headest tavadest: on kasutatud liialt plastseid segusid, kesine hooldus, toimub kiire pinna kuivamine või on pinnaviimistlust alustatud liiga vara, kui pinnale tõusnud vesi (tsemendipiim) on endiselt veel pinnal.

*Võrkja pragunemise vältimiseks tuleks rakendada järgmisi ettevaatusabinõusid.*

- Mitte siluda betoonipinda, kui seal püsib veel pealekerkinud vett.
- Mitte puistata betooni pinnale ega hõõruda plastsesse betooni kuiva tsementi eesmärgiga vabaneda pinnaletõusnud veest.

### Varane termiline pragunemine

Betooni kivinemisel reageerib tsement veega ja selles eraldub soojust. Soojuse toimel betoon paisub, jahtumisel tõmbub kokku ehk kahaneb. Kui kaha-



## TARTU NÄITUSTE MESSIKESKUSES 7. TARTU EHITUSMESS 25. - 27. OKTOOBER 2001



[www.hot.ee/ehitusmess](http://www.hot.ee/ehitusmess)

10 AASTAT MESSIKOGUNIST  
TARTU NÄITUSED

INFO: 07 421 662

nemine on takistatud, tekivad betoonis tõmbepinged, mille tagajärjeks võib olla pragunemine.

Tüüpiline termiline paisumine/kahanemine on suurusjärgus 0,1 mm/m temperatuuri muutusel 10 °C. Termilised praod on üsna tavalised siis, kui vuukide lõikamisega on viivitatud.

Küllaltki sagedased on juhtumid, et varem valatud põrandale hiljem valatud liigendatud sein tõmbab päev-kaks pärast raketistest lahti võtmist sisse läbivad praod. Eriti kõrge oht selliseks pragunemiseks on suhteliselt paksude seinte ja järskude temperatuurierinevuste korral betooni ja keskkonna vahel. Meie oludes võib nende temperatuuride erinevus ulatuda sageli 20...40 °C.

Seinas päeva-kahe jooksul tekki tõmbepinge on suurusjärgult võrdne sama seina mitmenädalase kuivamisega kaasneva kahanemisega. Eriti haledaljakaks kujuneb pilt siis, kui sein on projekteeritud kõrge veepidavusastmega, kuid seina tekivad läbivad praod juba esimestel päevadel.

Termiline pragunemine toimub suhteliselt lühikese ajavahemiku jooksul. Tahes või tahtmata liitub sellele ka kuivamiskahanemine. Jahtumine ja kuivamine loovad samasuunalise toimemehhanismi, mis muudab olukorra veelgi tõsisemaks selles mõttes, et algselt termilisest pragunemisest tekkinud praod edaspidi ja suhteliselt pika aja jooksul laienevad.

**Varase termilise pragunemise riski vähendamise meetodid.**

- Näha ette sobiva konstruktsiooniga kahanemispaisumisvõid.
- Alustada betooni hooldust niipea kui võimalik.
- Betoon kaetakse soojusmaterjaliga, et vältida kiiret jahtumist.
- Mitte kiirustada raketise eemaldamisega, sest see kaitses betooni jahtumise ja tuule eest.

## Kuivamiskahanemine ja sellest tingitud praod

Hüdrateerunud tsemendipasta kahaneb sedavõrd, kui ta kaotab vett oma erakordselt peentest pooridest. Kui niiskus neist pooridest eemaldub, siis järelejäänud vee pindpinevus tõmbab poore koomale, mille tagajärjeks on betooni mahu vähenemine kuivamisel.

Kuivamiskahanemise praod tekivad enamasti mitte varem kui nädal pärast betooni paigaldamist. Kuivamiskahanemine on pikk protsess ja on suuresti sõltuv konstruktsiooni paksusest ja keskkonnatingimustest. Tavapäraselt saavutatakse kahanemine aastaga umbes 70...80% oma võimalikust suurusest. Tüüpiline kuivamiskahanemise ulatus on 0,5...0,8 mm iga meetri kohta ehk 2,5...4 mm 5 meetri pikkuse lõigu kohta.

Betooni koostise projekteerimise kõige olulisemaks aspektiks kuivamiskahanemise üle kontrolli saavutamisel on seguvee hulga kontroll. Ruskareeglina kutsub üheprotsendine vee hulga suurendamine betooniseguse esile kahanemise kasvu 2%. Kahanemise vähenemisele aitavad kaasa vee hulga vähendamine ja veisitementeguri alandamine.

Kahanemise ulatust mõjutab oluliselt ka tsemendi tüüp ning betooni maksimaalne terasuurus. Antud teemat on autor käsitlenud ühes oma varasemas artiklis – “Betooni niiskusdeformatsioon” Ehitaja 10(52), 2000 –, kus on vaatluse all portlandpõlevkivituhktsemendi baasil valmistatud betoonide kahanemisdeformatsioonide sõltuvus kivinemise niiskusrežiimist ning betooni maksimaalsest terasuurusest.

Olulise tähtsusega, eriti põrandabetoonide puhul, on betooni paigaldusjärgne hooldus. Põrandaplaatide korral kuivab esmalt välj ja kahaneb betooni pinnakiht, samal ajal sügavamad kihid on suurema niiskussisaldusega ja kahane-



vad vähem. Erinev kahanemise ulatus plaadi vertikaallõikes võib esile kutsuda põrandaplaatide kõverdumise.

Eriti tundlikud järelhoolduse suhtes on kompenseeritud mahukahanemisega ja paisuvate tsemendidega valmistatud betoonid. Nende omapära seisneb selles, et vees või niiskes kivinedes algul nad märgatavalt paisuvad, hiljem, pärast hoolduse lõppu, aga kahanevad. Esialgne paisumine ja järgnev kahanemine annavad summaarseks kahanemiseks tunduvalt väiksema väärtuse kui tavatsemendi puhul.

Kui sellise tsemendi kasutamisel, mille näiteks on ka portlandpõlevkivitsemendid, mitte pöörata piisavat tähelepanu pinnasel asuvate põrandaplaatide valujärgsele hooldusele, võime saada päris karikatuurse pildi: plaadi nurgad ja servad on kerkinud nii tugevasti üles, et tugeval aluspinnaal asetseval plaadil võib lustlikult kiikuda. Selline plaat murdub juba suhteliselt tühise koormuse all.

Kõverdumise põhjus seisneb selles, et halva hoolduse tõttu – kui plaadil lastakse varases vanuses kuivada – tõmbab ülapind kokku, samal ajal

kui niiskes olev alumine plaadi osa paisub. Tagajärjeks on groteskne kõverdumine, sarnaselt kohupiima-plaadikoogi tükile, mis on jäetud taldrükule seisma. Kõverdumist soodustab aluspinnale paigaldatud kile, mis vähendab küll libisemistakistust, kuid väldib allapoole kuivamist.

Põrandaplaatide kõverdumine on omane mitte ainult kompenseeritud mahukahanemisega tsemendidele, vaid ka tavaportlandtsemendidele, ja see on probleemiks üle maailma. Tavatsemendide puhul ei ole hooldusvigade mõju niivõrd suure ulatusega.

Allakirjutanul on tulnud selliste kõverdunud plaatide stabiliseerimise probleemiga kokku puutuda ka realses elus. Ehitaja seisis praktiliselt dilemma ees, kas lammutada 2000 m<sup>3</sup> suurune põrand ja vedada see prügimäele ning ehitada uus või leida lahendus stabiliseerimiseks. Koos leiti stabiliseerimisküsimusele lahendus ja põrand võeti vastu ekspluatatsiooni.

**ENN UUSTALU, NCC INDUSTRI  
EESTI AS BETOON**

