BETOONTARINDITE

testimise ja hindamise strateegiad

Olav Sammal PhD / OÜ ETUI BetonTEST juhatuse esimees, *fib* (CEB-FIP) Nõukogu liige
Vello Salumaa / INFOPUNKT' hooldaja (Estonia pst. 7)

1 Sissejuhatus

1.1 Üldiselt

Selle dokumendi eesmärgiks on tutvustada betoontarindite testimise (eksperimentaaluuringute) ja hindamise strateegiaid, eraldi viidetega sarruse korrosioonile. Siiski võib antud soovitusi ja metoodikat kasutada paljude teiste probleemiliikide alusena. Antud dokument pole ette nähtud esitamaks detailiseeritud informatsiooni, vaid see esitab põhiaspekte ja nende tõlgendusi.

On mitmeid põhjusi võtmaks ette olemasoleva tarindi hindamist. Klient (üldiselt omanik või kasutaja) hakkab nõudma hindamise läbiviimiseks tehnilist spetsialisti. Põhjusteks, miks betoontarindeid peaks hindama, on:

a) kui seda nõutakse tarindi kasutaja või omaniku poolt:
- juhul, kui tarindi usaldusväärsus on ohus tänu betooni ja sarruse lagunemisele;
- kui tarind peab kandma lisakoormusi;
- kogumaks vajalikke andmeid remondi või uuenduste projektiks.

b) regulaarsetel põhjustel, nagu on üldiselt teostatud suuremate tarindite puhul, milledel on suur hulk komponente, näiteks maantee- ja raudteesildadel:
- kaitsmaks kogu silla ohutust ja kasutuskõlblikkust administratiivses piirkonnas, normaalseteks liiklustingimusteks või spetsiaalse veonduse puhul;
- loomaks uuendatud informatsiooniga andmebaasi iga sillatarindi seisukorra kohta teedevõrgus kui analüütilise vahendi vajalike hooldusmeetmete valimiseks;
- tegemaks kindlaks raskesti lagunenud tarindite remondi või ümbervahetamise prioriteete.

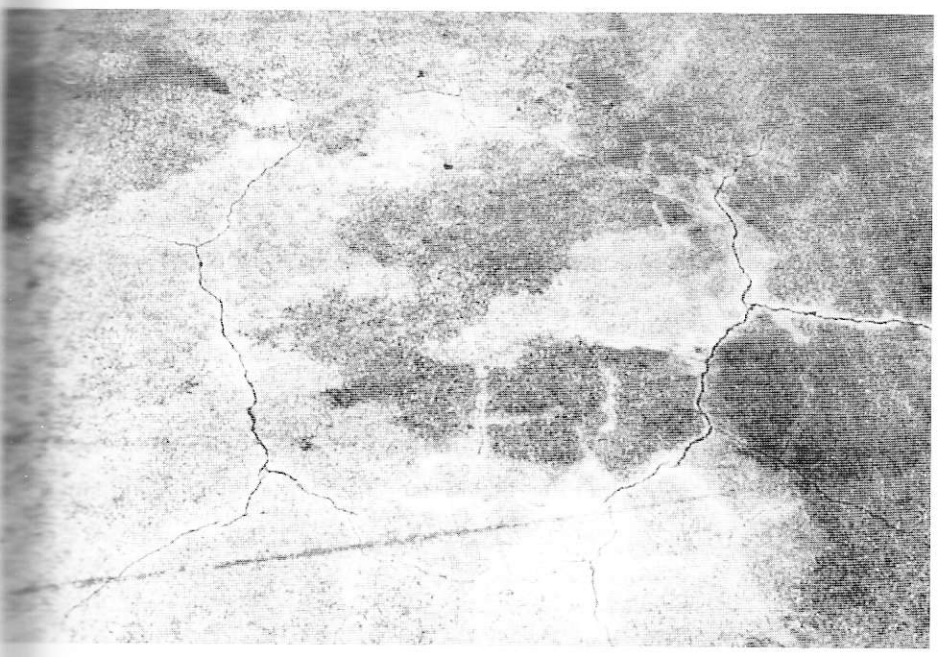
Hindamine on keeruline vastastikune koostoimimine:
- konstruktiivsete, keskkondlike ja teeninduslike andmete vahel;
- visuaalsete inspektsioonide tulemuste vahel;
- kohapealsete ja laboratoorsete uuringute testimisandmete vahel.

Betoontarindite hindamine on erinev tegevus, võrreldes selle projekteerimisega. Vaid ekspertide meeskond kogemustega ehitusinseneri juhtimisel ja koordineerimisel võib seda teha.

Sarruskorrosiooniga betoontarindeid võib mõjustada mitmel viisil ja mitmesugusel määral sõltuvalt tarinditüübist, keskkonnatingimustest ja materjali komponentide ja tarindi (kui terviku) tundlikkusest.

Individuaalsete tarindite erapooletu hindamise kriteerium võib olla erinev. Üks hindamise esimestest staadiumitest peab seega olema võimalike murepõhjuste identifitseerimine. Olemasoleva betoontarindi hindamine võib hõlmata järgnevaid tegevusi:

- **Hindamistegevuste ettevalmistamine:** tarindi ajaloo kohta informatsiooni kogumine, eelkülastus, hindamise planeerimine, ettepanekud.
- **Rutiinne kontrollimine:** visuaalne kontrollimine, põhiline testimine ja raporteerimine. See lõpeb nii lihtsa olukorra hindamisega, kui ka süvauurimise ulatuse otsustamisega, kui see osutub vajalikuks. Mõnedel juhtudel võib see siiski juba algusest ilmneda, et süvauuringu tehnika on vajalik.
- **Süvauurimine:** materjalide ning lagunemisnähtuste fenomen, katsetamine ja spetsiaalne testimine ohutuse ja kestvuse hindamiseks. See võib anda ka edasise lagunemisprotsessi prognoosi.
- **Spetsiaalsed testid ja uuringud:** konstruktiivse reaktsiooni tes-



Kujutis 3: Näide pragude kohta vundamendi vaia kohal.

timine, tegeliku toimimise mõõtmine tarindil.

- **Lagunemise hindamine,** põhinedes rutiinsetele või süvauuringutele:
  - betooni jaoks: tarindi halvenenud piirkondade kategoriseerimine;
  - sarruse ja eelpinge jaoks: korrosiooni aste ja intensiivsus, jääkeelpinge jõud;
  - konstruktiivne hindamine, põhinedes spetsiaalsetele testidele ja uuringutele, näit. jääkkandevõime määramine ja ohutustegurite hindamine, säilinud kasutusea prognoosimine, tarindi olemasoleva või ettenähtud funktsioonide adekvaatne määramine.

Kavandatud tegevuste kehtivuspiirkond sõltub tarindi vaadeldud olukorra ulatusest ja tähtsusest.

2 Ettevalmistustegevused

2.1 Üldiselt

Ettevalmistustegevused enne betoontarindi hindamise alustamist hõlmavad tavaliselt:

- informatsiooni kogumist;
- esialgset inspekteerimist;
- hindamise planeerimist;
- hindamise eesmärkide ja tegevuspiirkonna arendamise ettepanekut;
- hindamise kokkuleppe sõlmimist.

Betoontarindi lagunemise korral vajab hindamine kahtlemata teatud inspekteerimise või testimise korda, et määrata kindlaks nii mehhanism(id) kui ka konstruktiivselt olulise halvenemise ja ulatuse. Hindamisprotsess, eriti lagunenud betoontarindi puhul, hõlmab tõenäoliselt mitmeid informatsiooni kogumise ja hindamise tsükleid.

2.2 Informatsiooni kogumine

Kui hindamisinsener on kliendi poolt määratud, on tema esimeseks ülesandeks lugeda kättesaadavat dokumenteeritud informatsiooni ja kui vaja, otsida kaugemalt ja detailsemalt tarindi ehituse ja ajaloo kohta.

Olemasoleva info kogumine tarindi ja selle materjali omaduste kohta võib hõlmata paljude infoallikate otsimist. Toimikut, mis sisaldaks täielikku kirjeldust tarindi ehitamise ja järgnevate muutuste ning remontide kohta, eksisteerib harva. Infot saab koguda tarindilt, kuid palju aega, raha ja vaeva saab kokku hoida, kui sobiv dokumenteeritud informatsioon on kättesaadav.

Dokumendid seoses arutluse all oleva erilise tarindiga, võivad olla kättesaadavad mitmes vormis nagu:

- joonised tarindist nagu ettenähtud või nagu ehitatud; viimatimainitud oleks eelistatavam, näidates mõõtmeid ja ehituslikke detaile, konstruktsioonilisi lahendusi ja ehitusel kasutatud materjale;
- konstruktiivsed analüüsid ja hilisemad arutlused, mahtude spetsifikatsioonid ja arved;
- artiklid tehnikaajakirjades või ajakirjanduses prestiižse tarindi kohta;
- soovitused planeerimiseks või ehituste kontrollnõuded;
- hooldusplaanid ja –raportid;
- tarindi tehniline päevik (hooldus- või sekkumistööde ülestähendus).

Sellise dokumenteeritud informatsiooni võimalikud allikad on:

- tarindi omanik;
- omaniku/valdaja/kasutaja professionaalsed nõuandjad;
- algne konstruktsioonide projekteerija või teised projekteerimisrühma liikmed;
- lepingusõlmijad (algsed ja remondi/taastamisorganisatsioonid);
- konstruktiivsed alltööettevõtjad (näiteks tarikomponentide varustajad);
- remont-/taastustööde projekteerimisrühm;
- ehitusjärelevalve ülemus;
- avalikud registreerimise ametiasutused ja arhiivid prestiižsete tarindite kohta.

Lisaks juba arutluse all olnud infole spetsiifiliste tarindite kohta on kättesaadav suurel hulgal täiendavat, seletavat informatsiooni, mida on vaja saada ehitamise ajal. See informatsioon sisaldab ehitussüsteeme, praktikakoodekseid, kaasaegseid nõuandeid ja juhtmärke, raamatuid, artikleid ja abimaterjale nagu patendid.

Sellist tüüpi info on kõige tõe-

näolisemalt kättesaadav professionaalsetes asutustes ja spetsiaalsetest allikatest nagu uuringute hinnangud, ametiühendused, raamatukogud ja tööstused.

2.3 Esialgne külastus

Enne hindamise ja ühendatud inspektsioonide, vaatluste ning katsete planeerimist peaks hindav insener tegema tarindile lühikülastuse. Selline külastus annab vajaliku arusaamise tarindi loomuse, krundi tingimuste ja olukorra kohta, juurdepääsu võimaluse, pinnakihi viimistluse eemaldamise või konstruktiivsete elementide avamise vajaduse kohta inspekteerimiseks. Kohapealne külastamine võimaldab hinnata ka tervise- ja uurimistööde ohutuse kaasamist, mida võib esitada järgnevalt.

Selle külastuse vältel peaks hindamisinsener tegema tarindi piiratud visuaalse inspektsiooni "alustasandist" või teistest juurdepääsetavatest punktidest, näiteks binokli abil, ja peaks ette võtma algse "kõnni ümber" inspekteerimiskoha, et teha kindlaks, mida võib hõlpsasti kindlaks teha tarindi loomuse ja olukorra kohta. Mere- või sillatarindi puhul võib osutuda vajalikuks, et esialgne inspekteerimine tehtaks paadist või inspekteerimisliikuri abil.

See esialgne inspektsioon peaks andma hindamisinsenerile küllaldast infot, et kõnelda kliendiga vajaliku hindamise olemusest ja antud ülesandega seotud praktiliste asjaolude ulatusest.

Pärast esialgset tarindikülastust peab hindamisinsener olema võimeline hindama töö tegevusulatust, planeerima hindamistöid ning tegema kliendile sobiva ettepaneku. Võib ilmneda, et see külastus võib lõppeda kohese tegevusega või vahel mitte mingi tegevusega.

2.4 Hindamise planeerimine

Testimis- ja hindamistegevuste planeerimine hõlmab nende eesmärkide üle arutlemist, mis on detailse hindamise jaoks kindlaks tehtud. Hindamisinseneril peab olema selge ülevaade, mida saab või mida ei saa saavutada ning kuidas tulemusi interpreteerida hinnangu andmisel.

Vaatluste, inspekteerimise ja testimise mõju järgnevatele hindamisotsustele peaks arutatama enne töö ettevõtmist.

Hindamisprotsessi üheks esimeseks staadiumiks peab olema võimalike murepõhjuste kindlaks tegemine ja lühidalt vajalike tööde kirjeldamine.

Sarrusekorrosiooni võimalusega betoontarindeid mõjustatakse mitmel viisil ja määral sõltuvalt tarindi loomusest, keskkonnatingimustest ning materjalide, komponentide ja tarindi (kui terviku) tundlikkusest. Niisiis on individuaalsete tarindite hindamiskriteerium erinev.

Mõningad tarindid võivad olla hoopis vastuvõtlikumad tugevuse langusele, näiteks seal, kus on kasutatud väikese läbimõõduga sarrusevardaid või kus betooni kattekiht on väga väike või eelpingestatud rajatiste korral. Oluliseks võib osutuda konstruktiivne tugevus, mis sõltub tõmbeelemendi pikkusest ja on tundlik kohalikule korrosioonile (näiteks järelpingestatud pingesarrused).

Teistes olukordades oleks sarrusekorrosioon põhjustanud betooni pragunemist, mis hakkab kiirendama kahjulike toimurite sissetulemist agressiivsest keskkonnast, ning põhjustab betoonkaitsekihi eraldumist ja järelikult vähendab vaadeldava elemendi kande vastupanu.

Planeerimise esmatähtsaks osaks on õigesti formuleeritud süstemaatilise inspektsiooni ja katsete programmi koostamine, mis peaks võimaldama sarrusekorrosiooni põhjustavate mehhanismide identifitseerimist, ja sellest tulenevat konstruktiivse lagunemise määramist ning tarindi toimimist käesoleval ajal ja tulevikus.

Neid tegevusi tuleks tavaliselt juhtida etapiviisiliselt ja nii, et ühe etapi uurimine oleks interpreteeritud ja hinnatud enne järgmist etappi. Sellisel viisil saab igas staadiumis saadud teadmisi õigesti hinnata ja arvesse võtta uurimise järgmise staadiumi detailiseeritud plaanide vormistamisel.

Majanduslikel põhjustel peaks esimesel juhul üldine lähenemine olema selline, et võetakse tarvitusele suhteliselt odavad inspekteerimisprotseduurid nagu visuaalne vaatlemine, lisaks minimaalne testimine.

Detailsemat ja spetsiifilisemat infot peaks järgnevalt kogutama ning süvakatseid läbi viidama vaid siis, kui esialgsete andmete hindamine näitab, et lihtne testimine on ebapiisav, või et otstarbekam tegevuse suund tuleks ette võtta, et saada vastust spetsiifilistele küsimustele tarindi loomuse ja olukorra kohta.

Testimine koos inspektsioonide ja vaatlustega on üldiselt kallis ning seega peavad need tegevused andma maksimaalset kasulikku infot, mis on aluseks insenerihinnangutele ja otsustele, mida on tarvis teha. Üldiselt mida madalam on tarindi toimimise tase, seda väiksem võib olla vajalike testimiste arv. Tavaliselt on ebapraktiline ja ebaökonoomne hinnata teatud parameetrit nagu betooni survetugevust "normeeritud väärtuse" abil. "Normeeritud väärtuse" mõistet tarvitatakse enamikes kaasaegsetes konstruktiivse projekteerimise praktikakoodeksites.

Hindamisprotsessis peaks katsetamist vaadeldama kui tarindi kõige tõenäolisema toimimise määratlemist; seega peaks katsetamist teostatama enam kriitilisemates piirkondades, kui et teha juhuslikke proovide võtmisi ja kasutada statistilisi analüüse, et teha üldisi järeldusi. Katsete suurem hulk ei pruugi anda paikapidavamaid järeldusi.

Konstruktiivse toimimise hindamiseks (näiteks staatilise ja dünaamilise koormuse katsetamise) tarvitusele võetud katsete korral saab neid kasutada hindamaks

tarindi toimimise alampiiri, identifitseerides kõige ebasoodsamaid olukordi. Sel viisil on võimalik ka vajaminevate katsete arvu minimeerimine.

Arvutused hindamaks tarindi sektsiooni jõudude suurust või käitumist või tugevust peaksid olema realistlikud, kuid lihtsustatud, et jätta aega ehitiste mõne muu otsustava asjaolu või aspekti detailseks vaatlemiseks. Samuti tuleks arvestada ka mittekonstruktiivsete osade (näiteks tasanduskihid, täiteseinad jne) mõjutusi tarindi toimimisele ja mitmesuguste analüütiliste lähenemisviiside usaldusväärsusele.

Lisaks tehnilistele küsimustele nõuab hindamise planeerimine ka mitmete logistiliste ja ühendatud eesmärkide üle arutamist nagu:

- personal ja teised töö teostamiseks vajaminevad ressursid;
- mitmesuguste asjasse segatud ülesannete ja etappide järjestamine;
- teiste poolt teostatavate teenuste tegemise ettepanekud (näiteks ligipääs, katsetamine jne);
- tööplaan koos raportite ja teiste tegevuste määratud kuupäevadega;
- maksumuse hinnangud;
- tervise- ja ohutusnõuete ülevaade.

Koosseis ja vaba aeg teostamaks hindamist on tavaliselt piiratud ja järelikult on tähtis kasutada neid efektiivselt.

2.5 Ettepanek

Ettevalmistusstaadiumi järgmiseks sammuks on koostada läbiviidavate tööde jaoks ettepanek, pannes aluse konstruktiivse hindamise tegevusulatusele ja eesmärgile, hindamise ulatusele ja tulemuste rakendamisele. See tegevus on mõeldud viima kliendi ja hindamisinseneri kokkuleppeni.

Ideaalolukorras võib klient ise valmistada ette visandettepaneku. Seda tuleb hindamisinseneril parandada ja lõpetada. Alternatiivselt koostab hindamisinsener ettepaneku koos kliendiga. Kõikidel juhtudel peab ettepanek olema painduv, jättes mõistlikul määral võimaluse muuta nii katsete arvu kui ka liiki.

Protsess, mille abil ettepandud konstruktiivse hindamise viidete piirid arenevad, sõltub tihti klientorganisatsiooni tehnilise kompetentsuse tasemest. Mõningad kliendid võivad olla võimelised kas siis oma või nõuandva inseneri abil joonistama detailiseeritud ettepaneku nõutud konstruktiivse hindamise kohta. Sel puhul võib ettepanek määratleda hindamise ulatust ja eesmärgipärasust mõne detailiga. Selle väljundiks võib olla spetsifikatsioon organisatsioonidele, kes on võimelised läbi viima ja kellelt on palutud ette valmistada hinnapakkumine või esitada konkureeriv hinnapakkumine huvitatud töö jaoks.

Kui klientidel puuduvad vajalikud tehnilised teadmised valmistamaks ette konstruktiivse hindamise juhendit, peab hindamisinsener ise seda arendama koostöös kliendiga. Ettepaneku arendamine nõuab mitmeid kooskõlastamisi kliendi ja hindamisinseneri vahel. Kui klient on koostanud detailiseeritud määratluse, võib hindamisinsener soovitada muudatusi töö tegevusulatuses ja koostada oma pakkumise, kirjeldades parandusi. Kui pakkumised ja ettepanekud on kliendi poolt heaks kiidetud, koostatakse protseduur alternatiivsete pakkumiste tegemiseks, mida arutab klient.

Insener peaks nendes piirides, mida hiljem lepingus tingimuseks seatakse, nõudma:

- kinnitama ja, kui vaja, selgitama nõudeid ja nende kaasamist kliendile, selgitades neid kirjalikult koos kvalifikatsiooninõuetega. On esmatähtis, et klient teaks, mida tehakse tema nimel, ja kas tehakse tuleviku tegevussuundade jaoks soovitusi;
- määratlema vastused, eriti kui hindamine tehakse rohkem kui ühe osa kohta;
- näitama, kuidas viiakse läbi põhitingimuste hindamine ja mida tehakse kindlaks;
- hindamise ulatuse aruande tähtaja kindlaks tegemine;
- hindamisel näitama teiste ekspertide ja spetsiaalsete teenuste poolt nõutud vajadusi.

Lisaks peab insener:

- informeerima klienti esmasest kuluhinnangust;
- andma kliendile koheselt nõu, kui kerkivad esile uued tegurid või probleemid, mis võivad muuta juhendi tegevusulatust koos vahepealsete kokkuvõtetega;
  - kindlustama, et kohustus oleks kaetud kindlustusega;
  - hoidma klienti finantsasjadega kursis ja saama nõusoleku spetsiaalsete väljaminekute kohta [näiteks sisenemisvarustus, katsetamine, teised eksperdid jne];
  - jõudma kindlate kokkuvõteteni, mis põhinevad kättesaadavatel tõenditel ja esitama neid kirjalikus raportis.

2.6 Leping ja vastutus

Lepinguliste suhete iseloom, mis on sisse seatud kliendi ja hindamisinseneri poolt, sõltub peamiselt klientorganisatsiooni poolt rakendatud standardsetest korraldustest. Avalikel ja kaubanduslike kompaniide klientidel on kahtlemata teatavad sisemised protseduurid, mis määravad pakkumise liigi ja lepingulised nõuded, mida rakendatakse kindlat liiki hanke ja spetsifitseeritud tööde rahastamisel. Lepinguline korraldus võib põhineda vastavalt määrates kindlaks, mida võetakse ette ja millise tasu ja tulu eest. Suured kliendid võivad rakendada oma isiklikku standardset lepinguvormi või võivad kasutada vormi, mille on ettevalmistanud sobiv professionaalne isik või institutsioon.

Üldiselt on hindamisinsener vastutav oma tegevuse eest ja temalt oodatakse oskusi ja kogemusi oma lepinguliste kohustuste täitmisel. Insenerilt oodatakse pidevalt erapooletust, objektiivsust

ja oma vastutusest teadlik olemist. Talt oodatakse oma arvamuse ja nõuande selget väljendamist, nende põhjendamist ja teostamist vajalikul oskustasemel. Lisaks otsesele lepingulisele kohustusele oma kliendi ees võib inseneril olla ka kohustusi ja komplitseeritud vastutusi oma kliendi ja võimalik, et ka kolmanda osapoole ees. Hindamisinsener peaks olema kohustatud hoiatama oma klienti ohtude eest, millest ta peaks teadlik olema ja mis langeb tema juhendi tegevusulatusest välja.

Pragunemine 3

3.1 Üldiselt

Pragude arv, laius ja asukoht annavad tähtsat informatsiooni hinnatava betoontarindi seisukorra, konstruktiivse ohutuse ja kestvuse kohta. Püüdes liigitada tarindite kahjustuste ulatust, kasutatakse seega põhiliselt pragunemise hulka kui olulist parameetrit. Enamikku infot pragude kohta võib koguda järelevaatustelt ja mõõtmistelt tarindi pinnakihil. Kui pragude sügavuse ja sisemise asukoha kohta on infot tarvis, siis annavad seda infot praost väljapuuritud kärnid.

Pragunenud betoontarindi kahjustusastme hindamiseks on oluline teada pragunemise põhjust. Mitte ainult lagunemisprotsess ei pruugi olla pragunemise põhjuseks. Võimalikud põhjused on ka välised ülekoormused, projekti arvutuste vead ja erinevad paigutused. Seega on vajalik pragude arvu, asukoha ja laiuste ettevaatlik määramine. Kõigepealt tuleb kindlaks teha, kas tarind on ohustatud või mitte ja kas peaks ette võtma otsekohest sekkumist. Kui mitte, siis on ikkagi tähtis teada, kas tarindi projektitingimuste täitmise korral on pragunemist oodata.

Tihti võivad sellistel betoonielementidel nagu põrandad ja talad ilmneda praod, mis on põhjustatud ainult elemendi omakaalust.

Kui pragu tuleneb normaalkoormusest või paindemomendist kandeelemendil, siis prao laius iseloomustab tõmbepinget terassarruses. Veatus konstruktiivses projektis hoitakse sarrusterase pinget allapoole kindlat taset, et piirata praolaiust. Laiad praod võivad näidata, et ootamatult kõrged välised koormused on põhjustanud pragusid. Siiski, kui pragu tuleneb plastilisest mahukahanemisest betooni kivinemisprotsessi esimeses faasis, ei ole pragu põhjustatud terase pingest. Siis ei anna prao laius terase pinge kohta mingit olulist infot. Kokkuvõtted pragude mõju kohta tarindi ohutusele ja kestvusele vajavad seega selgitust pragude esinemise põhjuste kohta. Ainult siis on võimalik otsustada pragude parandamise vajalikkuse, meetodite ja aja üle.

3.2 Pragunemise põhjused

Pragunemine esineb siis, kui rakendatud tõmbedeformatsioon ületab betooni tõmbetugevuse. Betooni tõmbetugevus muutub vanusega ja deformatsiooni rakendamise määraga. Kujutis 1 näitab suhet betooni piir-tõmbedeformatsiooni ja vanuse vahel.

Põhimehhanismide kolm kategooriat võivad üldiselt tekitada ülepinget:

- Betooni sisesed muutused. Näideteks on kuivamise mahukahanemine, paisumine või kokkutõmbumine temperatuurimuutusest põhjustatud, ja plastiline paigutus või mahukahanemine. Need efektid põhjustavad ainult tõmbepingeid, kui muutused on takistatud.
- Betooni paigaldatud materjali paisumine. Selle näiteks on sarruse korrosioon.
- Välistingimused. Näiteks on koormus või deformatsioonid, mis on mõjutatud vundamentide erinevatest paigutustest.

Vanus, millal pragunemise muutuvaid vorme on oodata, erineb väga palju. Plastilisest mahukahanemisest või plastilistest deformatsioonidest põhjustatud praod ilmnevad näiteks betooni paigaldamise esimestel tundidel. Sarruse korrosiooni poolt põhjustatud pragude vanus võib varieeruda ühest mitme aastani. Väliste koormuste praod ilmuvad vaid siis, kui koormused on tarindile rakendatud. Selliste pragude vanus on otseses ühenduses koormamise ajaga. Paljudel juhtudel võib pragusid põhjustada tarindi omakaal. See tähendab näiteks seda, et raketise tugistuse eemaldamine võib viia pragunemiseni.

Tabel 1. Avatuse klassid.

Klass	Põhiline avatus
1	**Kuiv keskkond** a) külmumiseta b) külmumisega
2	**Niiske keskkond**
3	**Niiske keskkond** Külmumisega ja sulamisvahenditega
4	**Merevee keskkond** a) külmumiseta b) külmumisega
5	**Keemiliselt agressiivne keskkond** a) kergelt agressiivne b) mõõdukalt agressiivne c) kõrgelt agressiivne

3.3 Varase kivinemisfaasi vältel toimuv pragunemine

Noor betoon on eriti tundlik pragunemise suhtes. Värskest betoonist kivinenud betooni üleminekufaasi vältel algab kriitiline periood, madala tõmbetugevuse ja madala deformatiivsusega, paar tundi pärast valamist ja kestab umbes 4–16 tundi. Selles perioodis aset leidev pragunemine on põhjustatud peamiselt nn. plastilisest mahukahanemisest või betooni plastilisest paigutusest. Plastilise mahukahanemise pragunemine esineb tavaliselt plaatides. Plastilisest paigutusest või vajumist põhjustanud pragunemine võib toimuda süvapõiklõigetes. Küllaltki nõrkade pinnastega kohtades võib betooni varases kivi-

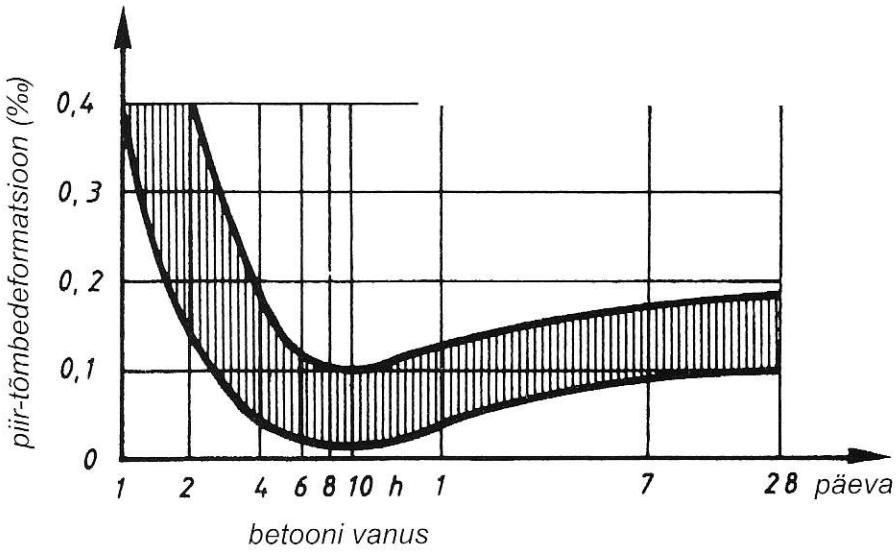
nemisfaasis esineda teist liiki paigutuspragunemine (vt. kujutis 2).

Sellist liiki pragunemine võib toimuda siis, kui aluspõrandate betoon, mis on projekteeritud ühendamaks talasid või vaiasid, on paigaldatud otse pinnasele. Värske betooni omakaal alustab pinnase tihendamise protsessi ja värske betoon peab neid paigutusi järgima. Kandetalad (mis toetuvad vaiadele) jäävad siiski oma kohale. Värske põranda ja talade või vaiade paigutuste vahelised erinevused võivad siis põhjustada pragusid, mis paiknevad kas põranda ning tala või vaia vahelisel ühenduskohal või selle läheduses. Sellised praod võivad olla küllalt laiad, mis on põhjustatud kõrgetest väliskoormustest. Pragude kohast väljapuuritud pinnakihi kärnide katsetamine võib aidata teha kindlaks pragude tegelikku põhjust. Kujutisel 3 on näidatud praod vundamendi vaia peal aluspõrandas.

Pragude muster lubab arvata, et praod on põhjustatud välisest koormusest. Siiski osutus tegelikuks põhjuseks pinnase paigutus põranda all betooni kivinemisprotsessi esimestel tundidel.

Betooni sees plastilise mahukahanemise praod arenevad liivtsement maatriksis ja kulgevad ümber suuremate osakeste. Väikesed osakesed eralduvad plastilise mahukahanemise pragude tõttu. Teine plastilise mahukahanemise pragude omadus on, et "prao käänak" ei vasta konstruktiivse elemendi käänakule. Plastilise mahukahanemise praod võivad olla mitu millimeetrit laiad, samas kui nende sügavus betooni pinnakihist allapoole on küllalt väike.

Juba kivinenud betoonis põhjustatud praod lähevad peamiselt otse läbi maatriksi ja suureteraliste osakeste. Lõpuks kui praod on paindepraod, siis peab pragunenud element näitama vastavat kulgemist. Kui selline kulg puudub, siis on ilmne, et praod on põhjustatud plastilisest mahukahanemisest.



Kujutis 1: Ajast sõltuv betooni piir-tõmbedeformatsioon

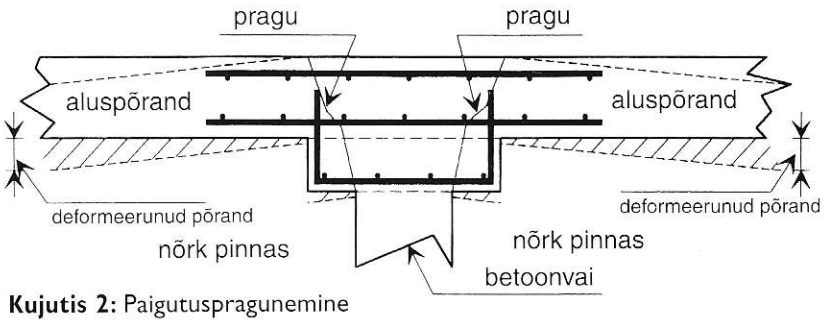
3.4 Kriitiline praolaius

Täitmaks betoontarindi adekvaatse kestvuse nõuet on tähtis praolaiuse piiramine. Enamik konstruktiivseidettekirjutisikirjeldab maksimaalselt lubatud praolaiuseid. Need sõltuvad tavaliselt keskkonnatingimustest, milledele tarind on avatud. Tabel 1 toob näiteid koodeksites kasutatavate klasside kohta. Tarindi liik (sarrustatud või eelpingestatud) on samuti oluline. Koodeksid vaatlevad peamiselt pragusid, mis on põhjustatud välistingimustest, nagu liikuvkoormus, ja annavad valemid arvutamaks praolaiused projekteerimisfaasis. Valemid arvestavad peamiselt pragunemisega, mis on põhjustatud paindest ja telgkoormusest. Selliste pragude suund on risti põhiliste sarrusvarraste suunaga. Plastilise mahukahanemise praod võivad mõningatel juhtudel järgida sarrusejoont.

Üldiselt nõustutakse, et kuivas keskkonnas pole pragudel peaaegu mingit mõju esteetikale. Prao laiuse piir võib seega olla 0,4 mm. Avatuse klassi 2.-4. puhul (vt. tabel 1) võib eeldada, et praolaiuse piir on umbes 0,3 mm, millest allapoole püsivad koormused ei ohusta sarrusbetoontarindite kestvust. Eelpingestatud liikmete kestvust võib pragunemine mõjustada avatuse klassis 2.-4.

Eurokoodeks 2 (ENV 1992) eelpingestatud betooni kohta avatuse klassidele 1 ja 3, piirab kriitilise praolaiuse 0,2 mm-ni. 3. ja 4. avatuse klassi puhul mainitakse sama kriitilist praolaiust siiski tingimusel, et oleks tehtud sellised mõõtmised nagu pingesarruse dekompressioon või varraste katmine. 5. avatuse klass nõuab väga piiratud praolaiuseid, mis oleksid ühendatud spetsiaalsete meetmetega, hoidmaks ära kemikaalide pragudesse sisenemist.

Veel täpsemat informatsiooni pragude põhjuste ja tagajärgede kohta võib leida näiteks CEB Bulletin no. 183 "Kestvad betoontarindid".



Kujutis 2: Paigutuspragunemine