



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Itsetiivistyvä betoni

Vesa Anttila, diplomi-insinööri
Laboratoriopäällikkö, Lohja Rudus Oy
vesa.anttila@lohjarudus.fi

Pekka Vuorinen, diplomi-insinööri
Asiamies, Rakennusteollisuus RT ry
pekka.vuorinen@rakennusteollisuus.fi

2

Japanissa 1980-luvun loppupuolella käynnistyneen itsetiivistyvän betonin (jäljempänä IT-betoni tai ITB) kehitystyön taustalla oli yhtäältä nopeasti edennyt lisäaineteknologian kehitys sekä toisaalta painava tarve vähentää vaikeiden ja suurten betonointien työvaltaisuutta. Jälkimmäisessä oli tärkeänä perusteena myös ammattitaitoisten betonointikuntien vähentyminen ja sen seurauksena betonirakenteiden ja etenkin betonipintojen laadulliset ongelmat. Self compacting concrete tai själv kompakterande betong onkin maailmalla modernin betoniteknologian kiinnostavimpia tutkimusalueita ja yksi tärkeä osatekijä betonirakentamisen laatua ja terveellisempää työympäristöä kehitettäessä. Laajenevat markkinat maailmalla näyttävät jo nyt, ettei se jää ainoastaan lyhyen kauden muoti-ilmiöksi vaan pyrkii tulevaisuuden rakennusmateriaaliksi. Myös Suomessa ITB on käytössä jo tietyissä paikallavalurakenteissa ja elementtityypeissä.



Kuva 1. Itsetiivistyvä betoni on nestemäistä, koossapysyvää betonia, jolla on kyky tiivistyä painovoimaisesti ilman perinteistä betonin tärytystä.

Mitä itsetiivistyvä betoni on?

Itsetiivistyvän betonin valmistus perustuu uudentyyppisten ns. kolmannen sukupolven tehonotkistimien käyttöön sekä betonin side- ja kiviaineen hienopään entistä huomattavasti tarkempaan hallintaan. IT-betoni tiivistyy omalla painovoimallaan eikä siten tarvitse (eikä yleensä salli) lisätiivistystä tärytyksen muodossa. Samalla se myös leviää omasta painostaan; IT-betonit ovat todella nopeita eli niiden painumaleviämä on tyypillisesti yli 600 mm ja parhaimmillaan jopa 750 mm. Leviämä ei kuitenkaan ole itseisarvo; IT-betonin on oltava hyvin koossapysyvää, erottumatonta ja melko tikso-trooppista massaa pysyäkseen erottumattomana eri valutilanteissa. Onnistuneesti suhteitettuna ja oikeaoppisesti valettuna se tarjoaa tiiviin, huokosettoman ja tasavärisen betonipinnan vaikeissakin valutilanteissa.

Itsetiivistyvän betonin muista materiaaliominaisuuksista – niin positiivisista kuin negatiivisistakin – voidaan mainita seuraavia havain-
toja:

- Oikea suhteitus (riittävä hienoainemäärä), suuri painumaleviämä ja painovoimainen ti-

vistyminen antavat ITB:lle erinomaiset valuvuusominaisuudet.

- Mahdollisuus nopeaan valuun ja betonin suuri nokeus kasvattavat samalla muottipaineen suureksi; tämä on aina huomioitava muotin mitoituksessa olettamalla betoni täysin nestemäiseksi.
- Tyypillisesti ITB:lle ominainen alhainen vesisideainesuhde ja kokonaisvesimäärä merkitsevät
 - hyvää tiiveyttä ja hyvää lähtökohtaa erinomaisille säilyvyysominaisuuksille; ensimmäiset pakkasenkestävyyskokeet huokostetuilla ITB:lla puoltavat tätä
 - yleensä samansuuruisia tai ehkä jopa pienempää kokonaiskutistumaa kuin vastavalla normaali betonilla; kuitenkin tietyillä sementtityypeillä kutistuma ei välttämättä ole pieni)
 - toisaalta kasvavaa plastisen vaiheen (tuoreen betonin) kutistumariskiä paljaissa pinnoissa sekä liian nopeaa pintojen itsekuivumista (autogeeninen kutistuma), joka johtuu korkeista sideaine- ja hienoainesmääristä.



Kuva 2. Itsetiivistyvällä betonilla kertavaluna yhtäjaksoisesti betonoitu 7,5 m korkea ja 9 m leveä seinämäinen rakenne.

Laadunvarmistuksen vaatimukset kasvavat

Itsetiivistyvän betonin käyttö tulee paikallavalurakentamisessa asettamaan aivan uuden tason vaatimuksia betonimassan tehdas- ja työmaakohtaiselle laadunvalvonnalle sekä muottija valutekniikalle. Valmistustekniikkaan sisältyvät ja betonin osa-aineiden annosteluun liittyvät sallitut virhemarginaalit pienentyvät selvästi normaaliin verrattuna. Laatuksiteerien täyttymistä joudutaan valvomaan tiheällä laatu-kammalla. Se tulee vaatimaan ko. henkilökunnalta kouluttautumista ja uutta asennettakin laatuksymyksiin. Laadunvalvonta tulee seuramaan IT-betonia työmaalle, jossa on tehtävä lopullinen päätös betonin kelvollisuudesta muuttua plastisesta massasta betonirakenteeksi. Vastuhenkilöillä on tärkeä rooli. IT-betonin tulo työmaalle vaatii uutta betonirakentamisen vastuujakoa betonitoimittajan laatuvaastaavan, työmaan betonityönjohtajan sekä rakennesuunnittelijan kesken; myös muottitoimittaja on mukana pelissä tärkeällä panoksella.

IT-betonia käytettäessä nousee muottitekniikka työmaan kannalta tärkeimmäksi. Sekä ulkomaiset että Suomesta saadut kokemukset osoittavat, ettei itse muottirungon kestävyys välttämättä ole IT-betonin käyttöä rajoittava tekijä, suurempi ongelma voi olla muottilevyjen ja muottipintojen rajallinen paineenkestokyky. Syksyllä 2001 käynnistyneessä kansallisessa IT-betonin tutkimushankkeessammekin todettiin muottikuormien mitoituksen lähtevän hydrostaattisen paineen arvoista, joten jatkossakin tulee korostumaan oikeooppisen, huolellisen muottityön merkitys mitoituksesta muotin rakentamiseen.

IT-betoni valmisbetonitehtaalta työmaalle

Valmistavat toimenpiteet

Onnistuneiden ITB-valujen toteutuksessa tärkeä vaihe on aloituspalaveri urakoitsijan, suunnittelijan ja betonin toimittajan, ja kuten edellä todettiin, myös muottitoimittajan kesken. Koska kyseessä on tällä hetkellä erikoisbetoni ja erikoisbetointi, on valuu liittyvät asiat, esimerkiksi valupaikan järjestelyt, valutavan valinta sekä muottikalustosta sopiminen, selvitettävä tarkoin. IT-betonin laatuksiteereistä tulee aina sopia etukäteen, samoin laadunvalvonnan testausmenetelmistä ja tiheyksistä. Muihin betonilaatuihin verrattuna ITB tulee vaatimaan aina korostuneempaa laadunhallintaa.

Tärkeää on sopia vastuista ja vastuuhenkiloista. Ennakkoon on tutustuttava valupaikkaan, jotta betoninvalmistaja näkee valun toteutusmahdollisuudet. Usein on myös hyvä käydä läpi ITB:n ominaisuudet, jotta myös urakoitsijat tuntevat tämän erikoisbetonilaadun. Ainakin silloin, kun halutaan laadukkaita puhdasvalupintoja, on syytä tehdä mallivaluja.

Kuljetus

Itsetiivistyvän betonin erittäin suuri notkeus vaikuttavat kuljetuskaluston valintaan ja kuormakokoon. Itsestään selvää on, että IT-betonin kuljetukseen soveltuvat vain pyörintäsäiliöautot (sekoitinsäiliö-) niin kuljetuksen- kuin työmaa- aikainen sekoitus huomioiden. Massan nestemäisyys on muistettava kuormakoossa. Kiihdytysten ja jarrutusten sekä jyrkkien ylämäkien vaikutus kuorman ulosroiskumisriskiin on tunnettava.

Itsetiivistyvän betonin on tuoreena säilytettävä notkeus- ja stabiiliusominaisuutensa sekä haluttu huokossysteeminsä valuhetkeen saakka riippumatta kuljetuksen pituudesta tai vallitsevista olosuhteista. Kokemuksia IT-betonin käyttäytymisestä suomalaisissa ääriolosuhteissa on vielä vähän, mutta normaaliolosuhteissa onnistuneesti suhteitetun betonin kuljetus ei pitimilläkään matkoilla tuotane ongelmia. Oleellista on tuntea käytetyn suhteituksen osa-aineiden – lähinnä hienoainesmateriaalin, tehonotkistimen ja mahdollisen huokostimen – keskinäiset riippuvuudet. Yleistykset eivät välttämättä päde, vaan tiedot kertyvät kokemuseräisesti. Myös raaka-ainevalinnoissa joudutaan kiinnittämään huomiota työstettävyyksiin (hidas sideainekominaisuudet ja pitkävaikutteinen polymeerinotkistin).

IT-betoni käyttäytyy kuljetuksen aikana korkealujuusbetonin tyypillisesti: se pyrkii tähän vaikutuksesta pakkautumaan, joka vaikeuttaa työmaasekoituksen aloitusta, mutta ei välttämättä erotu. Sekoitinsäiliön pyörittäminen kuljetuksen aikana saattaa olla eduksi, jos se on laiteteknisesti mahdollista. Ainakin työmaalla tu-

lee ITB-massa sekoittaa vielä kertaalleen huolellisesti kuljetuksen jälkeen.

Kesäolosuhteissa betonimassan lämpötila voi nousta helposti turhan korkeaksi, jolloin sitoutuminen nopeutuu. Vaikutuksen voimakkuus riippuu käytetyistä lisäaineista, käyttömäärästä ja lämpötilasta. Erot voivat olla huomattavasti normaali betonin vastaavia suurempia ja ne opitaan tuntemaan yleensä vasta kokemusten kautta. Massan lämpötilan hallintaan kannattaa kiinnittää huomiota valmistuksessa (kylmä vesi jne.), jotta työstettävyyssaikea olisi työmaalla riittävä.

Betonin hyväksyminen työmaalla

Betonintoimitajan laadunvalvonnan määrä tulee kasvamaan entisestään IT-betonia käytettäessä. Laadunvalvonta keskittyy yhtiöltä jo ennen valmistuksen aloitusta tapahtuviin ennakkokokeisiin, toisaalta normaalia selvästi tiukempaan tuotannon laadunvalvontaan tehtaalla ja työmaalla. Tarkempaa huomiota kannattaa kiinnittää jo ITB:n raaka-aineiden valintaan ja laadunhallintaan. Ennakkokokeiden yhteydessä suoritetaan IT-betonin tarkempi analysointi tulevan käyttökohteen mukaan, jolloin laadunvalvontamenetelmiä ovat mm. L-laatikko-koee ja leviämäkoee painumakartiolla. Vaativissa kohteissa joudutaan mahdollisesti tekemään mallivalut, joissa huomioidaan vähintään raudoituksen ja varausten sekä valukohtien ja pudotuskorkeuden vaikutus tiivistymiseen ja betonipintojen laatuun.

Hyvä ja toimiva peruslaadunvalvonnan menetelmä tuotantovaiheessa on leviämäkoee, joka saatujen kokemusten perusteella on palvellut tarkoitustaan. Uusia ja parempiakin menetelmiä on varmasti jatkossa tulossa. Leviämäkoee on kuitenkin helppo ja nopea suorittaa kaikenlaisissa olosuhteissa. Se mahdollistaa itse leviämän ja samalla kertaa saatavan betonin viskositeettia kuvaavan T_{90} -ajan (aika, jona leviämäkartiosta vapautettu massa saavuttaa halkaisijaltaan 500 mm ympyrän) lisäksi massan visuaalisen tarkastelun ja siten kokemusperäisen hyväksymisen tai hylkäämisen.

Perinteisen leviämäkoeken kehittyneempi versio on massan tukkeutumattomuusominaisuutta kuvaava ns. J-ring-testi, jossa massa joutuu leviämään kartiosta vapautumisen jälkeen pystysuuntaisten, pyörykehälle sijoitettujen tankojen välistä. Sekin on hyvin työmaatestaukseen soveltuva laadunvalvontamenetelmä.

IT-betonin luonteesta johtuen tällä hetkellä on syytä tehdä jokaiselle kuormalle laadunvalvontakoe työmaalla. Leviämäkoeken yhteydessä on seurattava mahdollista erottumista silmämääräisesti. Jos betoni on tarpeeksi juoksevaa ja stabiilia, tukkeutuminen (blocking) riippuu ainoastaan betonin pastan määrästä (tai karkean kiviaineen määrästä ja raemuodosta). Kun IT-betonin suhteitus saadaan kohdalleen, koke-



Kuva 3. Itsetiivistyvän betonin painumaleviämä on jopa yli 700 mm ja massa on kuitenkin erottumatonta ja homogeenista.

mukset ovat osoittaneet suurimman vaihtelun eri kuormien välillä olevan leviämän suuruudessa (vaihtelut kokonaisvesimäärässä). Vesimäärän vaihtelu voi johtua virheistä kiviaineksen kosteusarvoissa tai kiviaineen hienoaineksen laatu- ja määrävaihtelusta.

Mahdollinen kehitysaskel IT-betonin työmaaisessa laadunvalvonnassa on Japanissa käytetty betonin kuljetusauton ja pumpun väliin sijoitettu suppilo, jonka kautta kaikki valettava betoni siirretään. Massan on kuljettava raudoitusta mallintavan harjatankorivistön läpi ennen pääsyään pumpun vastaanottokaukalo (L-laatikko-koetta muistuttava menetelmä). Laite on osoittautunut käytännössä toimivaksi, mutta Suomessa siitä ei ole kokemuksia.

Betonimassan säätäminen työmaalla

ITB-massan laadun työmaalla tarkastaa aina betonin laadusta vastaavaksi nimetty. Tarvittaessa hän ohjeistaa massan säädön laatuksiteerit täytäväksi. Jos IT-betonin laatu ei poikkea merkittävästi suunnittelusta, sen ominaisuuksia voidaan työmaalla säätää halutuiksi seuraavasti:

- jos leviämä ei ole tarpeeksi suuri, tehonokistinta lisätään kuljetusauton pyörintäsäiliöön
- jos leviämä on liian suuri ja betoni pyrkii erottumaan, voidaan
 - lisätä viskositeettia kasvattavaa lisäainetta (stabiilaattori) pyörintäsäiliöön
 - odottaa hydrataation aiheuttamaa betonin jäykistymistä ja notkeuden pienenemistä. Menetelmän huono puoli on logistiikan kärsiminen.

Kun lisätään työmaalla lisäaineita betoniin, on annostusmäärät ja niiden vaikutus tunnettava tarkalleen. Aineet saa lisätä vain asiaan perehtynyt betonivalmistajan edustaja. Lisäaineiden käyttö työmaalla edellyttää aina ennakkokokeisiin perustuvaa kirjallista annosteluohjeistusta. Mikäli massaa säädetään työmaalla, on uudel-

leensekoitusajan oltava vähintään 5 minuuttia (ohjeen vaatimus). Päätöksen massan laadusta ja uudelleensäädöstä sekä säätämisen jälkeisen massan hyväksymisestä tekee aina betonin laadun vastuuhenkilöksi nimetty henkilö. Kaikista betonin ominaisuuksia säätelevistä toimenpiteistä ja laadunvalvontatoimenpiteistä on pidettävä pöytäkirjaa.

Siirrot työmaalla

Betonin siirtoon työmaalla voidaan käyttää betonipumppua, valuränniä, nostoastiaa ja tapauskohtaisesti myös hinnakuljetinta. Siirroissa on aina muistettava IT-betonin suuri notkeus; hyväkuntoisesta nostoastiasta massa ei vuoda ulos sen hyvän pakkautuvuuden ja tikсотrooppisen luonteen vuoksi. Jo melko loiva kulma ylöspäin estää kuitenkin siirron hinnakuljettimella.

Nykyinen kalusto soveltuu betonin pumppauksen hyvin; on kuitenkin muistettava, että pumpussa tarvittavaan paineeseen vaikuttaa betonin viskositeetti (korkeampi viskositeetti, korkeampi pumpun paine). Suomessa on pumpattu IT-betoneita noin 60 metrin pumppulinjalla 5,5 metriä korkeaan seinärakenteeseen muotiin kyljestä pumppupaineen kasvamatta hälyttävästi. IT-betonit soveltuvatkin hyvin korkeiden rakenteiden valuun, kun pumppaus tehdään rakenteen alaosaan käsin. Tarvittava kaluston teho ja kapasiteetti on luonnollisesti selvitettävä tapauskohtaisesti.

IT-betonien pumppauksessa on lisäksi syytä huomioida, että:

- pumppausputkisto on syytä valita aina mahdollisimman suureksi
- supistajia on hyvä välttää: korkeistaan yksi supistaja ja sekin mahdollisimman alkupäähän
- pumppauslinja on mahdollisimman suora



Kuva 4. Itsetiivistyvä betoni soveltuu hyvin pumppattavaksi rakenteeseen muotiin kyljestä tai pohjasta. Muottiin liitettävien pumppausventtiilikalustojen osalta on muotti- tai betonintoimittajilta tarjolla eri ratkaisuja.

- pumppausputkisto on mahdollisimman vaakasuorana tai lievästi nousevana; erittäin nopeaa pyrkiä valumaan putkistossa ja aiheuttaa ilmataskuja putkistoon
- pumppauksen aloitus ja putkiston tehokas voitelu ovat tärkeitä
- paras pinnan laatu saavutetaan rauhallisella pumppauksella, jossa massa saa valua paikalleen.

Pystyrakenteiden valu

Massan vapaa pudotuskorkeus voi IT-betonia käytettäessä olla normaalibetonia suurempi; kokemuksia on aina 6 metriin saakka. Usein rakenteen muoto ja raudoitus estävät valuputken tai -sukan viemisen syväälle rakenteen sisään, jolloin ”oikeaoppiseen” valutekniikkaan ei välttämättä ole käytännön mahdollisuutta. Kuitenkin pudotuskorkeus kannattaa pyrkiä pitämään mahdollisimman pienenä, sillä roiskeet muottipintaan, betonin tarttumisen raudoituksen yläosaan ja korkealta putoavan betonin mahdollisesti aiheuttama ylimääräinen ilman sulkeutuminen valettuun betoniin vaikuttavat haitallisesti betonipinnan laatuun.

Betonin muottinottovälit kannattaa suunnitella mieluiten pieniksi kuin suuriksi. Vaikka IT-betonin valuminen vaakatasossa onkin suuri, tyypillisesti välillä 5–10 metriä, riski osittaiselle erottumiselle voi kasvaa. Siihen vaikuttavat käytetty suhteitus, betonin viskositeetti sekä rakenteen muoto ja raudoituksen määrä (tiheys). Hyvä perusväli betonimassan purkukohtille muottiin on 5–7 (5–10) metriä.

Kun pyritään mahdollisimman virheettömiin ja korkealuokkaisiin pintoihin, on valun jatkuttava mahdollisimman pienin keskeytyksin. Kokemukset ja käsitykset parhaista tavoista valaa IT-betonia perustuvat tehtyihin valuihin. Ne ovat jonkin verran ristiriitaisia eri kohteiden osalta. Lisääntyvä IT-betonin käyttö selkiyttäne asiaa. Valunopeudet (myös nousunopeudet) ovat kasvaneet huomattavasti normaalibetoniin verrattuna. IT-betoni on mahdollistanut ja toisaalta edellyttänyt tasaisena ja rauhallisena keskeytyksettä jatkuvaa valutapaa.

Ulkomaisten kokemusten mukaan hyvä nyrkisääntö on se, että valunopeus ei saa ylittää massan oman painon aiheuttamaa virtausnopeutta. Jos massa pakotetaan virtaamaan nopeasti, vaarana on ilmasulkeutumien muodostuminen ja niiden kulkeutuminen muottipinnoille.

Muotin jokaisen osan mitoituksessa on huomioitava, että IT-betonin valutekniikka normaalibetonia nopeammalla valunopeudella kasvatetaan muottipaineen suureksi. Vaikka ulkomailta on saatu tietoja jopa normaalibetonia pienemmistä IT-betonin valupaineista (hidas nousunopeus), lähtökohdana muottimitoituksessa tulee olla varautuminen hydrostaattisen paineen suuruiseen valupaineeseen.



Kuva 5. Itsetiivistyvällä betonilla saadaan virheetön valujälki myös vaikeisiin valukohtiin.

Vaakarakenteiden valu

Vaakarakenteiden valuu sopivat hyvin kaikki betonimassan siirtomenetelmät. Kovettuneen betonin laatuun vaikuttavista tekijöistä merkittävimmät ovat vaakavaluissa massan valuminen (valun etenemä) ja valunopeus. Massan vaakas- tasossa tapahtuva valuminen on tyypillisesti vähintään 5 metriä, kun valukerroksen vahvuus on 200–300 mm. IT-betonimassa oikeenee yllättävän ohuenakin kerroksena ”vaateriin”; tämä riippuu luonnollisesti massan leviämistä ja viskositeetistä. Siltavaluista saatujen kokemusten mukaan 2,5–4 % kaltevuus on ollut mahdollista toteuttaa IT-betonilla, se on kuitenkin edellyttänyt painumaleviämältään korkeintaan 650 mm massan käyttöä.

Kuten pystyrakenteiden valuissakin, useampikerroksissa vaakavaluissa on huomioitava alemman ja päälle tulevan valukerroksen rajapinta; alemman kerroksen on oltava vielä niin nopeaa, että ylempi pystyy sekoittumaan siihen ilman myöhemmin huomattavaa rajakohtaa (vrt. pystyrakenteiden valu). Riski näkyvän ja muuta betonia heikkolaatuisemman kohdan muodostumiselle syntyy, kun alempi kerros alkaa jäykistyä tiksotrooppisesti ennen ylempään valua.

Vaakarakenteiden valuu IT-betoni sopii luonteensa puolesta erittäin hyvin. Käyttöä puoltavia tekijöitä ovat:

- siirtomenetelminä käyvät sekä pumppaus että nostoastia
- nopea valutyö ja pieni työvoimatarve
- pinnan oikaisu helppoa (sopivin työvälinein)
- teräskuidutetun betonimassan käsittely helpottuu
- betonin nopea lujudenkehitys
- betonin nopea kuivuminen myös massiiviholveissa ja kuivumisen kannalta vaikeissa olosuhteissa.

Vaakarakenteiden betonoinnissa massakustannuksen osuus on kuitenkin rakenteen kokonaiskustannuksista merkittävin. Käyttöönottoa hidastavia tekijöitä ovat:

- massakustannus laattaneliötä kohti normaali-betonina korkeampi
- tiivistystyön pieni pieni kustannus normaalibetonina käytettäessä
- ongelmat hiertotyössä etenkin vaikeissa valuolosuhteissa (lämpötila, tuuli)
- plastisen halkeiluriskin kasvu, jos pienestä halkeilusta on haittaa lattiarakenteen käytölle. Riskiä voidaan kuitenkin oleellisesti pienentää oikeaoppisella jälkihoidolla
- ongelmat kallistusten aikaansaamisessa. Paikalliset kaadot (esim. märkätilat) voidaan hoitaa normaalibetonilla, jota vasten valetaan muun laattaosan IT-betoni. Esimerkiksi erityyppisten vinojen rampien betonointiin IT-betoni ei sovellu
- uusien työmenetelmien hidas käyttöönotto sekä kasvavan laadunvalvonnan pelko
- ITB:n käytöstä saatavan hyödyn (laatu, pitkä käyttöikä) vaikea huomioiminen kokonaiskustannuksissa.

Jälkityöt ja jälkihoito

Koska IT-betoni on käytännössä itsestään leviävää, betonipinnan oikaisuun on syytä hakea uusia työvälineitä maailmalta. Erinomaisia työkaluja oikaisutyöhön ovat erilaiset kevyet oikaisulanat ja -palkit (esim. Ruotsissa yleisesti käytössä olevat alumiiniset ”slodat”). Myös kevyet täryttävät, betonipinnalla uivat tärypalkit (-levyt) soveltuvat työhön hyvin. Välineiden kosketuspinnan betoniin on syytä olla pieni massan sitkeydestä johtuen.

IT-betoni käyttäytyy pitkälti samoin kuin korkealujuusbetoni pintojen viimeistelyn suhteen. Koska etenkin koneellinen hiertotyö edellyttää betonin riittävää jäykistymistä, IT-betonin tyypillisesti pitkä sitoutumisaika hankaloittaa käsittelyä. Lisäksi betonimassan vähävetisyys ja sementtipastan tiksotrooppinen (sitkeä) luonne eivät ole hiertotyön suoritukselle eduksi. IT-betonipintoja on kuitenkin saatu konehierretyksi erittäin laadukkaan tuloksen.

IT-betonin jälkihoitoon on kiinnitettävä erityistä huomiota olemattomasta vedenerottumisesta ja tästä aiheutuvasta suuresta plastisesta halkeiluriskistä johtuen. Jälkihoidon suoritukseen pätevät samat ohjeet kuin korkealaatuiseen betoniin yleensäkin. Jälkihoito on aloitettava jo betonoinnin yhteydessä; parhaiten tämä onnistuu ruiskutettavia jälkihoitoaineita käyttämällä. Kokemuksia IT-betonin käyttäytymisestä erilaisissa valuolosuhteissa on vielä vähän. Normaalista muotilla suojatut valupinnat onnistuvat hyvin, jos massa muutoin täyttää laatuksiterit.



Kuva 6. Itsetiivistyvä betoni vaatii huolellista jälkihoitoa. Kuvassa tukimuurirakenteen jälkihoitoa kastelulla ja muovipeitolla.

Markkinoita löytynee useista betonin käyttökohteista

Tähänastiset kokemukset erityyppisistä valuksista osoittavat, että itsetiivistyvälle betonille löytyy sen normaalibetonista korkeammasta hinnasta huolimatta useita käyttökohteita. IT-betoni tulee muuttamaan monellakin tapaa betonivalujen ja betonirakentamisen kustannusrakennetta.

IT-betonin normaalibetonista kalliimpaan hintaan on useita perusteltuja syitä: muun muassa kalliimmat massan valmistuskulut (raaka-aineet, sekoitusaika) sekä tiukemman laadunvalvonnan aiheuttamat työtunnit ja tarkempi muotityö. Jos tarkastellaan käyttökohteita ja niiden toteutuksen kustannusrakennetta, jonka tunteminen on IT-betonin markkinoinnin perusasioita, alkavat todelliset ja potentiaaliset käyttökohteet selvitä. Niitä ovat suurta tiivistystehoa vaativat, tiheästi raudoitettut ja korkeat betonirakenteet sekä monet muut ”vaikeat” valukohteet. Uusia oivalluksia ovat tuoneet työmiljööseen, lähinnä melun poistamisen ja työergonomian parantamiseen liittyvät näkökohdat sekä paikallavaluissa että elementtitehtaissa. Kun laskelmissa otetaan huomioon sekä rakenteen käyttöikä, laatu ja kokonaiskustannukset, saadaan ITB:lle monia kannattavia käyttökohteita.

Käyttökohte-esimerkkejä:

- korkeat seinävalut, joissa tiivistys on raudoituksen ja korkeuden takia hankalaa ja betonin pudotuskorkeus kasvaa liian suureksi
- tiheästi raudoitettut teräsbetonirakenteet, joissa kunnollinen tiivistys on usein käytännössä mahdotonta
- arkkitehtoniset paikallavaleutet betonipinnat
- erityyppiset korjausrakentamisen valut, joissa valetaan vahvistuksia vanhojen rakentei-

den alle tai muutoin piiloon jääviin paikkoihin sekä ohuet raudoitettut tai raudoittamattomat paikkausvalut

- ohuet nopean betonoinnin pintavalut raudoittamattomana tai esimerkiksi teräskuiduilla raudoitettuna
- valut elementtitehtaissa, kun pyritään erinomaiseen valujälkeen sekä samalla nopeutetaan valutapahtumaa ja parannetaan työmiljöötä
- jatkossa kaikkentyyppiset betonoinnit, joissa pyritään laadullisesti parempaan betonointiin. Samalla vähennetään betonoinnin työvältäisyyttä, jolloin myös työterveysriskit vähenevät
- rakenteet, joilta vaaditaan pitkää käyttöikää sekä hyvää säilyvyyttä.

Itsetiivistyvä betoni korjausrakentamisessa

Betonisille korjausrakentamisen kohteille, joissa valmisbetonin käyttö on ylipäättään teknistaloudellisesti perusteltua, on tyypillistä

- hankalat betonin siirrot valukohteeseen
- poikkeukselliset valusuunnat ja betonin siirrot muottiin



Kuva 7. Vanhojen pilareiden ja sienivahvistusten manttelointia itsetiivistyvällä betonilla. Ahtaat valut ovat erinomaisia IT-betonin käyttökohteita.

- pienet rakenteen dimensiot, jotka vähintään vaikeuttavat betonin valua muottiin ja kunnollista tiivistämistä
- valu vanhaa rakennetta vasten ja kova vaatimus tartuntalujuudelle
- kahdesta viimeiseksi mainitusta johtuva esteetyn kutistuman riski, kun vielä tuoreen valun varhaisjälkihoito on vaikeaa.

Useimmilta teknisiltä ominaisuuksiltaan itsetiivistyvä betoni on sopiva vaihtoehto erityyppisiin betonisiin korjausrakentamisen kohteisiin. Kun muistetaan lisäksi se, että itsetiivistyvä betoni on hinnaltaan erikoisbetonien hintaraamien sisällä, sillä tulee olemaan erittäin hyvä kilpailukyky verrattuna muihin toteutusvaihtoehtoihin. Itsetiivistyvällä betonilla on jo valettu kohteita, joita ei muutoin olisi pystytty edes toteuttamaan – ei ainakaan ilman todella kalliita erikoistoinmenpiteitä ja suurta epäonnistumisriskiä.

Käytännön kokeita ja kohteita

Suomessa on IT-betonilla valettu jo useita rakenteita – osin koemielessä mutta myös käytännön valuteknisiä ongelmia ratkoen. Kiinnostus IT-betonin kokeiluun ja laajempaankin käyttöön tuntuu olevan laajenemassa. Tahtia on kuitenkin osaltaan hidastanut betonin valmistajien varovainen ja järkeväkin suhtautuminen liian aikaiseen tuotelanseeraukseen, valmistuksen ja laadunvalvonnan resurssipula sekä edellisistä johtuva maltillinen tiedottaminen asiasta.

Havaittuja etuja

- Korkeiden rakenteiden valut ovat nopeutuneet selvästi. Sama koskee myös vaakavaluja, jos huomioidaan esimerkiksi pintalattiabetonoinnin normaali kokonaiskesto.
- Työvoimatarve on pieni: työkuntana pystyrakenteiden valussa on ollut pumppari ja valumies pumppuletkun ohjaamiseen.
- Tiheästi raudoitettujen ja runsaasti varauksia sisältävien rakenteiden betoni on tiivistynyt erinomaisesti ja valupinnat ovat olleet hyviä jopa erinomaisia.
- Korkeissa rakenteissa betonin laatu on ollut tasaista pystysuunnassa.
- Pintojen väri vaihtelu on selvästi pienempää kuin normaalibetonilla.
- Arkkitehtonisesti tavoiteltu betonipinnan laatu on ollut mahdollista saavuttaa.
- Betonin tiivistyksen kannalta valuteknisesti mahdollisia rakenteita on voitu valaa ja valujälki on ollut hyvää (haluttu tiivistyminen).
- Betonirakenteen käyttöikä on pitkä ja säilyvyys hyvä.

Haittoja ja ongelmia

- Betonin valmistus tehtaalla hidastuu sekä tehtaan ja työmaa-aikaisen laadunvalvonnan työ määrää kasvaa; ne kaikki menevät betonin

valmistajan ”piikkiin”. Pienetkin valut vaativat saman työ määrän (ja ajankäytön) kuin suuremmat.

- Betonimassan ja betonirakenteen vastuuraajoista on syntynyt epäselvyyksiä; valuvastuu on ollut määrän peitossa (yleensä vastuu sovitusta betonin laadusta betonin valmistajalla sekä rakenteesta urakoijalla).
- Kasvatavat muottipaineet edellyttävät todella huolellista muottisuunnittelua. Ongelmallanteissa voidaan syyttää betonintoimittajaa ja betonista, jos vastuusta ja laatu kriteereistä ei ole sovittu aloituskokouksessa.
- Em. tekijöistä tiedottaminen koko valutapah-tumaan osallistuvalla työ kunnalle ei ole vielä löytänyt muotoaan (aloituskokous tärkeä).
- Kokemuksia eri tekijöiden vaikutuksesta betonirakenteen ja betonipintojen laatuun on vielä vähän (betonimassan ominaisuudet, halkeiluherkkyys, valutekniikka, jälkihoito, muottipintamateriaalit, olosuhteet jne.).
- Urakoitsijat eivät ymmärrä kasvavan laadunvalvonnan merkitystä ja hyötyä.
- Rakennuttajat ja suunnittelijat eivät huomaa tai osaa hyödyntää kasvavaa laatua ja käyttöikä.

Seuraavassa on kuvattu joitakin käytännössä toteutettuja kohteita, joissa IT-betoni on tuonut selviä parannuksia tai hyötyjä normaaliin betoniin ja betonointiin verrattuna.

Case seinän puhdasvalusta

Kohde oli paikallavalettu, muottipinnalle jäävä suurikokoinen teräsbetoniseinä, joka sijaitsee ulkotilassa (ks. kuva 2). Arkkitehdin tavoitteena oli saada yhtenäinen ja tasavärinen puhdasvalu-pinta, johon ennalta määrätty kartiomainen muottisidereiitys luo oman pintaa rikkovan symmetrisen kuvion (Tadao Andon tekniikkaa Japanista).

Lukuja ja tekniikkaa:

- seinän koko: korkeus noin 7,5m, leveys noin 9 metriä, vahvuus 200 mm
- muotti erittäin huolellisesti rakennettu kappalevarasta, muottipintamateriaali 21 mm filmipintainen muottivaneri
- laskennallinen ja teoreettinen muottipaine suurimmillaan 170 kN/m²
- betoni itsetiivistyvä ja säänkestävä K40 12 mm; sementti SR-sementti, leviämä noin 700 mm työmaalla
- betonimäärä noin 12 m³; toimitus kolmena kuormana noin puolen tunnin välein
- laadunvalvontatoimenpiteinä kustakin kuormasta ilma- ja leviämän mittaus tehtaalla sekä leviämän mittaus ja notkeuden säätö työmaalla
- betonointi ns. kuljetuspumppulla muottiin sijoitettujen valuputkien kautta; betonoin-tinopeus noin 4 m³/15 minuuttia eli nousuopeus yli 2 metriä ensimmäisen 15 minu-

tin aikana. Tauot kuormien välillä noin 20 minuuttia.

Eri betonierät olivat valettaessa leviämältään melko samanlaiset. Valu sujui häiriöttä eikä muotissa havaittu ongelmia yhtä lievää pullistumakohtaa lukuunottamatta. Muotin purkamisen jälkeen ja betonipinnan kosteuden tasaannuttua havaittiin, että valujälki oli erinomainen ja muottiside- ja sähköputkuskohtat sekä varausten ympäristöt olivat virheettömiä ja tasalaatuisen näköisiä sekä pinnan että värin osalta. Aivan seinän reunalla, sen yläkolmanneksessa oli havaittavissa hienoista huokoisuutta ja litteitä ilmasulkeumia, joita ei kuitenkaan normaalisti katseluetäisyydeltä helposti havaitse.

Case tukimuurin korjausvalusta

Kohde oli Karhulan moottoritien ”kanjonin” pohjoisen tukimuurin korjaustyö, jossa 40 vuotta vanha betonirakenne oli pahoin vaurioitunut ja vaati pintaosan poistamisen ja uuden noin 150 mm:n ”kuoren” tekemisen. Raudoitus ja toispuoleinen muotti kiinnitettiin vanhaan rakenteeseen; valu irrotettiin vanhasta rakenteesta muovikalvolla. Betoni pumpattiin muottiin sen alaosaan sulkuläpällä varustetun valuputken kautta. Yläkautta valettaessa betoni olisi jouduttu pudottamaan muottiin 4 metrin korkeudesta pienen rakennevahvuuden ja raudoituksen takia. Valittu ratkaisu osoittautui hyväksi, sillä betonipintojen laatu saatiin erittäin hyväksi.

Lukuja ja tekniikkaa:

- yhden tukimuurisegmentin koko: korkeus noin 4 m, leveys noin 10 metriä, vahvuus keskimäärin 150 mm. Segmenttejä yhteensä vajaa 50
- muotti huolellisesti rakennettu järjestelmäpalkeista, muottipintamateriaalina osin höylätty lauta ja osin rimoitus arkkitehdin vaatimusten mukaisesti
- betoni itsetiivistyvä ja säänkestävä K50 16 mm; sementti SR-sementti, leviämä noin 700 mm työmaalla
- betonimäärä noin 6 m³ kutakin tukimuurisegmenttiä kohden
- laadunvalvontatoimenpiteinä kustakin kuormasta ilma- ja leviämän mittausta tehtäällä sekä leviämän mittausta ja notkeuden säätö työmaalla
- betonointi ns. kuljetuspumpulla muottiin sijoitettujen valuputkien kautta.

Betonia jouduttiin koevaluvaiheessa säätämään lähinnä runkoaineen hienoainespään ja käytettyjen lisäaineyhdistelmien osalta. Myös koevaluissa suurimmat ongelmat liittyivät betonipintojen laatuun. Kesäaikaan osuneissa varsinaisissa valuissa sekä massan että valumuotin pintojen lämpötilat pyrkivät nousemaan turhan korkeiksi, jolloin muutamassa valussa pintoihin pyrki muodostumaan ilmasulkeumia. Kohteen



Kuva 8. Itsetiivistyvällä betonilla valettua tukimuuria. IT-betoni pumpattiin muottiin rakenteen alaosaan.

valut teki erittäin vaativaksi ahdas valutila, jota oli vaikea valaa tarpeeksi pienellä valun nousunopeudella (pieni massamenekki seinäneliömetriä kohden). Työkokonaisuus löysi kuitenkin nopeasti oman uomansa ja eteni ilman suuria ongelmia. Kohteen betonivalujen vaativuus huomioiden lopputulos oli valupintojen osalta erittäin hyvä.

Case rakenteiden vahvistuksesta uusin palkein

Kohde on olemassa oleva vanha kerrostalo Helsingin Fennia-korttelissa. Sen alle rakennettiin kaksi uutta kellarikerrosta ylhäältä alaspäin edeten uuden pelikasinon tarpeisiin. Olemassa olevan alimman kerroksen kattorakennetta ja siten koko taloa vahvistettiin ja kannatettiin valamalla vanhan välipohjan alle useita jälkijännitettäviä ja teräsbetonisia palkkeja. Kohde sisälsi myös muita valuteknisesti erittäin vaikeasti toteutettavia rakennosia (mm. maanpainesiniä), joiden toteutukseen IT-betoni oli ainoa rationaalinen ratkaisu.

Valettavia palkkeja oli valukertojen osalta useita kymmeniä. Niiden poikkileikkausmitat olivat suurimmillaan lähes puolitoista metriä. Kookkaimman, lähes 23 metriä pitkän palkin valuun kului reilut 40 m³ IT-betonia. Betoni siirrettiin pumppaamalla, pumppausmatka oli pi-



Kuva 9. Itsetiivistyvällä betonilla valettuja jännitettyjä vahvistuspalkkeja. Vanhan välipohjan alle tehdyt rakenteet betonoitiin muotin pohjasta painevaluna. Pisimmät palkit olivat noin 23 metriä pitkiä.

simmillään lähes 40 metriä. Betoni pumpattiin muottiin joko muotin kyljestä tai alakautta, sillä yläpuolella oli vastassa vanha välipohja. Koneellinen tiivistys olisi ollut käytännössä erittäin hankalaa, jopa mahdotonta. Ainoastaan muottitäritys olisi ollut vaihtoehto, mutta ilman luotettavaa lopputulosta. Palkit sisälsivät melko runsaasti raudoitusta, jälkijännityskaapeleita ja niiden ankkureita sekä erilaisia varauksia. Palkkien yläpinnassa oli kohtia, joihin betoni joutui työntymään alhaalta päin. Palkit ohittivat lisäksi vanhoja pilareita vaakatasossa.

Muita tietoja valuista:

- käytetty betoni IT-betoni K50 16 mm, leviämä 700–750 mm
- laadunvalvontatoimenpiteinä kustakin kuormasta ilma- ja leviämän mittaus tehtaalla sekä leviämän mittaus ja tarvittaessa notkeuden säätö työmaalla
- pumppausmatka 10–40 metriä, teräsputkilin ja 100 mm ja päässä 75 mm:n kumiletku
- pumppaus muotin kyljestä tai alapuolelta muottiin asennetun teräsventtiilin kautta
- betonointinopeus 5...10 m³/h.

Artikkeli pohjautuu dipl.ins Vesa Anttilan ja dipl.ins. Pekka Vuorisen eri tilaisuuksissa itsetiivistyvistä betonista pitämiin esitelmiin. Kirjoittajilla on pitkä kokemus betoniteknologisista asiantuntijatehtävistä ja he ovat saaneet kokemuksia itsetiivistyvän betonin käytöstä niin laboratorio-olosuhteissa kuin useissa vaativissa käytännön työmaakohteissa.

LÄHTEET

Billberg, Peter. Self-compacting concrete for civil engineering structures – the Swedish experience. CBI rapport 2:99. Stockholm 1999. 80 s.
RILEM International Symposium Self-Compacting Concrete. Edited by A. Skarendahl and Ö. Petterson. The Publishing Company of RILEM 1999. 786 s.