



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](#)

Paikallavalurungon toteutus

Jussi Syrjynen, diplomi-insinööri
tuotepäällikkö, Polarkudos Oy
jussi.syrjynen@tammet.fi

Mirja Pahkala, rakennusinsinööri
tuotelinjapäällikkö, A-Rakennusmies Oy
mirja.pahkala@a-rakennusmies.fi

Pekka Vuorinen, diplomi-insinööri
projektipäällikkö, Lohja Rudus Oy Ab
pekka.vuorinen@lohjarudus.fi

2

Uusi kiinnostus runkorakenteiden toteuttamiseen paikallavalettuina on synnyttänyt myös tarpeen paikallavalun eri osatekijöiden – muotti-, raudoitus- ja betonitekniiikan – kehittämislle. Kehitystyö on edennyt nopeasti, sillä Suomessa käytössä olevat muottikalustot edustavat nyky-aikaista eurooppalaista tasoa ja teollisen raudoittamisen periaatteet ja komponentit ovat olleet käytössä jossain muodossa jo melko pitkään. Lisäksi suomalainen betonitekniiikka on maailmanlaajuisesti korkealla tasolla jo pelkästään rakentamisolosuhteistamme johtuen.

Suurin tarve ja paino onnistuneen paikallavalurakenteen suunnittelulle ja toteutukselle on jo ensimmäisestä suunnittelupalaverista aina betonointitapahtumaan ja pintojen jälkihoitoon asti tapahtuvan eri osapuolten välisen yhteistyön terävöittämisessä. Hyvistä referensseistä onkin vakiintunut käsite paikallavalutiimi, joka käsittää suunnittelijoiden, työmaan sekä muotti-, raudoite- ja betonitoimittajien saman pöydän ympärille kerätyn asiantuntemuksen.

1 Muottitekniiikka

1.1 Rakennesuunnittelun vaikutus muottikustannuksiin

Hyvällä ennakkosuunnittelulla luodaan edellytykset paikallarakentamisen kustannustehokkaalle toteutettavuudelle. Onnistunut suunnitelma hyödyntää valetun betonin parhaat ominaisuudet, muovailtavuuden ja rakenteiden monimuotoisuuden. Samanaikaisesti hyvä suunnitelma huomioi ja käyttää nykyaikaisen muottitekniiikan mahdollisuuksia. Tällöin rakennuksen tuotannollinen hinta ei riipu arkkitehtuurista tai vaikeudesta, vaan tuotannollinen hinta on sidoksissa toteutettavuuteen.

Paikallarakentamiseen liittyy muottitekniiikan kautta joukko teknialoudellisia tekijöitä, joiden vaikutus määräytyy pitkälti jo aikaisessa suunnitteluvaiheessa. Seuraavassa on tarkasteltu muutamia muottityön kustannuksiin vaikuttavia suunnittelutekijöitä, joilla on havaittu olevan merkittävä vaikutus itse muottityön tai valmiin rakenneosan hintaan. Näitä tekijöitä ovat

- toistuvuus
- rakenneratkaisut
- detaljien merkitys
- betonipinnan laatu
- yhteistyö.



Kuva 1. Paikallavalurakentamisen yhteistyösapuoleet. Asuntotuotannossa ryhmään kuuluvat myös talotekniikan asiantuntijat.

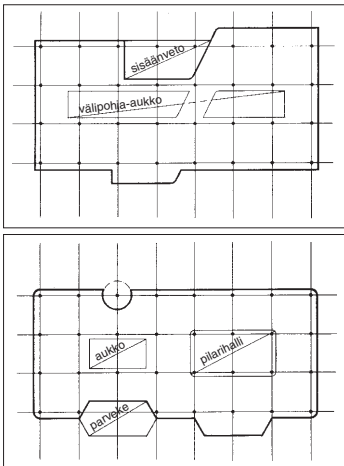


Kuva 2. Nykyaikaista holvimuottikalustoa työmaalla. Hyvä ennakkosuunnittelu mahdollistaa tehokkaan muottikierron.

Toistuvuus

Paikallarakentamisen suurin etu on suunnittelun vapaus. Tämä koskee sekä yksittäisiä huoneistoja ja tiloja että rakennusta kokonaisuutena. Suunnittelun vapautta ei kuitenkaan tulisi ymmärtää niin, että samassa rakennuksessa käytetään kaikkia mahdollisia rakennemuotoja ja vaihtelevia rakennemuotoja. Suunnittelun vapaus on hallittua vapautta.

Toistuvuus ei tarkoita pelkistettyjä, suorita rakennemuotoja, vaan saman muodon ja rakennemuotojen kertautumista. Suunnittelun vapaus korostuu erityisesti pilarilaattarunkoa käytettäessä. Esimerkiksi julkisivun eripituiset ulokkeet, sisennykset sekä kaarevat muodot voidaan hoi-



Kuva 3. Paikallavalurunkoon luontevasti liittyvät ulokkeet, sisennykset ja lävistykset eivät lisää muottikustannuksia.

taa nykyaikaisilla laattamuotteilla ilman lisäkustannuksia.

Muottikustannuksissa suurin tekijä on sekä materiaali- että työkustannuksien osalta käyttökertojen määrä. Muotin käyttökertojen lisääntyessä voidaan hankkia uutta, modernia tekniikkaa ja niistä saatava hyöty kasvaa. Kohdekohtaisten muottien, esimerkiksi vakiopalkeista koottujen muottien, joilla toteutetaan korkeat pinta- ja muotovaatimukset, hinta riippuu voimakkaasti käyttökertamääristä. Tämä näkyy erityisesti pystyrakenteiden muottikustannuksissa.

Nopeutuneessa rakentamisrytmissä samalaisina toistuvien rakenteiden ja rakenneseinien merkitys korostuu. Toistuvuus lisää oppimista ja muottityöhön harjaannutetaan. Kolme ensimmäistä käyttökertaa on yleensä aina opettelua, 4.–7. käyttökertoilla päästään ns. normaali-tasoon, varsinaisen harjaantumisen ja kokemuksen tulevat näkyviin vasta yli 7 käyttökerran jälkeen. Tämä näkyy aina nopeutuvana muottikiertona ja parantuvana laatuina.

Rakeneratkaisut

Rakennesuunnittelun ja muottisuunnittelun yhteistyö mahdollisimman aikaisessa vaiheessa voi merkittävästi parantaa kohteen toteutettavuutta. Käytettävän muottikaluston tekniseen soveltuvuuteen voi vaikuttaa jopa pieni rakennesuunnittelussa huomioitava detaljin mitoitus, jolla itse rakenteelle ei ole suurta merkitystä, mutta muottityölle sen merkitys voi olla oleellinen.

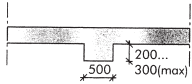
Usein optimaalisella rakenteella saadaan minimoitua betoni- ja raudoitemenekkiä, mutta samalla rakenteeseen syntyy vaihtelevia rakennemuotoja, pilastereita ja seinä- ja laattavahvennoksia, jotka hidastavat muottityötä ja joiden muottimateriaali- ja muottityökustannus moninkertaistuu hallitsemattomaksi.

Muottitekniikoista saatavaan hyötyyn eri rakeneratkaisuissa voidaan vaikuttaa mm. seuraavilla tekijöillä:

- työsauman merkitseminen aina, kun sen paikka on rakenteesta johtuva
- ehdotus vaihtoehtoisista työsaumojen paikoista ottaen huomioon valutekniikan mahdollisuudet
- työsauman raudoituksen suunnittelu siten, ettei se hankaloita muottitusta
- vahvennoksien välttäminen muottityötä hidastavina, suositeltava tapa hoitaa laattavahvennus muottityön kannalta on laatan sisäiset lävistysvahvikkeet
- pilastereiden ja konsolien välttäminen
- pilastereiden, konsolien, leukapalkkien, siipimuurien, yms. ulkonevien rakenteiden toteuttaminen useampivaiheisena esimerkiksi käyttäen valmiita työsauma- ja konsoliraudoitteita sekä kierremuhvijatkoksia



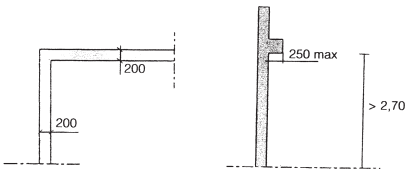
Pilarikokojen mitoittaminen täysille 5 cm:lle, pilarit 300 x 300–600 x 600, pyöreät pilarit 300–600.



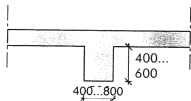
Pilasterien leveys ja ulkonema seinästä.



Pilasteriseinän tasaiset moduulimitat.



Seinäpaksuus seinän kulmien muuttokassa, esimerkiksi porrashuoneet. Seinäpaksuuksien vaihtelut ovat useimmiten haitallisia. Seinäkonsolin mitat ja sijainti.



Palkin leveys ja korkeus.

Kuva 4. Muottitekniikan kannalta suositeltavia rakennemitoja.

- kaarevien pintojen toteutus vaihtoehtoisesti murtoviivana aina kun se on mahdollista.

Detaljien merkitys

Kun yksityiskohtien mitoituksessa voidaan ottaa huomioon käytettävän muottikaluston ominaisuudet ja olosuhteisiin soveltuva tekotapa, muottityö saadaan sujuvaksi ja nopeaksi. Esimerkkinä voidaan mainita palkkilaatasto-rakenteinen pysäköintitalo. Jos käyttökertoja tulee useita, työmaalla on nostokalustoa ja runko on avoin, on tehokkaan pöytämuottikaluston käyttö ja siirrot isoina pöytämuottikokonaisuuksina mahdollista. Tällöin palkkipöytämuotin käyttö on edellytyksenä, että palkkien sivut on suunniteltu riittävän vinoiksi palkkimuotin purkaantumisen takia.

Poikkeava yksityiskohta rakenteessa ei yleensä ole este muottikaluston käytölle, mutta työ määrään ja muotin kierto nopeuteen sillä voi olla kohtuuttoman suuri vaikutus.

Esimerkkejä rakennemitoista ja detaljeista, joissa muotin huomioiva mitoitus parantaa muottijärjestelmistä saatavaa hyötyä:

- pilasteriseinän tasaiset moduulimitat
- pilasterien leveys ja ulkonema seinästä
- pilarikokojen mitoittaminen täysille 5 cm:lle, vähän eri pilarikokoja samassa kohteessa
- seinäpaksuuksien vaihtelut ovat useimmiten haitallisia
- palkkien leveys ja korkeus, palkkikorkeuden kasvu on haitallisempi kuin leveyden kasvu. Esimerkkejä rakenteista ja detaljeista, jotka aina aiheuttavat vaikeuksia ja muottikustannuksien kasvu muottikalustovalinnasta riippumatta
- pilari-levydestä poikkeava palkkileveys on aina haitallinen
- pyöreään pilariin liittyy pilaria kapeampi, korkea palkki
- kapea ja korkea leuallinen reunapalkki
- keskenään risteävien palkkien erilaiset korkeudet hidastavat ja haittaavat muottityötä
- pilasteri, joka tulee ulos molemmista seinäpinoista, pyöreä pilasteri
- pilasteri, joka sijoittuu seinärakenteen nurkkaan ja ulkonema on sekä sisä- että ulkopuolelle sekä sama pilasterityyppi pyöreänä.

Normaalisti vasta toteutusvaiheessa käytettävää muottisuunnittelupalvelua olisi hyödynnettävä detaljiratkaisuissa jo rakennesuunnitteluvaiheessa.

Betonipinnan laatu

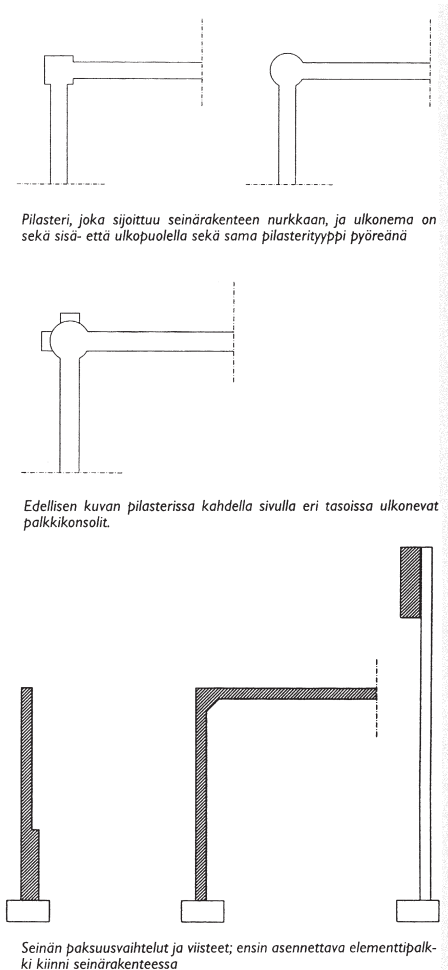
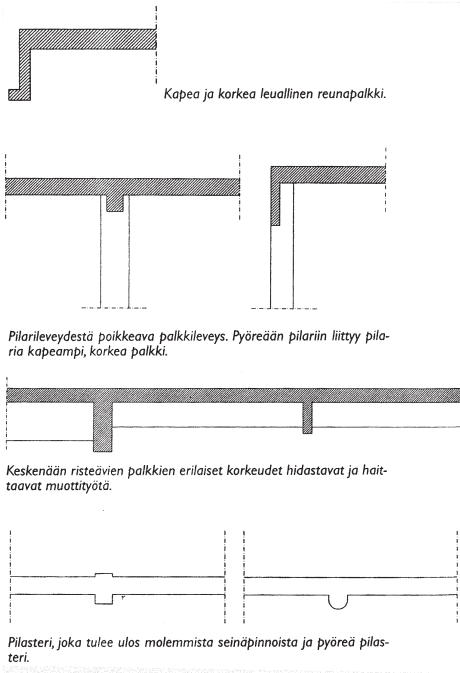
Kohteen betonipintojen laatuvaatimus tulisi esittää rakennusloistuksessa selkeästi nykyisiin käytössä oleviin ohjeisiin viitaten. Usein rakennusloistuksessa esiintyvät käsitteet puhtasvalupinta, sileävalupinta tai raakavalupinta eivät määrittele betonipinnan luokkaa. Nykyinen *Betonipinnat-ohje BY40* jakaa betonipinnat laatu luokkiin 1,2,3 ja 3b.

Kaikkien näiden luokkien laatuvaatimukset antavat täyttyessään erittäin hyvän lopputuloksen. Laatu luokkien tarkoituksenmukaiselle käytölle olisi ehkä eduksi, jos luokan 1 nimenä korostettaisiin luokan arkkitehtonista luonnetta. Silloin myös luokkien 2 ja 3 vaatimustaso ja käyttö selkiytyisivät.

Kohteen erilaisten pintavaatimusten tarkentaminen ja selkeä esittäminen rakennusloistuksessa auttaa tarkoituksenmukaista muottivalintaa. Myös laatu luokan eri laatu tekijöiden priorisoiminen auttaa erityisesti muottipinnan materiaalivalinnassa.

Yhteistyö kannattaa

Kehittyneistä muottitekniikoista saatavaa hyötyä voidaan lisätä hankkeen toteutukseen osallistuvien eri osapuolten yhteistyöllä. Rakennushanke on hyödyllistä aloittaa tavoitepalaverilla, jossa paikallavaluun osallistuvat eri osa-



Kuva 5. Muuttiteknikan kannalta vältettäviä rakenteita ja detaljeja.

puolet suunnittelevat kohteen toteutettavuutta ja tavoitteita.

Betonipintojen suunnittelun ja toteutuksen keskeisiä tekijöitä ovat

- mikä on tavoite
- ovatko kaikki ymmärtäneet tavoitteen “yhteisellä kielellä”
- ovatko suunnitelmat tavoitteen realistisen saavuttamisen kannalta toimivat
- mitkä ovat vaihtoehtoiset kalustot ja materiaalit tavoitteen toteuttamiseen kustannuksineen
- mitkä ovat riskitekijät
- mallirakenteen toteutus käytettävällä kalustolla, materiaalilla ja toteutustekniikalla.

Esimerkkejä asioista, joissa eri osapuolilla on omia näkökantoja, mutta joita yhteistyöllä tulee sovittaa kaikille sopiviksi, ovat mm.

- muottikiertotavoitteet
- työsaumojen paikat
- työsaumojen tekotavat.

Muottitoimittajien tehtävänä on tarjota omaa asiantuntemustaan suunnittelijoille ja urakoitsijoille. Tämän päivän sähköinen tiedonsiirto antaa mahdollisuuden nopeaan ja vaivattomaan yhteistyöhön rakennesuunnittelijoiden kanssa. Hyvä yhteistyö eri osapuolien kanssa näkyy joustavana ja toimivana muottikiertona.

1.2 Muottityön suunnittelu

Muottityön suunnittelun ja muottivalinnan tavoite on kohteeseen sopivimman kaluston muottivalinta. Muottivalinnassa on huomioitava kohteen laatuvaatimukset ja kaluston tekninen soveltuvuus. Lisäksi kaluston pitää toteuttaa haluttu muottikierto ja aikataulu, muottikustannusten tulee olla taloudelliset ja työn turvallista.

Muottityön suunnittelu voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin

- muottikaluston valinta
- muottikierron suunnittelu
- muottisuunnittelu

Muottikaluston valinta

Muottikaluston valinnassa on tyypillisesti viisi vaihtoa:

1. Työmaan lähtötietojen selvittäminen
 - piirustukset
 - urakka-asiakirjat, laatuvaatimukset
 - työmaaosuhteet
 - työmaan resurssit, ammattitaito, kokemukset
2. Muottityypin alustavassa valinnassa selvitetään tiedot eri muottivaihtoehdoista
 - tekniset ominaisuudet
 - soveltuvuudet; karsitaan teknisesti kelpaamattomat vaihtoehdot pois
 - mahdolliset muut valintaperusteet
3. Muottitarpeen määrittäminen
Alustavan valinnan jälkeen määritetään yleisaikataulun ja välitavoitteiden sekä mm. muottien työmenekkitietojen perusteella kaluston määrällinen ja ajallinen tarve.
4. Muottikustannusten määrittäminen
Teknisesti soveltuvien muottien kustannukset selvitetään tarjouspyyntömenettelyllä tai laskemalla oman kaluston käytöstä aiheutuvat kustannukset.

Kalustokustannusvertailussa tulisi huomioida mm. seuraavat seikat:

- kalustokustannukset
 - kuljetuskustannukset
 - vuokrat
 - muottisuunnitelmat, käyttäjien koulutus
 - rakenteeseen jäävät kalusto (esim. vesitiiviit välikkeet)
- muottityökustannukset
 - muottien kasaus ja muutostyöt
 - asennus-, purku- ja siirtotyöt työmaalla
 - kunnossapito
- muut kustannukset
 - tarjoukseen kuulumattoman muotituksen kustannukset
 - kaluston teknisistä ominaisuuksista aiheutuvat kustannukset, kuten sidepulttien jälkityöt, kalustohävikki, kaluston rikkoutuminen, nostokapasiteetin tarve
 - kaluston kunnosta mahdollisesti aiheutuvat jälkityökustannukset

- lämmitys ja suojaus

5. Muottikaluston valinta perustuu kustannusvertailuun
 - kustannukset
 - tekninen soveltuvuus
 - vaikutukset muihin töihin.

Muottikierron suunnittelu

Valituille muotteille laaditaan suunnitelma muottityön etenemisestä ja muottikierrosta.

Muottikierrossa on huomioitava muottityön tahdistaminen muihin muottikiertoon vaikuttaviin töihin.

- Muottikiertoon vaikuttavia työvaiheita ovat:
- muottien paikalleen mittausta ja asennus
 - raudoitus- ja talotekniikan asennuksen vaatima aika
 - betonointi ja käytetyn betonin kovettumisaika muotinpurkulujuuteensa
 - muottien purku, puhdistus ja siirto
 - (mahdolliset elementiasennukset tai muut rakukset ennen uutta muottiasennusta).

Paikallaavaleulun rakennusrunгон toteutusajasta menee yleensä 2/3 tai enemmän vaakarakenteiden tekemiseen. Tasomuotin vaikutus pystymuottiin verrattuna onkin suurempi sekä aikataulun että kustannuksien kannalta.

Pystyrakenteissa kiertonopeudeksi saadaan ihanneolosuhteissa yksi työpäivä ja vaakarakenteissa 2,5 työpäivää. Vaakarakenteiden muottityössä työmenekki vaihtelee enimmillään pöytämuotin 0,07 tth/m² ja työmäärältään suuren kappaletavaralauoituksen 0,60 tth/m²:n välillä.

Jotta muottikaluston kierto saadaan jatkuvaksi, pystyrakenteiden muotteja tulisi yleensä olla 1,5-kertainen kalusto kertavalualueeseen nähden. Samoin vaakarakenteiden muottimäärä useimmiten muodostuu 3- tai 4-kertaiseksi valualueeseen nähden.

Muottisuunnittelu

Muottisuunnittelussa laaditaan yksityiskohtainen suunnitelma muottien käytöstä. Samalla optimoidaan muottikalustomäärät oikeiksi.

Muottisuunnitelmaan kuuluu muottien mitoitukset, laskelmat ja ohjeet valunopeudesta. Asennusohjeissa ja muottipiirustuksissa esitetään muottien sidonta ja jäykistäminen. Muottipiirustuksissa esitetään detaljiratkaisut. Muottisuunnittelun tulosteina piirustusten lisäksi laaditaan luettelot muottikalustoista ja tarvikkeista.

Muottien käytön suunnittelussa otetaan huomioon:

- työryhmät ja niiden määrät
 - muottien varastointi työmaalla sekä tilantarve
 - nostot ja siirrot
 - asennusjärjestys
 - lämmitys- ja suojausmenetelmät
 - jälkikutentakalustojen tarve.
- Nykykaisten muottien tehokas käyttö edellyttää hyvää muottisuunnittelua. Muottitoimittajat

käyttävät nykyisin tietokoneavusteista muottisuunnittelua. Asiantuntevalla suunnittelulla saadaan korkeatasoisia muottien käyttö- ja asennusohjeita rakentajien käyttöön.

2 Raudoitustekniikka

Raudoituksen suunnittelu

Paikallarakentamisessa rauditus suunnitellaan vieläkin yleensä tehtäväksi irtotangoilla, jolloin päähuomio kiinnitetään teräsmäärän minimointiin, ts. laskelmin saatu teräsmäärä pyritään toteuttamaan rakenteessa mahdollisimman tarkasti. Kun käytetään teollisesti valmistettuja raudoituskomponentteja, ei kuitenkaan ole järkevää toimia samalla tavalla, sillä erilaisten raudoitetyyppien määrä nousee liian suureksi ja vastaavasti sarjapituudet lyhenevät. Teollisen valmistuksen edut menetetään, mikä näkyy erityisesti raudoitteiden hinnassa. Lyhyet sarjat ovat hankalia valmistaa ja raudoitteiden käsittely ja käyttö työmaalla on vaikeaa: pelkästään varastoiminen vaatii paljon tilaa. Käytön vaikeudessa myös virhemahdollisuudet kasvavat.

Kun rauditus suunnitellaan toteutettavaksi teollisilla raudoitteilla, pitää suunnittelussa optimoida teräsmäärän sijasta raudoitustyön sujuvuutta. Tämä merkitsee sitä, että erilaisia raudoitetyyppejä on mahdollisimman vähän ja sarjat ovat mahdollisimman pitkiä, jolloin raudoitteiden valmistus tehostuu ja niiden käyttö helpottuu. Teräsmäärän lievä kasvu kompensoituu edullisemmalla hinnalla ja raudoitustyön nopeutumisella. Tällöin teollinen valmistus on todella nimensä mukaista ja siitä hyötyvät sekä tilaaja että toimittaja.

Raudoitusta suunniteltaessa tulee myös pyrkiä mahdollisimman hyvään toteutettavuuteen ja kokonaistaloudellisuuteen. Tähän päästään kiinnittämällä huomiota raudoitteiden valmistukseen, logistiikkaan ja asennukseen.

Raudoitteiden valmistuksen kannalta päähuomio on kiinnitettävä sarjapituuksiin ja pääterästen jakoväleihin. Tavalliset varastotuotteiden jaot 150 ja 200 mm ovat suositeltavia myös erikoistuotteissa. Tällöin vältetään ylimääräiseltä hitsauskoneen asetustyöltä.

Logistiikka asettaa vaatimuksia erityisesti raudoitteiden leveyksille. Mikäli normaalin kuljetuksen maksimileveys 2,50 m ylitetään, joudutaan leveän kuljetuksen vaatimiin toimenpiteisiin. Suositeltavaa ja edullisinta onkin suunnitella raudoitteet niin, että niiden leveys on aina alle 2,50 m.

Työmaan kannalta on tärkeintä varastoinnin ja asennuksen helpous. Raudoitteiden painon tulee olla alle 70 kg ja niiden koon sellainen, että kaksi henkilöä pystyy asentamaan ne paikalleen vaivattomasti. Selväpiirteinen sijainti rakenteessa helpottaa asennustyötä ja auttaa virheet-

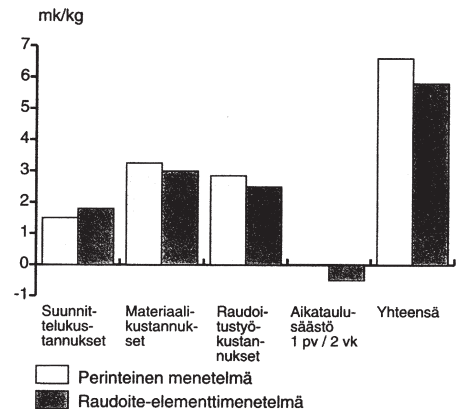
tömaan lopputulokseen. Suunnittelijan tekemä kerroskohtainen raudoiteluettelo helpottaa sekin työmaan toimintaa.

Kustannukset

Teollisen raudoitteen hintaan vaikuttaa eniten sarjapituus. Suositeltava määrä kutakin raudoitetyyppejä on vähintään muutamia kymmeniä kappaleita. Muutaman kappaleen sarjoja ei kannata valmistaa teollisesti, koska koneiden asetystyön osuus nousee liian suureksi valmistettavaa raudoitteikiloa kohti. Kannattaa siis minimoida erilaisten tyyppien määrä eikä suinkaan kilomäärää.

Valmiin raudoitteen hinnasta noin puolet on materiaalikustannuksia ja loput erilaisia työvaiheista johtuvia kustannuksia valvonta mukaanlukien. Teräsmenekki riippuu rakenneratkaisuista ja kuormituksesta ja muodostaa melko kiinteän menoerän. Teollisessa raudoittamisessa materiaalihukka on kuitenkin noin 8 % pienempi kuin irtotankoja käytettäessä. Tämä kompensoi raudoituksen yksinkertaistamisesta johtuvaa materiaalimenekin kasvua, joka on noin 10 % verrattuna teräsmäärää optimoiden toteutettuun irtoteräsratkaisuun.

Suurin ero teollisen ja perinteisen menetelmän välillä on raudoitukseen kuluva aika. Esimerkiksi asuinkerrostalokohhteessa aika voidaan puolittaa käyttämällä teollisia raudoitteita irtoterästen sijaan. Nykyaikaisilla muotteilla päästään nopeaan muottikiertoon, joten myös raudoituksen on sujuuttava samaan tahtiin – teollisilla raudoitteilla tämä onnistuu ilman raudoittajien määrän kasvattamista ylisuureksi raudoitettavaan alaan nähden.



Kuva 6. Raudoitusratkaisuja verrattaessa tulee valinta tehdä kokonaiskustannusten perusteella.

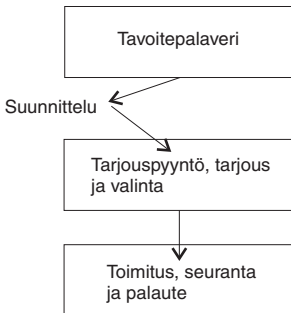
Raudoitusprosessin kulku paikallavalu-kohteessa

Suosittelava prosessin kulku lähtee liikkeelle ns. tavoitepalaverilla, jossa määritellään hankkeen päätavoite. Se voi olla vaikkapa aikataulutavoite, jossa lyödään lukkoon rungon nousunopeus, esimerkiksi kerros / viikko, jolloin holvivalu sijoittuu aina loppuviikkoon ja valu voi kovettua rauhassa viikonlopun yli. Tähän tavoitepalaveriin osallistuvat urakoitsija, rakennuttaja, suunnittelija ja materiaalityöntekijät – erityisesti muottien, betonin ja raudotteiden toimittajaehdokkaat. On syytä painottaa, että tässä vaiheessa tilaajataho ei vielä sitoudu käyttämään palaverissa mukana olevia materiaalityöntekijäjä, vaan tekee päätöksensä vasta tarjousten perusteella.

Tavoitepalaverin jälkeen suunnittelija täydentää ja tarvittaessa korjaa suunnitellut tavoitepalaverissa sovitulla tavalla. Nyt suunnittelijalla on käytössään myös materiaaliasiantuntijoiden erityisosaaminen, joka edesauttaa suunnitelmien kehittämistä toteutusystävällisempään suuntaan.

Tarjousvaiheessa ei enää ole tarpeen muuttaa suunnitelmia, joten tarjouspyyntö-tarjous-tilausvaihe voidaan viedä läpi tehokkaasti ja nopeasti. Säästöt on tehty jo suunnitteluvaiheessa ottamalla huomioon myös raudotteiden valmistukseen liittyvät seikat.

Raudoitetoimitukset toteutetaan tavoitepalaverissa ja suunnitelmissa sovitulla tavalla. Toimitusten suunnittelu sisältää aikataulun ja toimituserän koon sopimisen samoin kuin kohteen erityispiirteiden – esimerkiksi tontin ahtaus, nosturin käyttömahdollisuudet – huomioonottamisen. Koko prosessin onnistumisen kannalta on tärkeää myös seurata raudoitustyön toteutumista ja tehdä korjaavat toimenpiteet välittömästi. Prosessi on parhaimmillaan siis myös tuotekehitystä!



Kuva 7. Raudoitusprosessin kulkukaavio.

Paikallavalurakentamisen raudoittekomponentit

Paikallavalurakentamisessa raudotteita tarvitaan erityisesti välipohjien raudoittamiseen. Esimerkiksi pilarilaattarungon kokonaiskustannuksista laatastojen raudoituksen osuus on 20–25 %. Laatan rauditus kootaan tavallisesti verkoista, kaistaraudotteista, hakakoreista, tukipukeista ja irtoteräksistä. Teollisilla komponenteilla voidaan tehokkaasti raudottaa myös muita rakenneosia, kuten pilareita, palkkeja ja seinäiä.

Verkoilla raudoitetaan yleensä laatan alapinta. Varastoverkon tyyppiset neliösilmaiset verkot ovat usein käyttökelpoisin ratkaisu. Verkkoraudoitusta voidaan tarpeen mukaan täydentää irtoteräksillä. Verkkojen limitystarve on irtoteräksiä pienempi, koska hitsatut poikittaistangot lisäävät ankkurointikapasiteettia merkittävästi.

Yläpinnan rauditus toteutetaan lähes poikkeuksetta kaistaraudotteilla, jotka ovat yhteen suuntaan toimivia, verrattain pitkiä raudotteita. Kaistaraudotteita käytettäessä vältytään raudotteiden kerrostumisen tuomilta ongelmilta. Myös yläpinnassa voidaan käyttää lisäksi irtoteräksiä eniten terästä vaativissa kohdissa.

Raudoitustyötä voidaan nopeuttaa merkittävästi käyttämällä laatan reunojen raudoittamiseen valmiiksi taivutettuja hakakoreja. Teollisesti hitsattu ja taivutettu hakakori on mittatarkka ja sen asennus paikalleen on helppoa. Hakakori voidaan suunnitella toimimaan myös yläpinnan terästen tukena, jolloin yläpinnan raudituksen tukemiseen käytettävien tukipukkien tarve vähenee.

Raudotteiden tukemiseen käytettävä tukipukki on osoittautunut käyttökelpoiseksi tuenratkaisuksi. Muottiin tukeutuva tukipukki on aina oikeassa korkeudessa riippumatta alapinnan raudotteiden korkeusasemasta ja sen asentaminen sujuu nopeasti, koska sitä ei tarvitse si-



Kuva 8. Laattaraudituksen teollisia komponentteja.

toa kiinni alapinnan raudoitteisiin. 40 mm:n muovitus tukipukin jaloissa antaa sille riittävän suojan korroosiota vastaan suojaten myös muottipintaa rikkoutumiselta.

Laadunvarmistus

Suomessa käytettävien betoniterästen tulee olla joko SFS- tai STF-merkittyjä. SFS-merkki raudoitteessa osoittaa teräksen olevan SFS-standardin mukaista. STF-merkki puolestaan kertoo tyyppihyväksynnästä. Raudoitteiden laadunvarmistus työmaalla alkaakin tarkistamalla em. merkien löytyminen nippulapuista.

Raudoitustyötä tehtäessä nippujen sidontalangat ja verkoista leikatut palat kerätään pois työkohteesta, koska ne aiheuttavat turvallisuusriskin ja heikentävät tuotteen laatuasoa. Muottipinnan rikkomista terästen päällä on välttävää vaurioita ja raudoitteita olisikin mahdollisuuksien mukaan siirreltävä vaaka-asennossa.

Raudoitteiden oikea sijainti varmistetaan tarkistamalla limitykset ja korkeusasemat. Vaadittujen suojabetonipaksuuksien tulee täytyä. Tukipukkien käytännöllinen korkeus on 10–15 mm alle teoreettisen korkeuden.

Teollisten raudoitteiden käyttö vähentää virhemahdollisuuksia, koska jaot ovat tarkat ja oikein, terästen oikea määrä on helppo tarkistaa sekä mittatarkkuus on hyvä, jolloin sijainti on oikea ja suojabetonipaksuudet täyttyvät. Oheiseen tarkistuslistaan on koottu tärkeimmät toimenpiteet hyvään laatuun pääsemiseksi.

Tarkistuslista laadunvarmistamiseksi

A. Ennen raudoitustyötä

- suunnitelmien tarkistaminen
- raudoitusjärjestyksen selvittäminen
- raudoitteiden sekä työterästen varaaminen

B. Raudoitustyön aikana

- oikea määrä, oikeaa terästä, oikeaan paikkaan
- riittävä raudoituksen tuenta
- riittävä sidonta

C. Betonoinnin aikana

- raudoituksen korkeusaseman tarkkailu
- raudoituksen korkeusaseman mittaus tuoreesta massasta

D. Betonoinnin jälkeen

- riittävä betonin jälkihoito

Kokemuksia toteutetuista kohteista

Raudoitteissa ja raudoitustyössä on havaittu selvä tarve yksinkertaistaa raudoitusratkaisuja. Rakennetyypistä riippumatta voidaan raudoitus suunnitella siten, että hitsatuista raudoitteista tehdään runkoraudoitus, jota tarpeen mukaan täydennetään irtoteräksillä. Yksinkertainen raudoitusratkaisu tarkoittaa selkeitä, toistuvia raudoituskenttiä. Tällöin saadaan hyödynnettyä teollisen valmistuksen edut ja saavutetaan korkea laadutase asennusnopeudenkin ollessa hyvä.

Yhteistyö rakentamisen eri osapuolien välillä on erityisen tärkeää. Mitä aikaisemmassa vaiheessa yhteistyö käynnistetään, sitä parempi on lopputulos. Toteutetuissa kohteissa on todettu, että hyvän suunnittelun pohjalta on mahdollista tehdä kerralla oikein – ja edullisesti!

Yksinkertainen on tehokasta

- sarjavalmistuksen hyödyt
- suurempi asennusnopeus
- pienempi laatuvirheiden määrä
- selkeämpi logistiikka

Yhteistyö kannattaa

- vaatimukset selvillä
- ei turhia virheitä ja väärinkäsityksiä
- kerralla oikein

Kokonaisuus ratkaisee

- halpa ei ole aina edullista
- työsuunnittelulla on ratkaiseva merkitys

3 Talotekniikka välipohjalaatassa

Suunnittelu

Paikallarakentaminen avaa LVIS-tekniikan toteutukselle oivalliset mahdollisuudet. Putkistojen ja laitteiden sijoitteluun vapautuu tuotanto- ja asennusvaiheiden suunnitteluun uudet ja toisaalta myös perinteiset mahdollisuudet. Asumisviihtyyisyyden kannalta erityisesti äänitekniikka paranee olennaisesti. Tulevaisuuden kannalta katsottuna järjestelmien huolto ja peruskorjaus helpottuvat merkittävästi uusien tekniikoiden sovellettaessa. Paikallarakentamisen tekniikka antaa uusia mahdollisuuksia myös suunnitteluun, kunhan valittujen ratkaisujen toteutettavuuteen kiinnitetään kylliksi huomiota.

Kun välipohjarakenteessa kuljetetaan talotekniikan johdotuksia ja putkituksia, niiden ratkaisujen tulee noudattaa sekä suunnittelun että rakennettavuuden osalta välipohjarakentamisen sääntöjä. Suunnitteluratkaisuissa on otettava huomioon riittävä tilantarve kaikissa suunnissa ja pyrittävä välttämään liian ahtaaita, eri osien risteämäkohtia. Johdotukset ja putkitukset asennetaan pääsääntöisesti alapinnan raudoituksen jälkeen ja ennen yläpinnan raudoitusta eli nopeisiin työvaiheisiin liittyen. Asennustyötä helpottavat ja nopeuttavat valmiiksi koottu komponentit, erilaiset asennusosat ja -tuet sekä ennen kaikkea asianosaisten suunnittelijoiden ja alaurakoitsijoiden välinen tiivis yhteistyö.

Märkätilat paikallarakentamisessa

Oleellinen ero paikallarakentamisen ja elementitekniikan välillä on putkien sijoittelumahdollisuuksissa. Paikalla rakentaen viemäreiden sijoittelu ja haaroitukset ovat täysin vapaasti suunniteltavissa välipohjarakenteen sisään. Ne

eivät rajoita minkään laitteen sijoittelua. Tilan- ne myös putkieroiloon suhteen on teknisesti hel- posti ratkaistavissa. Äänivaatimusten johdosta roiloa ei saa sijoittaa asuintilojen seinää vasten. Koska pesutilan viemärit eivät rajoita roilon sijoitusta, voidaan muut vaatimukset, esimerkiksi ääniteknikaan ja muiden tilojen liittämisen osalta ottaa paremmin huomioon.

Paikalla rakennettaessa 240–270 mm:n väli- pohjavahvuus riittää pitempienkin kaatojen toteuttamiseen, myös äänitekniset tekijät huomioiden. Kun viemärihajoitukset on sijoitettu väli- pohjan massiivivaluun, on viemärin pystylinjan ääneneristykseen kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta kokonaisuus on ääniteknisesti toi- miva.

Vesijohtotekniikka

Perinteisessä rakennustekniikassa kaikkia märkätiloja yhdisti yhteinen pystylinja vesijohto- neen ja viemäreineen. Paikallarakentamisessa riittää jopa yksi porraskohtainen vesijohtolinja. Siitä johdetaan vesi vaakasuunnassa kussakin kerroksessa kuhunkin asuntoon.

Putkistoa ei viedä suoraan asuntoon, vaan asuntokohtaisiin jakokaappeihin. Jakokaapit voivat sijaita asunnossa tai porrashuoneessa. Jakokaapista johdetaan muoviset vesijohtot kullekin käyttöpisteelle niin keittiöön kuin pesutiloihinkin. Muoviputket asennetaan suoja- putkiin, jolloin ne voidaan vaurioitilanteessa tai peruskorjauksen yhteydessä vaihtaa. Nykyaikaiset suojaputkijärjestelmät ovat vesivuotojen suhteen erittäin varmoja, suojaputki on yhtenäisen jakokaapista hanalle asti ja hanan pään liitos on paineen kestävä, jolloin mahdollinen vuoto purkautuu vain jakokaappiin.

Sekä käyttöveden että lämmön mittauslaitteet voidaan sijoittaa jakokaappeihin. Kaukoluetta- vat järjestelmät mahdollistavat mittaus tietojen keruun vaikka huoltoyhtiön tietokoneelle.



Kuva 9. Esivalmistettu viemärihajoitus nopeutta asennustyötä eikä hidasta muuta holvityötä.

Lämmitys

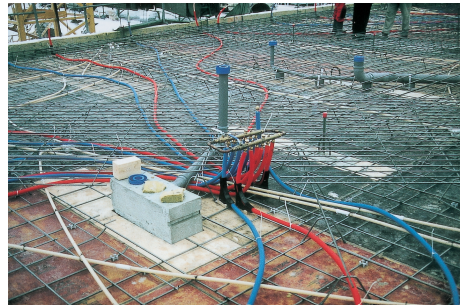
Paikallarakentamisen tekniikka mahdollistaa merkittäviä muutoksia lämmitystekniikkaan. Ulkoseinillä olevat pystylinjat jäävät tarpeetto- miksi ja järjestelmävalinnasta riippuen patterit- kin voivat olla turhia. Lämmönjakelussa toteu- tuvat samat periaatteet kuin vesijohtoisakin, mutta vaihtelumahdollisuuksia on enemmän. Pystysuunnassa voidaan käyttää porraskohtai- sia tai asuntokohtaisia linjia. Jakotukit jakoka- peissa voidaan sijoittaa portaaseen, asuntoon tai portaan tekniikkakaappiin.

Lämmön luovutuksessa on kaksi mahdolli- suutta. Perinteinen patterilämmitys on edelleen toimiva. Siinä putket pattereille tuodaan suoja- putkessa väli- pohjan valussa. Putket ovat vai- dettavissa suoja-putken sisällä. Patterin kytken- täputkista näkyy vain lyhyt kromattu putkiosuus lattian rajasta patterin alakulmaan. Esteettiset edut ovat merkittäviä perinteiseen pystylinjaan patterien risteilevine kytkentäputkineen.

Myc lattia- lämmityksestä on tullut varteen- otettava vaihtoehto. Parhaaseen tulokseen pääs- tään käyttämällä putkien kiinnitysalustaa, joka tukee ja suojaa putkia työn aikana parhaiten. Lattia- lämmityksen käyttö pienentää jonkin ver- ran mahdollisia huonejärjestelymuutoksia. Asuin- rakennuksissa huonemuutokset ovat käytännös- sä varsin vähäisiä, joten rajoittavalla tekijällä ei ole juuri merkitystä.

Ilmanvaihto

Paikallarakentamisen vaikutukset Ivi-tekniik- kaan ovat vähäisimmät ilmanvaihdoissa. Kana- via ei hyvässä suunnittelussa sijoiteta väli- pohja- rakenteeseen. Pystykanavien sijoittelu riippuu toteutettavasta ilmanvaihtojärjestelmästä, ei niin- kään rakennetekniikasta. Uuden tekniikan mu- kanaan tuomat porrashuoneen yhteyteen sijoit- tettavat tekniikkakaapit antavat mahdollisuuksia myös ilmanvaihdon eri mahdollisuuksille.



Kuva 10. Käyttö- ja lämmitysveden putkusten vaakasuuntainen hajautus massiiviholvissa.

Sähkötekniikka

Elementtirakentamisessa opittu sähköjärjestelmien asentamisen ajatusmalli muuttuu kohtalaisesti paikalla rakentamiseen siirryttäessä. Samalla saavutetaan merkittäviä etuja. Suurin ero tekniikoiden välillä on johtimien putkituksessa. Paikalla rakentamisessa kaikki sähköjohdotukset putkitetaan. Asuntojen nousujohtot putkitetaan massiivivaluseiniin, asuntojen sisäiset johdotukset taas pääasiassa välipohjiin ja väliseiniin. Johdotukset voidaan sijoittaa optimaalisella tavalla ja periaatteessa lyhimpiä reittejä käyttäen.

Asennuksien ajankohta muuttuu eri tekniikoita käytettäessä. Paikallarakentaen sähköputkitusta rakennetaan sitä mukaa, kun rakennusta nostetaan kerros kerrokselta. Myöhäisetkin suunnitelmamuutokset on mahdollista toteuttaa ilman suurempia lisäkustannuksia ja viiveitä.

Paikallarakennettaessa saavutetaan sähkötyöiden osalta merkittäviä etuja elementtirakentamiseen verrattuna: asennus on joustavampaa, korjaaminen helpottuu ja erityisesti ääniteknikka paranee. Elementtirakentamisessa sähköputkitukset ovat heikentäneet rakenteiden ääneneristävyyttä erityisesti otelonaltojen saumoihin asennettävien sähköputkitusten kohdalla.

Uudet tekniikat luontevia paikallarakentamiselle

Uusista tulevaisuuden tekniikoista asennuslaturatkaisu ja sen alle sijoittuva talotekniikka on luonteva vaihtoehto myös paikallarakentamisessa. Massiivisen, saumattoman ja vedenpitävän, myöhemmin helposti vaikka aukotettavan välipohjalaatan käyttö on pitkällä tähtäimellä järkevä runkoratkaisu jo esimerkiksi vesivahinkoja ja pystysuuntaisia vuotoja ajatellen. Jos rakennejärjestelmään valitaan lisäksi kantaviksi osiksi pilarit, myös vaakasuuntainen muunneltavuus rakennuksen elinkaaren kaikissa vaiheissa on mahdollista ja luontevaakin.

4 Betonitekniikka

4.1 Betonin valinta

Betonin valinnassa on olennaista, että se perustuu kokonaiskustannusten tarkasteluun. Tällöin otetaan huomioon betonikustannusten lisäksi kaikki muut betonointiin liittyvät kustannukset. Betoni valitaan yleensä rakennekohtaisen suunnitelman teon yhteydessä ja sitä tarkennetaan juuri ennen valua. Käytettävän betonilaadun lopulliseen valintaan vaikuttavista tekijöistä korostuu talviolosuhteissa haluttu tuotantorytmi, joka on pystyttävä säilyttämään mahdollisimman pienillä lisäkustannuksilla.

Lopullista, tarkennettua betonin valintaa tehtäessä kovettumisaikaisiin lämpötiloihin ja

lujuudenkehitykseen vaikuttavat muut tekijät ovat jo tiedossa. Näitä ovat

- muottikierron vaadittu nopeus
 - muottijärjestelmä ja etenkin siihen liittyvä jälkikuunta
 - lämmitysmenetelmä ja betonin lämpösuojaus
 - odotettavissa olevat sääolosuhteet valun aikana ja sitä seuraavina lähivuorokausina.
- Suunnitellun tuotantorytmin toteutuminen riippuu oleellisesti betonin lujuudenkehityksen nopeudesta. Talvella betonoitaessa se hidastuu merkittävästi betonin lämpötilan laskiessa +10 °C:n alapuolelle ja pysähtyy käytännössä kokonaan 0 °C:een alapuolella. Talvibetonoinnissa betonin lujuudenkehitystä voidaan nopeuttaa seuraavin menetelmin:
- käytetään nopeasti kovettuvaa betonia
 - korotetaan lujuusluokkaa eli nostetaan betonin suhteituslujuutta
 - nostetaan betonin kovettumislämpötilaa eli lämmitetään kovettuvaa betonia
 - nostetaan vain betonimassan lämpötilaa
 - käytetään kiihdyttäviä tai vedentarvetta vähentäviä lisäaineita
 - käytetään edellä mainittujen yhdistelmiä.

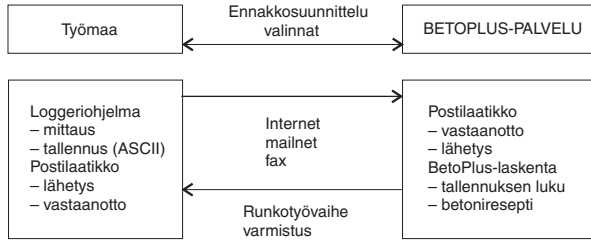
Betonin valinta BetoPlus-suunnittelulla

BetoPlus on Windows-pohjainen tietokoneohjelma, jolla voidaan laskea betonirakenteiden lämmön- ja lujuudenkehitys erilaisissa betonointiolosuhteissa. Ohjelman toiminnan perusajatuksena on mallintaa betonirakenne ympäristöineen, jolloin kaikki betonin lujuudenkehitykseen vaikuttavat tekijät ovat riittävällä tarkkuudella hallittavissa. Lujuudenlaskenta tapahtuu todellisten, käytetyn betonisuhteituksen osa-ainemäärien perusteella.

BetoPlus-ohjelmassa on valmisrakennekirjasto, josta voidaan valita tai muodostaa haluttu rakenne. Eri muuttujien (betonilaadut, lämmitys, suojaus, sääolosuhteet jne.) vaikutusten tarkastelu käy nopeasti. Ohjelma antaa käyrä- tai taulukkomuodossa rakenteen lämmön- ja lujuudenkehityksen, lämpötilaerot rakenteessa, rakenteen kypsyiden ja mahdollisten lujuuskadon halutusta rakenteen kohdasta ajan funktiona. Uudessa ohjelmassa voidaan hyödyntää myös työmaalla mitattua, dataloggerin muistiin tallennettua lämmönkehitystietoa ja laskea rakenteen lujuus mittaushetkellä.

BetoPlusilla lasketulla lujuudenkehityksellä voidaan

- valita oikea betonilaatu, muottikalusto, suojaus ja tarvittaessa lisälämmitys
- arvioida muotinpurkulujuuden saavuttamisajankohta
- suunnitella muottikierto
- määritellä jälkijännitysajankohta
- suunnitella nousunopeus liukuvalussa
- havaita kylmäsilat ja niiden vaikutus.



Kuva 11. BetoPlus-ohjelman käyttö betonoinnin ennakkosuunnittelussa ja työmaan lujituksen hallinnassa.

BetoPlusilla lasketun rakenteen lämmönkehityksen perusteella voidaan määrittää rakenteen

- lämmitystarve ja valita oikea suojaustapa
- valita oikea muotti- ja eristetyyppi
- valita oikea betonilaatu ja massan lämpötila.

BetoPlus-laskennan lähtötiedot

Laskennan lähtöarvoiksi tarvitaan seuraavat suunnittelu- ja toteutustekniset tiedot:

- suunnittelulujuus
- käytettäväksi aiottu ja vaihtoehtoiset betonilaadut
- rakenteen mitat ja muoto
- ympäröivät rakenteet
- muottityyppi ja -kierto
- eristeet ja suojaus
- arvio sääolosuhteista (lämpötila ja tuuli)
- mahdollinen lisälämmitys
- haluttu muotinpurkulujuus tai lämpötilarajoitukset.

4.2 Betonointi

Betonointisuunnitelmassa läpikäytyt asiat on kerrattava vielä ennen valutöiden aloitusta työjohtoon, toteuttavan työmannan ja betonointiurakoitsijan kesken. Talvikauden valuissa keskeistä on häiriötön, ennakkoon suunniteltu toiminta. Vaikka betonoinnissa tähdätäänkin nopeaan, turhaa lämmönhائhtumista välttävään valurytmiin, laadukkaan rakenteen aikaansaamiseksi, ei saa unohtaa betonin vaatimaa oikeaoppista muottiinottoa, tiivistystä ja oikea-aikaista viimeistelyä esimerkiksi konehieroilla kerralla valmiiksi pintaan pyrittäessä.

Vaakarakenteiden betonointi

Kutistuma- ja halkeiluriskin pienentämiseksi betonin maksiraakooksi on syytä valita 32 mm. Maksimiraaokkoa 16 mm käytetään tiheästi raudoitetuissa kohdissa, esimerkiksi palkkikaistojen tai pilarien kohdalta. Sopiva valunotkeus on yleensä 2–3 sVB, tiheimmin raudoitetuissa la-

toissa 1–2 sVB. Laatat $h < 350$ mm valetaan yhtenä kerroksena.

Betonointia ennen ja betonoinnissa on huomioitava seuraavat asiat:

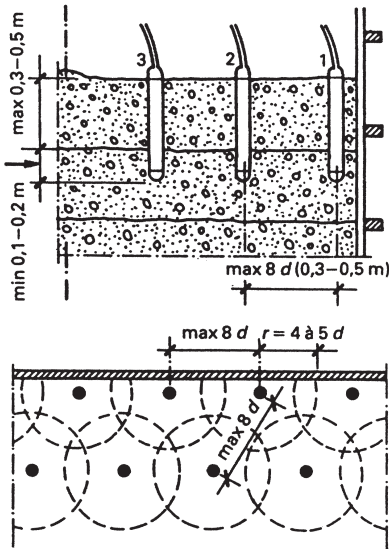
- muottipinnan on oltava sula, jäätön ja lumenton
- muottipinta on tarkistettava haitallisen irtolian (sahanpuru yms.) ja muotiniirrotusainekertymien havaitsemiseksi; kertymät poistetaan trasselilla pyyhkien
- betonoinnin aikana muottiin lennelleet suu-remmat kuivahtaneet betoniroskeet on poistettava ennen päällevalua
- betonin otto muottiin tapahtuu jo valettua betonirintausta vasten etenkin pumppuvalussa
- betonin pudotuskorkeus pidetään mahdollisimman matalana, korkeintaan se saa olla 1 metri. Etenkin pumppuvalussa liian korkealta putoava pumppupaineen vauhdittama betonimassa erottuu raudoitukseen tai muottipintaan iskeytyessään
- laatat, joiden vahvuus on < 350 mm, valetaan yhtenä kerroksena.
- paksummissa laatoissa uuden kerroksen betonointi aloitetaan kun edellinen on edennyt 5...10 metriä aloituskohdasta.

Tiivistyskaluston määrä määritetään valunopeuteen nähden. Käytännön työsaavutus 60 mm:n sauvatäryttimellä normaalisti raudoitettu 240 mm paksun laatan valussa on noin 10–18 betoni- m^3/h . Sauvatäryttimen käytössä on huomioitava seuraavat tekijät:

- täryttimen koko valitaan aina kohteen mittojen mukaan: täryttimen on mahdollista yläläpinnan raudoitukseen läpi laatan joka kohdassa. Normaali vahvuissa laatoissa täryttimen suurin koko on 60 mm
- tärytys tehdään 1,5–2 metriä ottorintaudesta
- tärytintä ei käytetä massan siirtämiseen
- sauvan asento on normaalisti pystysuora, ohuisissa laatoissa (< 250 mm) kallistuskulma voi olla enintään 45° . Sauva vaakasuorassa aiheuttaa erottumista

Taulukko 1. Sauvatäryttimellä suoritetun tiivistyksen työsaavutuksia (bet-m³/h) käytännön laattavai- luissa.

Sauvan halkaisija (mm)	Tavallinen holvalu 240 mm (m ³ /h)	Ohuet laatat, laattapalkit, tiheä rauditus (m ³ /h)
40-50	7-15	3-8
50-60	10-18	5-10



Kuva 12. Betonin järjestelmällinen tiivistys. Kuvassa d = sauvan läpimitta ja r = tärytyksen vaikutussäde.

- tärytyksajan on oltava riittävä mutta ei liian pitkä: sopiva aika 250 mm:n laatalle on 10 s
- betonoitaessa useampana kerroksena sauvan annetaan upota omalla painollaan tiivistettävän kerroksen läpi alempaan kerrokseen vähintään 200 mm
- tiivistys suoritetaan järjestelmällisesti 400... 600 mm:n ruuduissa.

Pystyrakenteiden betonointi

Pilarien lujuusluokka on tyypillisesti muita rakenneosia korkeampi, myös niiden muoto ja rauditus asettavat vaatimuksia betonille. Pilarivaluissa käytetty betoni on tavallisesti notkistettua ja valunotkeus 2-3 sVB tai 1-2 sVB. Maksimirakoko voi olla 32 mm, mutta yleensä

käytetään 16 mm:ä pilarin ylä- ja alaosan tiheämmän raudituksen takia.

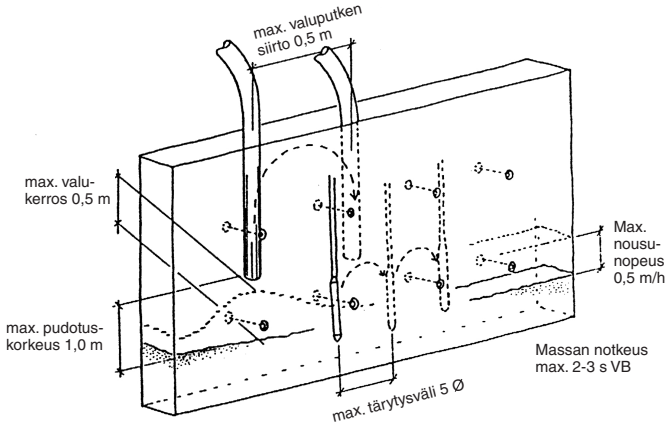
Seinä rakenteet pystytään tiivistämään asianmukaisella kalustolla, kun betonin notkeus on 2-3 sVB. Jos seinä on varauksiltaan ja raudoitukseltaan vaikeasti tiivistettävissä, on suositeltavaa käyttää notkistettua betonia valunotkeuden ollessa 1-2 sVB.

Pystyrakenteiden betonoinnissa ja tiivistyksessä on huomioitava seuraavat asiat:

- valupaikalla järjestetään kunnollinen, 2-3 valopisteen valaistus niin että betonoiva työkuunta näkee hyvin muotin pohjalle asti
- betonin pudotuskorkeus ei saa ylittää 1 metriä, joten nostoastialuussa on käytettävä valusukkua ja pumppuvalussa vietävä putken suu muotin sisälle; syitä tähän ovat
 - pudotuskorkeuden kasvu lisää erottumisriskiä kiviaineksen iskeytyessä raudoitukseen
 - betonoinnin alussa muotin yläosaan tarttuvat betoniroiskeet saattavat ehtiä kovettumaan
- betoni ei saa iskeytyä vinosti raudoitukseen eikä muottipintaan erottumisriskin takia, vaan se valetaan kohtisuorasti muotin pohjaa ja valettua betonia vasten
- betoni otetaan muottiin tasaisina 30-50 cm:n kerroksina; kukin kerros valetaan ja tiivistetään keskeytyksettä muotin koko pituudelta
- betoni tiivistetään sauvatäryttimillä järjestelmällisesti seuraavien periaatteiden mukaisesti:
 - sauvan annetaan vajota omalla painollaan valetun kerroksen läpi jo tiivistettyyn kerrokseen 20-30 cm:n matkalta
 - sauva nostetaan tiivistettävästä kerroksesta tasaisella nopeudella 4 cm/s
 - yhden sauvanpiston koko tärytysaika on 15-20 s
 - sauvanpistojen väli on korkeintaan 40 cm
- tärytystä ei saa missään tapauksessa tehdä vasten raudoitusta
- sauvan tulisi tärytettäessä olla muottipinnasta 10-15 cm:n etäisyydellä; 160-180 mm paksuissa seinissä tärytys suoritetaan rakenteen keskeltä
- tiivistys seuraa 1-1,5 metriä valurintauksen perässä
- pystyrakenteiden yläosien tiivistämiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota niihin kerty-

Taulukko 2. Sauvatäryttimellä suoritetun tiivistyksen työsaavutuksia (bet-m³/h) käytännön pystyvaluisissa.

Sauvan halkaisija (mm)	Tavallinen seinävalu 180-200 mm (m ³ /h)	Ohuet ja korkeat seinät, pilarit, tiheä rauditus (M ³ /h)
40-50	5-10	2-6
50-60	7-15	3-8



Kuva 13. Seinärakenteen betonin tiivistys. Samat periaatteet pätevät pilarien betonin tiivistyksessä.

vän ilman hitaamman ja vaikeamman poistumisen takia; ne on uudelleentivistettävä hyvissä ajoin ennen betonin sitoutumista

- varauksien alapuolisten alueiden täytyminen varmistetaan jättämällä edeltävä massakerros 20 cm varauksen alapuolelle ja täyttämällä alusta tavallista paksuun massakerroksen painevaikutuksen ja tehokkaan tärytyksen avulla
- betonointi on suunniteltava siten että betonointi voidaan viedä läpi keskeytyksettä koko valuosan osalta liikunta- tai työsaumaan asti.

Pystyrakenteiden betonoinnissa on suhteutettava siirtomenetelmän tehokkuus puhdasvalun nousunopeuden ja tiivistysajan vaatimuksiin. Esimerkiksi puhdasvaletun pilarin betonoinnissa betonipumppu ei välttämättä ole oikea vaihtoehto; samoin voi tilanne olla myös seinärakenteissa. Kuten oheisesta taulukosta voidaan päätellä, tiivistyskaluston teho ei ole mitoitettava tekijä seinävaluisissa; useimmiten siksi muodostuu suurin sallittu betonin nousunopeus.

4.3 Talvibetonointi

Betonin lämmitysmenetelmän tai -menetelmien valinta on talvibetonointisuunnitelman tärkein osa. Työmaa joutuu vertailemaan rakennukseen

ja rakenteisiin parhaiten soveltuvia lämmitystapoja sekä teknisessä että taloudellisessa mielessä. Käytännön kohteissa on oikeilla työmenetelmien ja -tapojen sekä energiamuotojen valinnalla saavutettu suuriakin säästöjä. Tavoitteena on löytää työmaan kokonaistalouden kannalta edullisin ja varmin vaihtoehto.

Alustava vaihtoehtojen kartoitus tehdään seuraavat tekijät huomioiden:

- mihin vuodenaikaan betonointi ajoittuu ja mikä on tästä aiheutuva lämmitystarve
- mikä on rakennuksen koko ja muoto
- tullaanko lämmitysmenetelmää ja käytettävää energiamuotoa hyödyntämään myös rakennusrungon kuivatuksessa
- minkälaisia ovat betonoivat rakenteet
- kuinka lämmitettävä tila on suljettavissa
- millä kalustolla betonointi tehdään (muotit, siirrot, suojausajankohta jne.)
- kuinka nopeasti työ on tehtävä.

Tämän jälkeen suoritetaan vertailulaskelmat jäljellä olevien vaihtoehtojen kesken. Käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että ehdottomasti taloudellisinta betonin lämmitysmenetelmää ei ole helppo osoittaa. Valintapäätökseen vaikuttavat usein myös lämmityskaluston saataavuus, toimintavarmuus ja työmaan taidot (tahto) käyttää ko. menetelmää.



Kuva 14. Hyvin ennakkoon mietitty suojaus-suunnitelma varmistaa valitun lämmitysmenetelmän toimivuuden.

Betonointi talvikautena

Perustukset

- valu vain sulatetulle ja lämmitetylle alustalle
- rakenteiden massiivisuuden hyödyntäminen (betonin oma lämmönkehitys)
- nopeasti kovettuvan betonin tai kuumabetonin käyttö
- lämpöeristettyjen muottien hyödyntäminen
- nopea ja riittävän eristävä lämpösuojaus
- lämmitysmenetelminä kuumabetonin lisäksi lankalämmitys ja huputetun rakenteen kuumailmalämmitys
- lämpötilaseuranta rakennesuunnittelijan määrittämän lujuustason saavuttamiseen saakka.

Lattiat

- valutilasta tuuleton ja vedoton
- lämmityksen aloitus jo niin aikaisin, että valualustan lämpötila on betonoitaessa yli +5 °C
- lämmitys pääsääntöisesti kuumailmalämmityksellä
- lämpötila noin +15 °C 3...4 vrk:n ajaksi
- jälkihoito tärkeää myös talvikautena.

Pilarit

- nopeasti kovettuvan ja lisäksi kuumabetonin käyttö
- rakenteen yläosan välitön lämpösuojaus
- rakenteen alaosan lisälämmitys ja lämpöeristys, jos kylmäsiltaavaara on olemassa
- koko pilarin lämmitys lankalämmityksellä tai huputuksella ja kuumailmalämmityksellä
- lämpötilaseuranta rakennesuunnittelijan määrittämän lujuustason saavuttamiseen saakka

Seinät

- nopeasti kovettuvan betonin ja lisäksi kuumabetonin käyttö, jos muotti ei ole lämmittävä
- rakenteen yläosan välitön lämpösuojaus
- rakenteen alaosan lisälämmitys ja lämpöeristys, jos kylmäsiltaavaara on olemassa
- lämmitys huputuksella ja kuumailmalämmityksellä, jos muotti ei ole lämmittävä
- lämpötilaseuranta rakennesuunnittelijan määrittämän lujuustason saavuttamiseen saakka

Holvit

- raudoitettujen holvin suojaus ennen betonointia lumisateen uhatessa
 - tuulettomat ja vedottomat olosuhteet muotin alle
 - muotin esilämmitys jään sulattamiseksi muotitipinnalta
 - betonilaatu betonipinnan käsittelyn, suojausajankohdan, lämmitysmenetelmän sekä ulkoilman lämpötilan mukaan
 - lämmitys säteilylämmityksellä tai kuumailmalämmityksellä
 - lämpötilaseuranta rakennesuunnittelijan määrittämän lujuustason saavuttamiseen saakka.
- Kuhunkin rakenneosaan ja lämmitysmenetelmään parhaiten soveltuva betonilaatu valitaan yleensä tapauskohtaisesti betonityönjohtoon ja betoniasiantuntijan kesken. Tämä on välttämättömyyksiä useiden ennakkoon vaikeasti hallittavien betonin lujuudenkehitykseen vaikuttavien tekijöiden takia.

4.4 Betonin jälkihoito

Jälkihoidon tarkoituksena on varmistaa betonin lujuudenkehitys ja estää betonin pinnan liian nopea kuivuminen. Jälkihoitotoimenpiteet sekä niiden aloitusajankohta ja kesto ovat rakenteesta, sen koosta ja muodosta, siinä käytetystä betonista sekä sitä ympäröivästä olosuhteista riippuvia. Kulloinkin soveliaimman jälkihoitomenetelmän valinnan tulee perustua kaikkien vaikuttavien tekijöiden tuntemiseen.

Betonin kutistuminen on vastoin yleistä luuloa lähes riippumaton jälkihoitoajan pituudesta. Kun jälkihoito lopetetaan, betoni kutistuu veden haihtumisen seurauksena (kuivumiskutistuminen). Kuitenkin mitä pitempään esimerkiksi laattarakennetta jälkihoitetaan sitä paremmat

Taulukko 3. Betonin halkeiluriskin vähentäminen.

Betonin varhaisen halkeilun aiheuttaja	Halkeamariskin ajankohta ja riskiä vähentävä jälkihoito		
	Esijälkihoito – esijälkihoitoaine – suojaus	Varsinainen jälkihoito – jälkihoitoaine – vesi ja suojaus	
Plastinen kutistuma			
Hydrataatiokutistuma			
Kuivumiskutistuminen			
	tunti	vrk	vko

edellytykset sillä on kestävä kutistuman aiheuttamat jännitykset. Jälkihoitolla turvataan siten etenkin betonin vetolujuuden kehittyminen. Hyvin jälkihoidetulla rakenteella on huonosti jälkihoidettua paremmat kovettuneen betonin ominaisuudet, esimerkiksi kulutuksenkestävyys ja tiiveys.

Jälkihoito tulee aloittaa välittömästi betonoinnin jälkeen, jotta halkeilu saataisiin minimoitua. Lyhin jälkihoitoaika on yleensä kolme vuorokautta, mutta pakkas-, kulutus- tai kemiallisen rasituksen alaiseksi joutuvilla rakenteilla sen tulee olla vähintään seitsemän vuorokautta. Eri ohjeissa annettuja jälkihoitovaatimuksia voidaan joutua soveltamaan esimerkiksi rakenteen valmistustekniikasta johtuvista syistä. Seuraavassa on tarkasteltu jälkihoitomenetelmiä lähinnä betoniteknologiselta kannalta.

Kastelu

Betonipinnan jatkuva kastelu takaa varmimmin betonin kovettumisen vaatiman kosteuden. Plastisten kutistumishalkeamien estämiseen sitä ei voida käyttää, koska kastelu (sumuttaminen) voidaan aloittaa vasta, kun vesi ei enää huuhdo sementtiä ja hienoainesta pinnasta. Menetelmän häittäpuolina on lisäksi sen vaatima suuri työ määrä, se ei myöskään sovi käytettäväksi talviolosuhteissa. Viileä vesi jäädyttää betonipintaa ja voi näin synnyttää halkeilua aiheuttavia lämpötilaeroja.

Jos laatan betonoinnissa on käytetty normaali betonia nopeammin kuivuvaa betonia ja tavoitteena on pinnan aikainen pinnoittaminen, jälkihoitona ei käytetä vesikastelua.

Peittäminen

Betonipinnan peittäminen on huolellisesti suoritettuna hyvä jälkihoitomenetelmä. Pintaa ei tarvitse lisäkastella, sillä betonista haihtuva kosteus tiivistyy muovin ja pinnan väliin. Peittäminen on tehtävä mahdollisimman nopeasti valun jälkeen ja tuulen puhaltaminen muovin alle on estettävä esimerkiksi teippaamalla muovipeiton saumakohdat.

Menetelmä estää plastisten kutistumishalkeamien muodostumisen, mikäli peittäminen tehdään heti valun jälkeen tai jo sen edistyessä. Usein kuitenkin betonipinnalle asetetut työstövaatimukset mahdollistavat peittämisen vasta niin myöhään, että halkeamat ovat jo ehtineet muodostua. Tällöin jälkihoito tulee aloittaa ns. esijälkihoitoainetta käyttäen.

Muovikalvolla peittämisen etuna on mahdollisuus suojata tuore pinta sateelta. Kun betonipinnalle ei kerry vesikerrosta, kuivuminen pinnoituskosteuteen tapahtuu nopeammin. Menetelmän käyttöä hankaloittavat tuliset olosuhteet holvivalujen yhteydessä sekä runsas jatkoesterästen ja läpivientien määrä.

Jälkihoitoaineet

Nestemäisten ruiskutettavien jälkihoitoaineiden tarkoituksena on muodostaa betonin pinnalle lähes täysin kosteutta läpäisemätön kalvo. Niiden käyttö on tehokas jälkihoitomenetelmä, joka mahdollistaa jälkihoidon myös plastisen kutistumishalkeilun kannalta riittävän aikaisen aloituksen. Ns. esijälkihoitoaineita käyttäen jälkihoito voidaan vaikeissa olosuhteissa aloittaa jo betonin tiivistyksen ja linjaroinnin yhteydessä ja jatkaa sitä varsinaisilla jälkihoitoaineilla heti pinnan hierron jälkeen.

Koska aineiden tehokkuudessa on käytännön kokeissa havaittu olevan melkoisiakin eroja, on syytä varmistaa valmistajalta tai myyjältä ko. tuotteen ominaisuudet. Valun jälkeisen kosteuden haihtumisen estävän, heti ruiskutettavan jälkihoitoaineen yhteydessä voidaan jälkihoidon onnistuminen varmistaa muovipeitolla tai käyttämällä tehokkaita betonin pintaan telattavia jälkihoitoaineita.

Jälkihoitoaineita käytettäessä on tärkeää varmistaa myös se, onko aine itsestään haihtuvaa vai joudutaanko se poistamaan mekaanisesti tartunnan varmistamiseksi, jos betonipinta käsitellään myöhemmin esimerkiksi maalauksella tai pinnoitteella. Parhaat jälkihoitoaineet haihtuvat muutamassa viikossa, tätä aikaisemmin ne voidaan harjata pinnalta pois. Yleensä jälkihoitoaineet ovat värittömiä, jolloin jälkikäsittelemättömissä pinnoissa voidaan käyttää myös haihtumattomia aineita.