

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 julkaistuja artikkeleita](#)

Paikallavaletut betonipinnat

Mirja Pahkala, insinööri
Tuotelinjapäällikkö, Ramirent Oy
mirja.pahkala@ramirent.com

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

2

Hyvää lopputulosta työmaolosuhteissa tehtävissä puhdasvaluissa pidetään yleisesti epätoennäköisenä; useat arkkitehdit pitävät arkkitehtonisten betonipintojen tekemistä Suomessa aina suurena seikkailuna, jonka lopputulos ei koskaan ole ennalta selvä. Vaikka kaikki eväät onnistumiseen ovat olemassa, emme hallitse kokonaisuutta. Kiinnostus paikallavalun käyttöön näköbetonipinnoissa on kuitenkin kasvamassa ja mm. Suomen Betoniyhdistys r.y:n ohjeen by 40 Betonirakenteiden pinnat 2003 uusintatyössä tämä tarve on jo huomioitu. Tässä artikkelissa käydään läpi tekijöitä, joilla luodaan lähtökohdat laadukkaiden, kestävien ja samalla arkkitehtonisesti hyväksyttävien valupintojen toteutukseen.

Betonipintojen laatuluokitus

Muottia vasten valetun betonipinnan luokkaa määritetään Suomen Betoniyhdistys r.y:n ohjeen by 40 Betonirakenteiden pinnat 2003 mukaisesti. Vanhan ohjeen päivittytyä aloitettiin vuonna 2001 ja se valmistui syksyllä 2002. Betonipintojen vaihtoehtoiset laatuluokat ovat

- luokka AA (vanha luokka 1)
- luokka A (vanha luokka 2)
- luokka B (vanha luokka 3)
- luokka C (vanha luokka 3b).

Näillä määritetään yksiselitteisesti ko. betonipinnan laatuluokka ja sen laatutekijöiden vaatimukset, ks. taulukko 1. Muottia vasten valetun betonipinnan laatutekijät ovat

- nystermä
- syvennys
- hammastus
- valupurse tai valuhaava
- huokoset
- valuvika
- pinnan käyryys tai aaltoilu
- väri vaihtelu.

Betonipintojen laatuluokkia kuvataan usein termeillä puhdasvalupinta, sileävalupinta tai raakavalupinta. Niillä ei kuitenkaan laatuvaatimuksia voi esittää.

Puhdasvalupinta

Käsite on yleisnimi kuvaamaan hyvälaatuista betonipintaa. Se viittaa betonipinnan laatuluokkaan A. Käsitettä ei kuitenkaan saa käyttää laatuluokan määrittelyssä. Se ei myöskään sisällä ohjeita betonipinnan toteutustavasta eikä halutusta muottipintamateriaalista. Puhuttaessa puhdasvalusta ja puhdasvalubetonista tarkoitetaan sellaista pintaa ja betonia, joka jätetään näkyviin käsittelemättömänä tai käsitellään kuultavalla, käytetyn muottipintamateriaalin valujäljen näkyväksi jättävällä pinnoitteella (maali, kuultopinnoite yms.).

Sileävalupinta

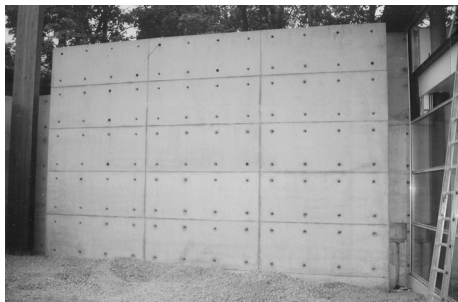
Käsite ei määritä lainkaan betonipinnan laatuluokkaa. Se viittaa haluttuun muottipintamateriaaliin (sileät vanerit). Käsitteen käyttö ei ole suositeltavaa ilman tarkempaa tapauskohtaista, halutun laatuluokan ja valujäljen määrittelyä.

Raakavalupinta

Käsitteellä voidaan havainnollistaa betonipinnan laatuluokan C sisältöä. Sitä ei saa käyttää laatuluokan määrittelyssä.

Betonipinnalle määritetty luokka asettaa omat reunaehdonsa valittavalle muottiratkaisulle ja muottipintamateriaalille. Samoin se merkitsee suunnitteluvaiheen sekä työnsuunnittelu- ja toteutusvaiheen katselmusten ja tarkistusten tarkentumista vaatimusten kasvaessa.

Pinnan luokituksessa on syytä jättää huomioimatta sellaiset laatutekijät, joilla ei ole pinnan halutun lopputuloksen kannalta merkitystä tai jotka työteknisistä syistä katsotaan mahdottomiksi saavuttaa. Vaatimusten kohdistuessa vain tiettyihin laatutekijöihin on tästä tehtävä erillinen merkintä suunnitelmiin.



Kuva 1. Laatuluokan A paikallavalettua betonipintaa.

Luokka AA

Luokkaa AA voidaan nimittää ”arkkitehtoniseksi” luokaksi. Sitä ei tule käyttää yleisesti vaan ainoastaan erikoiskohdissa tai -pinnoissa. Se edellyttää lähes aina uutta, puhdasta muottipintamateriaalia. Myös rakenteen muoto saattaa vaatia erikoismuotin valmistusta. Muottikustannuksia laskettaessa on syytä aina pyytää kohdekohtainen tarjous. Kustannuksiin vaikuttavat mm.

- rakenteen muoto; kuinka paljon muotissa voidaan käyttää vakio-osia
- muottikaluston määrä
- muotin pintamateriaalin hankintakustannus
- muotille tulevat käyttökerrat
- muotin kasaukskustannus.

Luokan AA pinnoille voidaan asettaa vaatimuksia myös tietyistä toteutustavasta, muottimateriaalista, pintakuvioinnista, muottisiteiden sijoittelusta yms. Niiden toteutukseen soveltuvat muottikalustot ovat

- paikallatehdyt kertakäyttöiset lauta- ja levy-muotit sekä
- vakiovalkeista ja uudesta muottipinnasta (vaneri tai lauta) kootut erikoismuotit.

Luokka A

Luokka A vastaa vaatimuksiltaan ns. puhtasvalupintoja. Pintojen esteettinen vaatimus ei täyty, jos käytetty muotti aiheuttaa jälkitöitä kuten piikkauksia ja paikkauksia. Muotin pintamateriaalin tulee olla ehjää ja hyvälaatuista. Muotin käyttö edellyttää aina etukäteissuunnittelua. Työsaumojen sijainti ja tekotapa tulisi huomioida jo suunnitteluvaiheessa betonipinnan osana. Valitulle muottikalustolle ja muottisuunnittelulle on syytä suorittaa suunnittelijan ja toteuttajan välinen tarkastus, jotta muotin muottipintaan jättämät muottilevyjen ja -siteiden jäljet

ovat etukäteen tiedossa ja hyväksytty. Luokan A toteutukseen soveltuvat muottikalustot ovat

- suurmuotit
 - suurkasettimuotit sekä
 - järjestelmämuotit,
- joissa kaikissa muottipintamateriaalin on oltava ehjää ja tasalaatuista.

Järjestelmä- ja suurmuotteja voidaan pinnoittaa esimerkiksi ohuella vanerilla, jäljitelmämaatoilla ja muottikankailla, jolloin hyödyntämällä muottien vahvat runkorakenteet ja harva sidontatarve on vähäisellä työmenekillä saavutettavissa korkealaatuisia betonipintoja. Voimakkaasti kuvioituissa betonipinnoissa voidaan muottipintana käyttää kumisia kuviomattoja.

Luokka B

Luokan B betonipinnat ovat yleensä seinä- ja kattopintoja, joiden ulkonäölle ei aseteta suuria vaatimuksia tai joille muuten sallitaan luokkaa B pienemmät vaatimukset. Luokan vaatimukset ovat helposti saavutettavissa, kun käytetään hyväkuntoista muottikalustoa. Muottipintamateriaali voi olla jo muutaman kerran käytettyä, mutta kuitenkin hyvin huollettua ja pinnaltaan ehjää. Luokan B toteutukseen soveltuvat muottikalustot ovat

- kasettimuotit
- suurmuotit
- järjestelmämuotit sekä
- levy- ja lautamuotit.

Esimerkkejä luokan B pinnoista:

- kellarin sisäseinät
- maan peittoon osittain jäävät rakennuksen ulkopuoliset betonipinnat.

Luokka C

Luokan C betonipinnat ovat täysin näkymättömiin jääviä pintoja, joissa luokan vaatimukset ovat helposti saavutettavissa normaalia muottikalustoa käytettäessä. Muottipintamateriaali voi olla jo useampaan kertaan käytettyä. Luokan C toteutukseen soveltuvat muottikalustot ovat vastaavat kuin luokassa B.

Pintamallit

Betonipinnan laatuvaatimuksia asetettaessa tai niistä sovittaessa voidaan näiden ohjeiden lisäksi käyttää referenssikohteen pintamallia ja tarvittaessa mallivalurakenneosaa seuraavin periaattein:

- pintamalliksi hyväksytään valmistajan aikaisemmin tekemä pinta, jonka valmistuksesta tulee olla kirjattuna vähintään betonointipöytäkirjan by 401 mukaiset tiedot

Taulukko 1. Luokitustaulukko muottia (MUO) ja kuvioitua muottia (MUK) vasten valetuille betonipinnoille /2/.

Laatutekijät		Vaatimukset		
		Luokka AA	Luokka A	Luokka B
Nystermä				
suurin korkeus	mm	2	3	6
suurin leveys	mm	3	9	20
suurin määrä	kpl/m ²	10	20	40
Syvennys				
suurin syvyys	mm	2	4	7
suurin leveys	mm	4	9	15
suurin määrä	kpl/m ²	10	20	40
Hammastus	mm	1	2	5
Valupurse tai valuhaava muotti-sauman kohdalla				
suurin korkeus tai syvyys	mm	1	2	4
suurin leveys	mm	3	3	6
suurin määrä (koskee myös korjatun sauman pituutta)	% muotti-saumojen pituudesta	10	20	30
Vaakasuurassa valettujen pintojen huokokset, Ø ≥ 5 mm				
suurin läpimitta ja syvyys	mm	7	8	10
suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	40	40	80 ³⁾
Pystysuurassa valettujen pintojen huokokset, Ø ≥ 5 mm				
suurin läpimitta ja syvyys	mm	8	10	12
suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	40	60	100 ³⁾
Vaakasuurassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)				
suurin koko	m ²	ei sallita	0,1	0,3 ³⁾
suurin määrä	kpl/100m ²	ei sallita	1	2 ³⁾
Pystysuurassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)				
suurin koko	m ²	ei sallita	0,2	0,3 ³⁾
suurin määrä	kpl/100m ²	ei sallita	3	2 ³⁾
Pinnan käyryys ja aaltoilu				
suurin mittapoikkeama	mm/1,5m	3	5	8
Väri vaihtelu ²⁾				
harmaat pinnat	valittavat luokat	2 tai 3	2 tai 3	—
valkobetonipinnat	ks. by 40 Betoni-rakenteiden	1 tai 2	2 tai 3	—
muut väribetonipinnat	2 tai 3	2 tai 3	2 tai 3	—
	pinnat 2003 (luku 10)			

2) Tarvittaessa, vaatimus merkitään V-tunnuksella ja luokan kirjaintunnuksella. Ei käytetä luokan B pinnoissa.

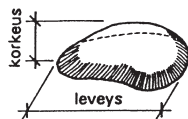
3) Näkyttömiin jääville pinnoille (esim. perustukset ja alaslaskettujen kattojen betonipinnat) sallitaan kaksinkertaiset arvot. Luokan tunnus on silloin C.

- mallivalurakenneseosan pintakatselmus tehdään ensimmäisen valukerran jälkeen ennen varsinaisen tuotannon alkua. Pintakatselmuksessa hyväksytään mallipinnat ja tarkistetaan suunnitelmat, valmistustapa, valmistuslaskusto ja laadunvalvonta sekä määrite-

tään pintojen vastaanoton säännöt. Mallipinnat valmistetaan lopullisella, käytettävällä työmenetelmällä ja muottikalustolla. Niissä kiinnitetään huomiota varsinaisten pintavaatimusten saavuttamisen lisäksi myös kulmien, nurkkien, työsaumojen yms. laadullisiin näkökohtiin.

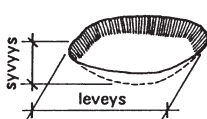
NYSTERMÄ

aiheutuu yleensä muotissa olevasta kolosta



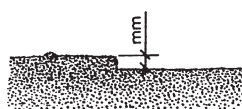
SYVENNYS

aiheutuu yleensä kohoumasta tai epäpuhtaudesta muotin pinnassa



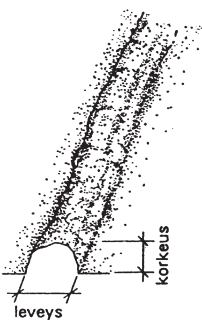
HAMMASTUS

johtuu muottilevyjen tasaoerosta



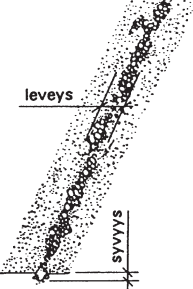
VALUPURSE

johtuu muotin saumasta pursonneesta betonista



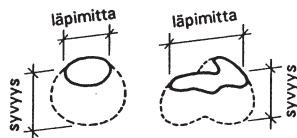
VALUHAAVA

johtuu yleensä muottisauman kohdalla erottuneesta betonista



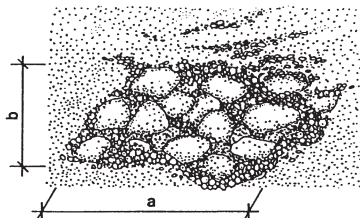
HUOKOSET

pyöreämuotoiset valuhuokokset syntyvät pinnan läheisyyteen kerääntyvistä ilma ja vesikuplista



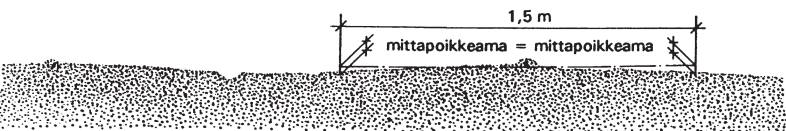
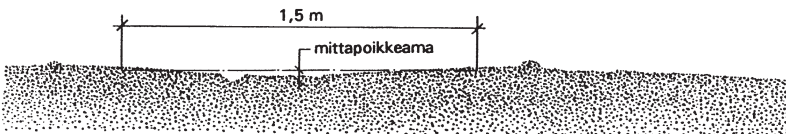
HARVAVALU TAI MUU VALUVIKA

johtuu yleensä erottumisesta, liian pienestä hienoainesmäärästä tai puutteellisesta tärytyksestä

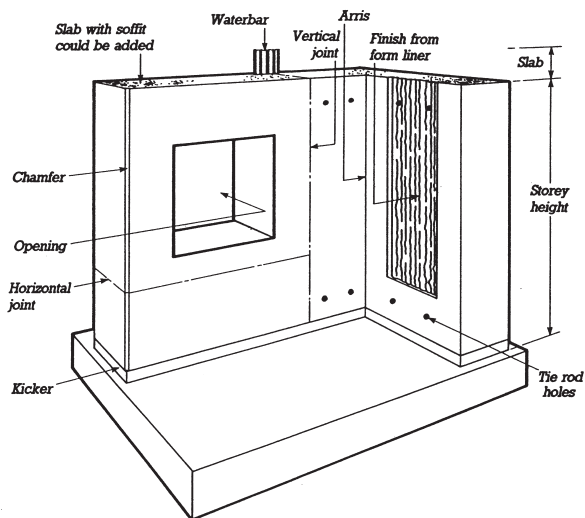


PINNAN KÄYRYYS JA AALTOILU

johtuu muottipinnan tasapoikkeamasta (mittapoikkeamaan ei lasketa nystermiä, syvennyksiä eikä huokosia)



Kuva 2. Muottia vasten valettujen betonipintojen laatutekijöitä.



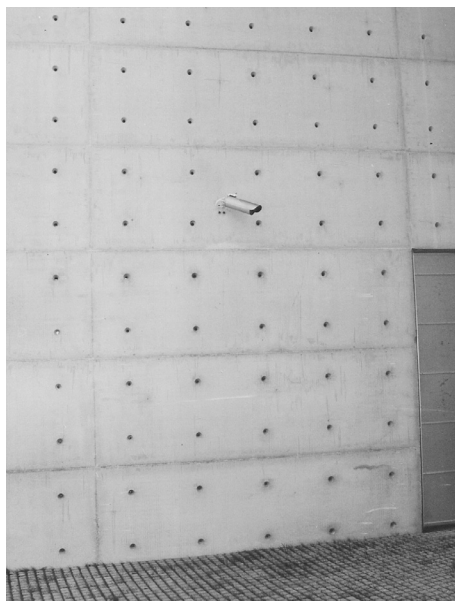
Kuva 3. Englantilaisen muottityöohjeen /3/ mukainen mallivalun rakenne-
osamalli, jossa tarkastellaan betonipinnan laatuun vaikuttavia tekijöitä.

Muottijärjestelmät ja muottipintamateriaalit

Hyvän paikallavaletun betonipinnan aikaansaamiseen vaikuttaa ratkaisevasti muottijärjestelmän ja muotin pintamateriaalin valinta. Paikallavalettujen rakenteiden pintoihin vaikuttavat muotin pintamateriaalin lisäksi valittu muottijärjestelmä, muottisiteiden jäljet, muottilevyjen saumat sekä työsaumat.

Keskeistä vertailuja ja valintoja tehtäessä on ymmärrettävä eri kalustojen ja pintamateriaalivaihtoehtojen mahdollistama betonipinnan arkkitehtuuri eli

- minkä kokoisia muottilevyjä tai millaista muottipintaa kussakin muottijärjestelmässä voi käyttää
- minkälainen on eri kalustoilla syntyvä muottiyksiköiden tai muottilevyjen välinen sauma
- kuinka tiheä on muottipaineet vastaanottavien muottisiteiden jako
- minkälainen jälki muottisiteistä betonipintaan syntyy
- ja toisaalta, millaista muottijärjestelmää on käytettävä, kun halutaan käyttää tiettyä muottilevykokoa ja -tyyppiä sekä muottisidejakoa.



Kuva 4. Muottiratkaisusta syntyvään betonipinnan arkkitehtuuriin vaikuttavat näkyvimmin muottilevy- tai kasettikoko sekä muottijärjestelmän sidonta (muottisiteiden jako).

Lämmitettävät suurmuotit

Muottipituuksia on esimerkiksi 1,2 metrin kerrannaisina (2,4–3,6–4,8–6,0–7,2 m). Muottien korotus on mahdollista toteuttaa kasettimuotteilla. Suurmuotteille on ominaista:

- soveltuvat selkeisiin rakenteisiin, kun käyttökertoja on paljon
- nopea muottikierto
- työvoimatarve vähäinen
- käyttövalmis nopeasti, esivalmistelu hyvin vähäinen
- siirtoihin tarvitaan nosturia
- jälkityötarve riippuu muottipinnan kunnosta ja työmaa-aikaisesta huollosta.

Kun suurmuoteissa käytetään korkealaatuista muottivaneria, joka lisäksi huolletaan valujen välillä huolellisesti, saadaan aikaan hyvästäoisista betoniseinää suurina pintoina ja samalla muottipinnalle suuri käyttöikä. Suurmuotin vaneri voi olla joko muotin kokoinen suurlevy tai tehty tiiviillä saumoilla liitetyistä vakio kokoisista vanereista. Sidepulttijako ja -jälki on harva ja säännöllinen.

Järjestelmämuotit kootaan määrämittäisistä kasteista vakiokiinnikkeillä siten, että saadaan kohteeseen sopiva, helposti muunneltava muottika-

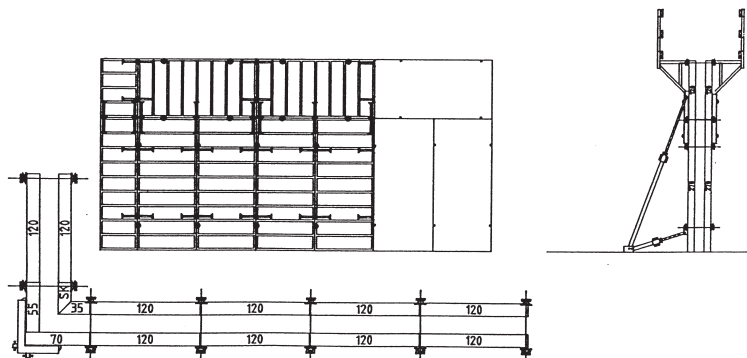
Järjestelmämuuteille on ominaista:

- laaja kasettivalikoima
- vähän erilaisia liitososia, jolloin muutostyöt
jo kasattuihin muotteihin helppoja
- kulmien teko sisäkulmilla, normaalikaseteilla
ja kulmaliiittimillä
- ensikasaus työvoimavaltaisain
- nosturitarve niin kasauksessa kuin asennus-
ja purkutöissä.

Järjestelmämuutinin käyttö vaatii huolellista ennakkosuunnittelua. Jos kohteessa on erityisiä arkkitehtonisia pintavaatimuksia, muuttisuunnittelussa on huomioitava kasettijäon ja muuttisiteiden betonipintaan jättämä jälki. Betonipinnan laatuun vaikuttaa muuttipinnan kunto ja työmaa-aikainen huolto sekä muuttirungon puhtaus (saumojen tiiveys).

Kevyet, käsin liikuteltavat kasetit ovat alumiini- tai teräsrunkoisia sekä vaneripintaisia. Muutit soveltuvat pieniin kohteisiin ja pienimuotoisiin valuihin. Koska kevyet kasetit ovat pienikokoisia, kasettijako on tiheä ja kasettikuvio betonipinnassa korostuu hallitsevana. Kevyitä kasetteja käytetäänkin yleensä kohteissa, joissa pintavaatimukset eivät ole tiukat. Muutitsidejako on tiheä ja muutit vaativat käytännössä lähes aina lisäjäykistystä ja oikaisua.

Sidejärjestelmämuutot ovat kevyiden kasettimuuttien kaltaisia ja soveltuvat vastaaviin kohteisiin. Kevyissä kasettimuuteissa ja sidejärjestelmämuuteissa on yleensä valuu jäävät muut-



Kuva 5. Järjestelmämuotti.

tisiteet, jotka katkaistaan 15 mm:n syvyydeltä betonipinnasta. Jälki paikataan.

Vakiopalkkimuotti

Vakiopalkkimuotti on vakio-osista koottu kohdekohtainen muotti. Vaakajäykisteinä toimivat teräspalkit ja pystyjäykisteinä niihin kiinnitettävät ristikkopuu-, kompakti- tai vaneriumapalkit. Pintamateriaalina vakiopalkkimuoteissa käytetään vaneria tai lautaa betonipintavaatimusten mukaan. Muottisiteet voidaan järjestää haluttuun jakoon.

Vakiopalkkimuotti soveltuu arkkitehtonisesti vaativiin kohteisiin niin muodon kuin pintavaatimustenkin suhteen. Se voi olla sekä suurten pintojen että pienten ja monimuotoisten rakenteiden muotti. Muotin ensikasaukseen vaaditaan ennakkosuunnitelmat ja ammattitaitoinen työkunta. Muottikustannus on voimakkaasti riippuvainen käyttökertamääristä.

Vakiopalkkimuotin tyypillisiä käyttökohteita ovat:

- hissi- ja porraskuilumuotti yhdistettynä kiipeäviin konsoleihin
- siltpilari- tai pylonimuotti yhdistettynä kiipeäviin konsoleihin
- kaarevien seinien muotti
- erikoispilarimuotti.

Pilarimuotit

Pyöreitä pilarimuotteja valmistetaan teräksestä, lujitemuovista, sahatavarasta sekä kertakäyttömuoteiksi pahvista. Suorakaidepilareiden muotit tehdään teräs- tai alumiinirunkoisista kaseteista, lautasivuista tai muottilevyistä sidottuna lauta- tai teräsoljilla. Muottisiteitä käytetään vain suurissa pilareissa.

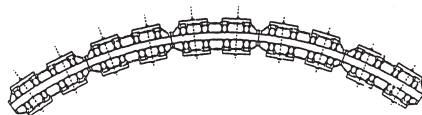
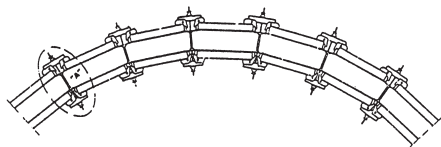
Pilarin kasettimuotin pintana on joko kasetin oma vaneri tai oma vaneri pinnoitettuna halutulla materiaalilla, jolloin myös kuviopinnat ovat mahdollisia. Erikoiset pilarit voidaan muotittaa säädettävällä kasettimuottikalustolla. Säädettävä kasetti jättää betonipintaan jäljen säätörei'ityksestä. Erikoispilarikasettien pinta kiinni-

tetään kasetteihin aina työmaalla pilarikoon ja betonipinnan laatuvaatimuksen mukaisena.

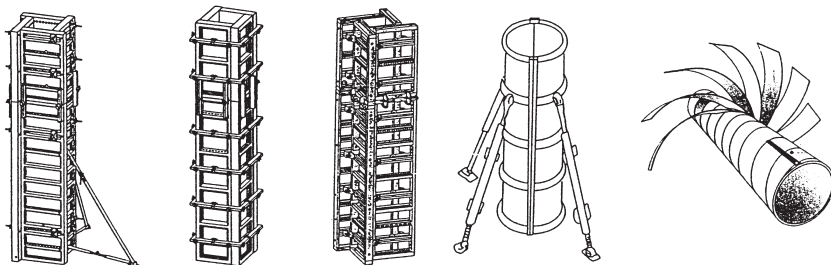
Kertakäyttöiset pahviset, polyeteenikalvolla pinnoitetut pyöreät ja neliskulmaiset muotit täyttävät korkeatkin laatuvaatimukset. Neliskulmaisissa muoteissa on valmiina hyvän valujäljen takaava nurkkaviiste. Eräissä tuotteisiin voidaan muotoilla valmiiksi erilaisia pinnan muotoja. Kertakäyttömuottien etuna on tyypillisesti vapaa mittamaailma.

Kaarevien seinien muotit

Kaarevat pinnat on muottiteknisesti edullista toteuttaa murtoviivana. Muotiksi soveltuvat useat eri järjestelmämuottien vaihtoehdot. Kasettileveys valitaan siten, että poikkeama pyöreästä on mahdollisimman pieni. Kasettien välissä on järjestelmästä riippuen joko teräksinen kaariadapteri tai puusovite. Murtoviivamuotista jää kasetin levyinen murtokuvio ja soviteen jälki pintaan.



Kuva 7. Kaarevien pintojen muotteja. Suunnitteluvaiheessa on päätettävä voiko pinnat toteuttaa murtoviivana.



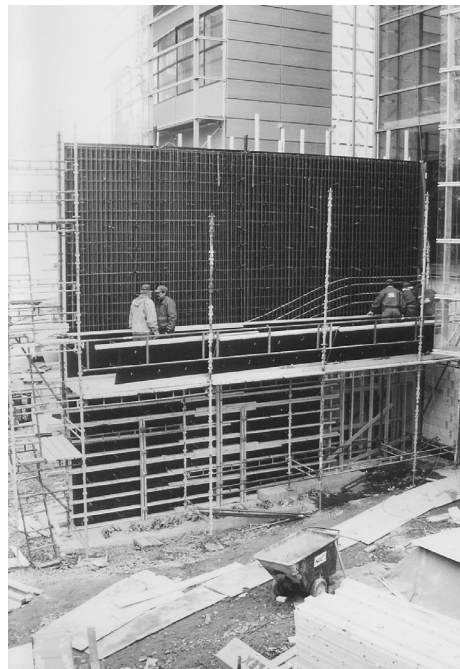
Kuva 6. Erilaisia pilarimuotteja.

Täysin pyöreät muotit voivat olla kohdekohtaisia vakiopalkkimuotteja, kohdetta varten valmistettuja teräsmuotteja tai säätövanteilla varustettuja vakiopalkkimuotteja. Teräsmuoteissa myös pinta on teräslevy. Vakiopalkkimuotin pintamateriaali valitaan kohteen laatuvaatimusten mukaan, jolloin vaativienkin betonipintojen toteuttaminen on mahdollista. Sekä teräs- että vakiopalkkimuotien muottikustannus on voimakkaasti riippuvainen käyttökerroista.

Säätövanteilla varustetuissa vakiopalkkimuotteissa pintamateriaali on taipuvaa vaneria. Näitä muotteja on tyypillisesti vain vähän tarjolla korkean hankintahinnan ja suurten huoltokustannusten takia. Myös vaihteleva muottikorkeus tarve aiheuttaa valmismuotille käyttörajoituksia.

Paikallatehdyt lauta- ja levymuotit

Lauta- ja levymuotit ovat yleensä kertakäyttöisiä, irrallisesta sahatavaraa ja muottilevyistä valmistettuja muotteja. Tukirakenteena käytetään puuta tai terästä ja muottipintana lautta tai vaneria. Muottisiteet ovat yleensä pyöreitä teräs- tai alumiinitankoja.



Kuva 8. Kertavalmuun tarkoitetun paikallatehdyn muotin rakentamista. Valutulos on nähtävissä kuvissa 4 ja 17.

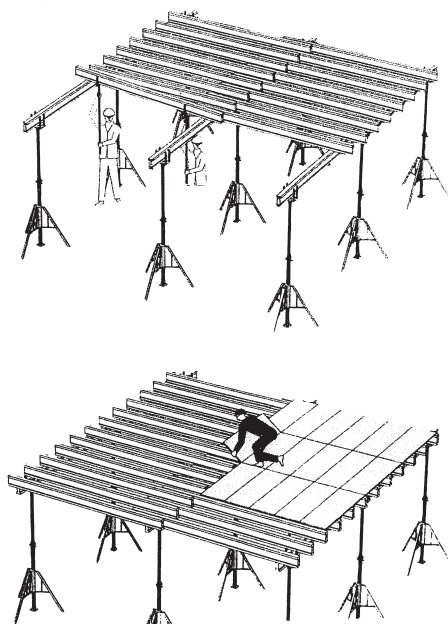
Muotille on tunnusomaista se, että tarvikkeita työstetään pystytyksen aikana ja muotti puretaan irrottamalla rakennustarvikkeet yksin kappalein. Näin ollen muottitavaran rikkoutuminen ja hukka muodostuvat suureksi. Muottilaudoitusta vaatii hyvää kirvesmiestaitoa ja muotittajien on hidasta.

Lauta- ja levymuotit soveltuvat erityisesti kohteisiin, joissa ei ole toistuvuutta. Myös arkkitehtoninen muoto tai erityiset pintavaatimukset voivat edellyttää kappaletavaraalaudoitusta.

Vaakarakenteiden muottikalustot

Vakiopalkit ja muottilevyt

Vakiopalkkimuotti muistuttaa menetelmänä perinteistä holvilaudoitusta, mutta muottiosien suuri kapasiteetti ja lisäosien käytännöllisyys tekevät menetelmästä joustavan ja monipuolisen holvimuottijärjestelmän. Järjestelmässä tuentana ovat teräs- tai alumiinituet, primääri- ja sekundäärikannatinpalkit sekä muottipintana muottivanerit tai 3-kerrospuulevyt. Kannatinpalkit ovat ristikko- tai vaneriumaisia puupalkkeja. Järjestelmä on monimuotoisten holvien joustava.



Kuva 9. Vakiopalkkeista ja muottilevyistä koostuva vaakarakenteiden muottijärjestelmä.

va ja muunneltava muottiratkaistu. Järjestelmään kuuluvat tukijalat ja pudotushaarukat helpottavat ja nopeuttavat asennus- ja purkutyötä. Muottipinta valitaan kohteen laatuvaatimusten mukaan.

Puupalkkijärjestelmään kuuluu lisävarustuksena palkkituet, joilla normaalikokoisten betonipalkkien laudoitus ja erityisesti purku käy nopeasti ja materiaalia säästävästi.

Laattojen kasettijärjestelmät

Kasettimuottitekniikka soveltuu mataliin tuentoihin tasavahvoille laatoille, joissa toistuvuutta on vähän tai pohjamuoto vaihtelee. Käsin asennettavat alumiinirunkoiset kasetit ovat hyvä valinta työmailla, joissa nostokalustoa on käytössä rajoitetusti.

Alhaaltapäin tuentatasoltaan koottava järjestelmä on työmenekiltään pieni ja siten ihanteellinen monitoimityökunnille. Muottikierto on nopea. Kaseteissa on valmiina vanerinen muottipinta. Jälkityötarve on muottikaluston kunnosta ja työmaa-aikaisesta huollosta riippuvainen.

Kupumuotti

Kupumuotti on lujitemuovista valmistettu kupimainen muotti, jota käytetään kevennetyn laatan muottittamiseen. Kupumuotin alusrakenteena käytetään sahapuutavaraa tai vakiopalkkeja sekä tuentana tukitorneja tai terästukituuntaa.

Kupumuoteilla saadaan aikaan arkkitehtonisesti korkealaatuista betonipintaa. Huomiota on kuitenkin kiinnitettävä muottien kuntoon.

Pöytämuotit

Pöytämuotilla voidaan toteuttaa hyvinkin nopea laattarakenteen muottikierto. Pöytämuotti koostuu yleensä kohdekohtaisena ja se muodostuu pöytämuottijaloista sekä niska- ja koolauspalkkeista, jotka voivat olla vakiopuu-, alumiini- tai teräspalkkeja. Pintamateriaali valitaan kohteen laatuvaatimusten ja käyttökertojen mukaan. Muottilevyjako määräytyy halutun valukuvion mukaan.

Pöytämuotin käyttö edellyttää useita toistuvia käyttökertoja ensikäsituksen suhteellisen suuresta työmäärästä johtuen. Edullisimmillaan pöytämuotti on suurten pintojen muottina, jonka jälkityötarve on vähäinen. Se voidaan koota halutun muotoiseksi. Käyttö vaatii huolella tehdyt muotti- ja muotinkiertosuunnitelmat. Siirrot si- tovat nostokapasiteettia muotin suuren painon takia.

Muottien pintamateriaalit

Laadukkaan betonipinnan aikaansaamiseen vaikuttaa ratkaisevasti muotin pintamateriaalin valinta. Soveltuvia muottipintavaihtoehtoja tulee tarkastella asetettuja betonipinnan laatuvaatimuksia silmälläpitäen.

Betonipinnan ulkonäköön vaikuttaa huokitus- taulukon MUO laatutekijöiden lisäksi pinnan mikrotason sileys. Kun halutaan erittäin sileitä, samettimaisia pintoja, on myös määriteltävä muottimateriaali ja muotin pinnan laatu sekä käytettävä pintamalleja. Muottilevyjen käsittelemättömiä saumakohtia on vältettävä, sillä ne näkyvät aina betonin pinnassa. Käytetään joko riittävän suuria levyjä, rimaa tai tasoituskäsittel- yä, josta tehdään malli.

Muotin pintamateriaali vaikuttaa betonin pintakerroksen huokosten määrään. Kun muotin imukyky kasvaa, pintakerros tiivistyy ja huokosten määrä pienenee. Esimerkiksi teräspintaista muottia vasten valettu betonipinta voi olla sileä, mutta ohuen pintakerroksen alla voi olla runsaasti huokosia.

Puulevyt

Erilaiset puulevyt, näistä käytetyimpänä vanerit, ovat yleisin muottipintamateriaali. Betonipinnan sileyden ja muotin käyttökertojen lisäämiseksi ne useimmiten pinnoitetaan. Puupohjaisia muottilevyjä käytetään niin eri muottijärjestelmissä kuin myös pienissä, paikalla kappaleta- varasta rakennettavissa muoteissa.

Käyttökertojen lukumäärä riippuu käytön huolellisuudesta ja pinnalle asetettavista vaatimuksista. Puupohjaisten muottilevyjen pinta on herkkä kolhuille sekä erilaisille kiinnityksille ja varauksille. Pinnoittamattoman ja öljyämätön puu imee betonista niin runsaasti vettä, että se- mentin hydratoituminenkin saattaa betonipin- nassa pysähtyä. Tästä on seurauksena pölyävä, irtoileva pintakerros.

Lastulevyä käytetään jonkin verran muotti- materiaalina. Käsittelemätön lastulevy pienentää huokoisuutensa ansiosta betonipinnan huokosia. Pinnan sileys ja uudelleen käytettävyy- sön kuitenkin muita levytuotteita selvästi huom- pmpi. Lastulevyn liiman on oltava kosteuden- kestävä.

Levyjen jatkoskohdat jäävät kaikissa levy- muoteissa näkyviin. Jos saumakohta ei ole ark- kitehtonisesti hyväksyttävä, se voidaan häivyttää käyttämällä rimaa tai muuta pinnan kat- kaisutapaa.

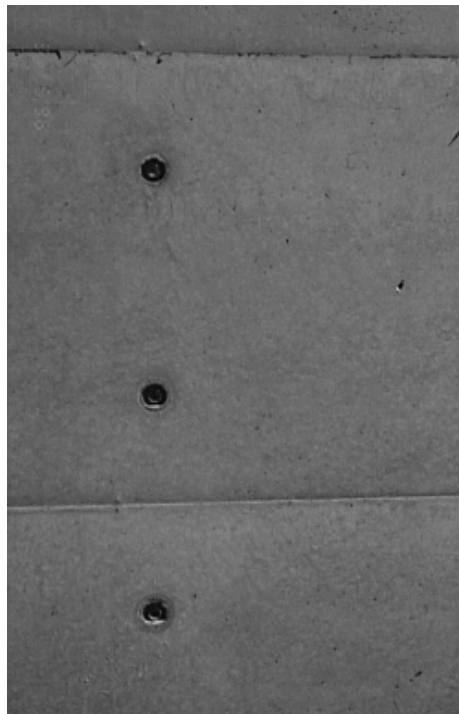
Suomalaisten muottivanerien ominaisuuksia

Pinnoittamattomalla vanerilla valettaessa on aina käytettävä muotinirrotusainetta. Vaneri imee betonimassasta vettä ja ilmaa vähentäen näin huokosten syntymistä. Kuitenkin esimer- kiksi kuiva koivuvaneri ilman muotinirro- tusainekäsittelyä saattaa imeä vettä haitallisen paljon, jolloin betonipinta ei kovetu ja jää pöly- äväksi. Pinnoittamattoman vanerin puhdistus on vaikeaa ja vaikeutuu edelleen valukertojen li- sääntyessä.

Filmpintaisella uudella vanerilla voidaan ta- vallisesti valaa 1–2 kertaa käyttämättä mitään ir-

Taulukko 2. Muottivanerien keskimääräiset käyttökerrat ja valutulos. Ns. puhdasvalupintoja toteutettaessa käyttökertamäärät ovat kuitenkin selvästi pienemmät; usein muottipinnalle sallitaan vain yksi valukerta.

Muottivanerityyppi	Valutulos	Käyttökerrat
Pinnoittamattomat		
koivupintaiset (esim. Wisa-Twin, Wisa-Koivu)	erittäin hyvä, huokoseton	hyvä tulos 1–2 kertaa/puoli tydyttävä tulos 2–3 kertaa/puoli
kuusipintaiset (esim. Wisa-Kuusi)	tydyttävä, viulun syykuvio näkyy betonissa ja oksien pihka saattaa värjätä betonia	2–3 kertaa/puoli
Pinnoitetut		
kuusivaneri, filmipintainen	tydyttävä, viulun syykuvio saattaa näkyä betonissa, betonipinnassa pieniä huokosia	10 valukertaa
sekavaneri, filmipintainen (esim. Wisa-Form Twin, Mirror ja Combi)	hyvä, sileä pinta, jossa pieniä huokosia	15–40 valukertaa laadusta riippuen (Twin→Combi)
koivuvaneri, filmipintainen (esim. Wisa-Form Koivu, Wisa-Form Super)	hyvä, sileä pinta, jossa pieniä huokosia	60–100 valukertaa laadusta riippuen (Koivu→Super)
viirapintainen filmivaneri (esim. Wisa-Form Wire)	hyvä, karkea mattapinta, josta ei erota pientä huokoisuutta	10–20 valukertaa



Kuva 10. Filmipintaista muottivaneria vasten valettua betonipintaa.

rotusainetta, mutta tämä lyhentää pinnoitteen kestoikää. Vanerien lujuus kasvaa kuusivanerista (heikoin) koivuvaneriin (kestävin). Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat yleensä erilaiset vanerin eri suunnissa ja niissä on rakenteesta johtuen huomattaviakin eroja. Muottivanerien ominaisuuksista saa lisätietoa valmistajilta. Taulukossa 2 esimerkkeinä käytettyjen muottivanerien rakenne on seuraava:

Kuusi: kaikki viilut yleensä kuusta
 Twin: pinnat koivua, sisus kuusta
 Combi
 Mirror: pinnat koivua, sitten vuorotellen ohut kuusi- ja koivuviilu
 Combi: pinnassa kaksi koivuviilua, sitten vuorotellen ohut kuusi- ja koivuviilu
 Koivu: kaikki viilut ohuita koivuviiluja
 Super: vaneri koivuvaneria, pinnoitteena paksu pinnoite 400 g/m².

Sahatavara

Sahatavara on betonin perinteinen muottimateriaali. Betonipinta saa ulkonäkönsä sahaustekniikan (kehä-, pyörö- ja vannesaha) ja sahattavan puulajin perusteella. Edellisiä sileämpi pinta saadaan eri tavoin sileäksi tai muotoon höylätyistä sekä hiekkapuhalletusta sahataravasta. Vaatimuksista riippuen betonia vasten tulee joko saha- tai höyläpinta. Oksakohdat imevät betonista vettä enemmän kuin niitä ympäröivä puu aiheuttaen betonipintaan tummia kohtia.

Lautamuotit on aina kasteltava hyvin. Kastele tiivistää muotin ja vähentää samalla betonin tarttumista. Lautojen vedenimukyky vaihtelee,

jolloin huolellisesta kastelusta huolimatta betonipinnassa esiintyy tummuusvaihteluita. Käytännössä muotiniirrotusainetta kastelun lisänä voidaan tätä ilmiötä vähentää. Pontattujen lautojen käytöllä voidaan oleellisesti vähentää jälkitoita lisäävien betonipurseiden esiintymistä.

Sahatavaraa käytetään myös tasaiselle muotipinnalle kiinnitettynä rimoina ja lautoina betonipinnan elävöittämiseksi. Edellämainitut puun muottimateriaaliominaisuudet sekä kosteuskäyttäytyminen on muistettava detaljien suunnittelussa (riittävät päästöt), jotta muotiniirrotus on mahdollista ilman turhan vaurioriskiä.

Lujitemuovi

Eri lujitemuovien käyttö muottimateriaalina on yleistä pilarimuoteissa sekä eräissä erikoismuoteissa (esimerkiksi kupumuotit). Erittäin tiivispiintaisina ne vaativat etenkin pystyvaluisu-
sa matalat valukerrokset ja huolellisen betonin tiivistyksen, jotta muottipintaan kertyvät ilma-
huokokset saadaan poistettua.

Teräs

Teräsmuoteilla saadaan suuria, yhtenäisiä sileitä betonipintoja. Niitä on vaikea muunnella, joten ne sopivat parhaiten toistuvien rakenteiden valmistamiseen. Teräsmuottien käyttökertamäärä on suuri, mutta nekin vaativat hyvää huoltoa. Tyypillisiä teräsmuottipinnan vaurioita ovat ruoste ja erilaiset käsittelyvauriot kuten hionta-
virheet, kolot, painaumata ja hitsausjäljet.

Erityisesti pystysuoraa teräsmuottia vasten valettaessa betonin muottiin siirrossa on käytettävä valusukkaa, huolellista tiivistystä ja ohuita valukerroksia, koska tiivis muotti muutoin lisää huokosten määrää. Teräsmuotissa on aina käytettävä muotiniirrotusainetta.

Muottikankaat

Muottikangasta muottipinnalla käyttämällä saadaan aikaan valuhuokosettomia betonipintoja. Kankaassa on huokosverkosto, joka betonin tärytettäessä johtaa pintakerroksesta pois ilmaa ja jonkin verran vettä. Huokosettomuuden lisäksi muottikangas parantaa myös pinnan tiiveyttä ja säilyvyysominaisuuksia.

Muottikangas jättää betonipintaan kangasmaisen kuvion ja saattaa aiheuttaa kirjavuutta, joten sillä aikaansaatua pinta ei vastaa sileillä levymuoteilla tehtyä. Muottikankaan käyttö vaatii aina ennakkokokeita, joilla selvitetään ratkaisun toimivuus käytännössä. Ominaisuuksien säilyttämiseksi kangas pestään valujen välillä. Ominaisuudet katoavat käytännössä kuitenkin jo muutaman käyttökerran jälkeen, parhaaseen tulokseen pyritäessä jo ensimmäisen käyttökerran jälkeen. Muottikankaat ovat vaurioherkkiä, joten niitä on käsiteltävä erityisellä varovaisuudella.

Muottikankaiden kiristäminen ja kiinnittäminen muotin pintaan vaatii huolellisuutta, sillä kangas jää helposti poimuille ja aiheuttaa tällöin ei-toivottuja jälkiä betonipintaan. Kankaan kiinnittäminen isoille pinnoille on erityisen ongelmallista ja vaatii kokemusta. Isojen pintojen muotituksessa joudutaan muottipultituksen takia tekemään myös kankaaseen reikiä, joihin syntyy aina vuotokohtia.

Kumi ja elastiset materiaalit

Kun betonin pintaan halutaan pienillä päästöku-
lilla toteutettuna voimakas kuvio, on useimmiten käytettävä muotin uloimpana, betonia vasten tulevana pintana kumia. Muotiniirrotusaineen vahingoittamatta ei näet muita materiaaleja käyttäen ole useinkaan mahdollista. Kumi soveltuu pienille, usein toistuville pinnoille. Isoissa yksittäiselementeissä se on kallis.

Erityisesti elastisia polyuretaanimuotteja käytettäessä on varmistettava, että muotiniirrotusaine soveltuu sekä betonille että muottimateriaalille.

Muotiniirrotusaineet ja muottipintojen huolto

Muotiniirrotusaineen käytöllä estetään sekä betonipinnan että muottimateriaalin vaurioituminen muotiniirrotuksen yhteydessä. Sopivalla muottimateriaalin ja muotiniirrotusaineen yhdistelmällä pystytään vähentämään betonipinnan huokoisuutta. Muotiniirrotusaineet tiivistävät muottimateriaaleja ja estävät veden imeytymistä betonista muottiin, jolloin betonipinnasta tulee vaaleampi.

Kun toteutetaan korkeat laatuvaatimukset omaavia betonirakenteita, on muotiniirrotusaineen ja muottimateriaalin yhteensopivuus varmistettava esikokein.

Käyttö

Tavoiteltaessa mahdollisimman tasaväristä ja huokosetonta betonipintaa tulee muotiniirrotusaineiden käytössä huomioida seuraavat tekijät:

- pysty- ja vaakarakenteiden muotiniirrotusainekäsittelyssä on omat riskitekijänsä: pystypinnoilla ainevalumat ja -kertymät esimerkiksi vauriusten kohtiin, vaakapinnoilla ainekertymät muottipinnan epätasaisuuksiin ja koloihin
- muotiniirrotusaineen onnistunut levitys ruiskuttamalla vaatii kunnollisen paineruiskun, puhdistetun suuttimen ja oikean ruiskutustekniikan (ei liian läheltä)
- muotiniirrotusaineen tulee peittää koko muottipinta, muutoin vaarana on
 - betonin osittainen tarttuminen ja vaurioituminen
 - epätasainen betonipinnan väri

- muotininirrotusaine tulee levittää ohuena ja tasaisena kerroksena muottipinnalle
 - liiallinen määrä aiheuttaa pienihuokaisen, usein ruskehtavaksi värjäytyneen betonipinnan
 - ainekasautuma voi johtaa jopa kiviaineksen irtoamiseen betonipinnasta
 - vaara on suurin ruiskutettaessa ainetta vaakapinnoille
- muotininirrotusainetta ei saa ruiskuttaa muottipinnalle raudoituksen läpi
- muotininirrotusainetta ei saa joutua valmiiseen betonipintaan
- muottipinta on käsiteltävä aina ennen uutta valukertaa
- joitakin muottimateriaaleja kuten kumia, muovia ja kasteltua lautaa voidaan käyttää ilman muotininirrotusainetta; etenkin kumipintaa käytettäessä on kuitenkin noudatettava tuotteen valmistajan antamia ohjeita.

Muottipintojen huolto

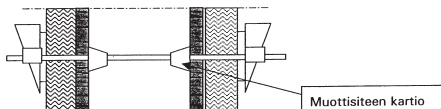
Parhaimmankaan muottimateriaalin pinta ei säily laadukkaana ilman huoltoa. Muottipinnan huolto maksaa aina jonkin verran, mutta vain pienen osan siitä, mitä betonipinnan korjaaminen ja muottipinnan uusiminen.

Muottipinnat on puhdistettava jokaisen valukerran jälkeen. Painevedellä ja harjaamalla tehty pinnan pesu auttaa vain välittömästi muotinpurun jälkeen tehtynä. Kun puhdistus tehdään harjakoneilla tai petkeleillä, muottipinnan rikkoutumista on varottava.

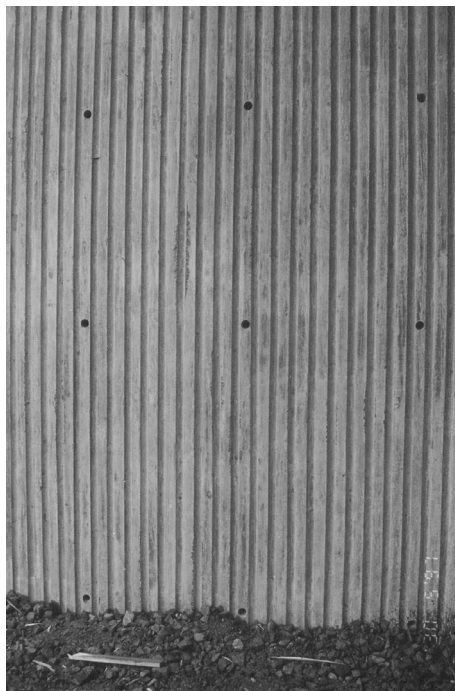
Myös muotin runko on puhdistettava betonista, jotta muottisaumat saadaan tiiviiksi ja tasaisiksi. Likaisesta muottirungosta aiheutuu usein valupurseita ja hammastuksia betonipintaan. Muotin runkorakenteiden ja etenkin niiden reunalueiden huolellinen öljyminen helpottaa muotin käsittelyä ja uudelleenkokoaamista sekä osien yhteensopivuutta ja tiiveyttä.

Muottisiteet

Muottipinnan ja valettavan rakenteen lävistäviä muottisiteitä joudutaan käyttämään valupaineen takia. Muottiside voi lävistää valettavan rakenteen välikeputken (valuholkki) sisällä, jolloin se on poistettavissa muotin purun yhteydessä. Valuun kiinni jäävien muottisiteiden tulee olla katkaistavissa vähintään 15 mm:n etäisyydeltä betonipinnasta, jolloin ne voidaan suojata laastilla korroosiolta ympäristöolosuhteiden niin vaatiessa. Jos katkaistut päät jäävät koviin ulko-olosuhteisiin, katkaisu tulisi tehdä syvemältä ja paikkaus erityisen huolellisesti, olosuhteisiin soveltuvin menetelmin. Jälkipaikkaus jää pääsääntöisesti näkyviin pinnan poikkeavuutena. Koska muottisiteiden käyttö on muottitekni-
sistä syistä lähes aina välttämätöntä, niiden ra-



Kuva 11. Periaatekuva muottisiteen rakenteesta.



Kuva 12. Muottisidereikiä betonipinnassa. Kartiomainen ja siisti jälki on saatu aikaan käyttämällä muovikartiota siteen suojaputken päissä.

kenteeseen jättämiä reikiä tulisi hyödyntää betonipinnan arkkitehtuurissa.

Käyttämällä kartiomaista laajennusosaa muottisidereiden ulostulokohdassa saadaan aikaan siisti pintakokonaisuus. Kartion pohja voidaan tasata laastilla tai saumamassalla, kun reikä on tukittu esimerkiksi styroxilla.

Muottisidereiden paikat voidaan arkkitehtonisista syistä johtuen merkitä piirustuksiin, jolloin ne sijoitetaan sopivassa suhteessa muottilevyihin ja -saumoihin. Elleivät muottisiteet itsessään muodosta haluttua symmetriaa tai kuviointia, muottipintaan voidaan kiinnittää em. kartioita muodostamaan muottisidejälki. Tavallimpia muottisiteitä ovat:

Lauta- ja levymuotin siteet

- 10 mm:n pyöröteräs ja muottilukot
- valmistetaan oikealle seinäpaksuudelle
- katkaistaan muotinpurun jälkeen 15 tai 30 mm:n syvyydeltä

tai

- 10 mm:n alumiinitanko ja muottilukot
- katkaistaan seinäpinnasta

Kevytkaasettimuotin siteet

- valuun jäävät lattasiteet
- katkaistaan muotinpurun jälkeen 15 mm:n syvyydeltä

Suurmuotin, järjestelmämuottien ja vakiopalkkimuottien siteet

- harvakierretanko ja mutterit
- tanko suojataan muovi- tai kuitubetoniputkella, jonka päissä voidaan käyttää muovikartiota
- erilaisia kartiomalleja ja -syvyyksiä, esimerkiksi 10, 15, 30 ja 35 mm
- valun jälkeen tanko ja muovikartio poistetaan
- kartion pohja paikataan laastilla tai liimataan kuitubetonituke
- myös kartion kolo voidaan paikata.

Työsaumat sekä rakenteen kulmat ja nurkat

Työsaumojen syntyy betonirakenteeseen kerralla toteutettavien valuosien välille sekä vaaka- että pystysuunnassa valun keskeytyessä ja betonin kovettuessa. Työsaumat jäävät käytännön toteutuksessa aina näkyviin valmiissa betonipinnassa. Niitä onkin jo suunnitteluvaiheessa käsiteltävä pintaan kuuluvana osina.

Suunnittelussa tulee huomioida rakentajien käytännön toiveet valuosien koosta. Suunnittelijoiden ja urakoitsijan mahdollisimman aikainen yhteistyö työsaumojen sijoittelussa yksityiskohtien suunnittelussa onkin toivottavaa. Kuten muissakin tapauksissa esteettiset vaatimukset tulee sovittaa yhteen tuotantoteknisten tekijöiden kanssa arkkitehtonisesti hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi.

Jos yhteistyö valualueiden laajuuden suunnittelussa ei ole etukäteen mahdollista, suunnittelijan pitäisi suunnitella mieluummin tiheämpi kuin hyvin harva työsaumajako.

Työsaumalistat

Valun keskeytyessä ja taas jatkuessa syntyy kovettuneeseen betoniin valusaumakohta. Sen epätasaisuutta voidaan peittää saumalistalla. Betonipinnan arkkitehtuurin kannalta saumalistalla korostetaan pinnan jakoa osiin. Valesaumoilla (listalla tehty sauma, jonka takana ei ole työsaumaa) voidaan tihentää em. jakoa. Profiililtaan työsaumalistojen tulisi olla sellaisia, että muotin ja saumalistan purku onnistuu ilman betonipinnan vaurioitumisriskiä.

Listojen käyttö ulkonurkissa ja liikunta- saumoissa

Rakenteen ulkonurkkien ja liikuntasaumojen vaurioitumisriskiä voidaan pienentää pyöröstämällä ne muotin sisänurkkiin asennettavilla kolmiorimoilla, jotka samalla parantavat nurkan tiiveyttä. Kun nurkkien pyöröstäminen ei arkkitehtonisista syistä ole suotavaa, lisätiivistys betonin sementtiliiman ulospursumiseksi on tehtävä esimerkiksi silikonilla.



Kuva 13. Käyttämällä muotin kulmia tiivistäviä listoja välitetään harvavalu ja saadaan aikaan siisti valujälki.

Raudoitus sekä varaukset ja kiinnitykset

Pinnaltaan puhtaaksi valetun rakenteen raudoitussuunnittelun lähtökohtana on oltava valettavuuden varmistaminen työmaaolosuhteissa. Raudoitukselliset yksityiskohtat on suunniteltava siten, että betonilla on erottumatta mahdollisuus täyttää muotti kaikilta osiltaan ja käytettävällä tiivistysmenetelmällä on sen vaatima tila. Onnistunut lopputulos edellyttää suunnittelun ja toteutuksen yhteistyötä.

Raudoituksen suunnittelussa ja toteutuksessa on noudatettava seuraavia periaatteita:

- pystyrakenteiden yläosien raudoituksessa ei saa käyttää sellaisia ratkaisuja, jotka estävät todennäköisen betonin siirtomenetelmän suurimman sallitun pudotuskorkeuden saavuttamisen
- yläosien raudoitukseen on jätettävä aukkoja 1–1,5 metrin välein betonointia varten (valuksukka, betonipumpun letku)
- raudoitustankojen keskinäisen etäisyyden toisistaan on oltava vähintään 1,5 kertaa runkoaineen maksimiraekoko (elleivät Betoninormit edellytä suurempaa väliä, ks. RakMK B4 kohta 4.2.3.2)
- raudoituksen etäisyyden muottipinnasta on oltava pääsääntöisesti vähintään maksimiraekoko lisätynä 3–5 mm:llä. Näin ollen se on vähintään 20 mm valettaessa maksimiraekooltaan 16 mm:n betonilla, myös ympäristöluokassa Y3/E1. Etäisyyden on joka tapauksessa aina täytettävä rakenteen ympäristöluokasta johtuvat vaatimukset (RakMK B4:n määräykset)
- raudoituksen paikallaan pysymiseen on myös suunnitelmissa kiinnitettävä huomiota. Raudoituksen suunnittelu ja toteutus esivalmistetuilla, hitsatuilla raudoittekomponenteilla takaa jäykemmän ja paremmin paikallaan pysyvän kokonaisuuden
- raudoituksen asennuksessa käytetään sellaisia rauditusvälikkeitä ja työteräsratkaisuja, joilla vaurioitetaan muottipintaa mahdollisimman vähän. Raudoitteet on sidottava toisiinsa ja tuettava välikkein muottia vasten. Sidelangat taivutetaan sisäänpäin irti muottipinnasta.
- eri kiinnitysten asennuksessa käytettävien naulojen tulisi olla alumiinisia. Ne katkaistaan betonipinnan tasalta. Koska naulaus aina heikentää muottipinnan laatua, nauloja tulee käyttää vain tarvittaessa ja mahdollisimman vähän.

Myös muiden varustusten ja kiinnitysten suunnittelussa on kiinnitettävä rakenteen valettavuuteen huomiota. Niitä ympäröivään raudoitukseen on jätettävä selvät reitit sauvatäryttimelle, jotta vältyttäisiin ilmataskujen muodostumiselta. Etenkin kerkoissa valuuissa ja aukkovarustusten ollessa leveitä (<0,5 m) muottiin on jätettävä tiivistysaukkoja.

Betonointi

Betonoinnin ennakkosuunnittelu

Betonointisuunnitelma laaditaan suunnitelmien ja asiakirjojen pohjalta valutyön ohjeeksi. Suunnittelija vastaa siitä, että suunnitelmissa ja asiakirjoissa on esitetty kaikki materiaaleille ja lopputuotteelle asetetut vaatimukset. Betonointi-

suunnitelma on laadittava yhteistyössä asianosaisten suunnittelijoiden ja betonointimittajan kanssa. Yhteistyönä käydään läpi tavoitteet ja niiden saavuttamiseksi vaaditut toimenpiteet.

Betonointisuunnitelmassa läpikäydyt asiat on kerrattava vielä ennen valutöiden aloitusta työnjohtoon, toteuttavan työkunnan ja betonitoimitajan kesken. Toteuttava työkuunta tulee säilyttää samana kohteen kaikissa puhdasvaluissa.

Vaakarakenteiden betonointi

Kutistuma- ja halkeiluriskin pienentämiseksi betonin maksimiraekooksi on syytä valita 32 mm. Maksimiraekokoa 16 mm käytetään tiheästi raudoitetuissa kohdissa, esimerkiksi palkkikaistojen tai pilarien kohdalta. Sopiva valunotkeus on yleensä 2–3 sVB, tiheimmin raudoitetuissa laatoissa 1–2 sVB. Laatat $h < 350$ mm valetaan yhtenä kerroksena.

Betonointia ennen ja betonoinnissa on huomioitava seuraavat asiat:

- muottipinta on tarkistettava haitallisen irtoliinan (sahanpuru yms.) ja muotiniirrotusaineker-tymien havaitsemiseksi; kertymät poistetaan trasselilla pyyhkien
- betonoinnin aikana muottiin lennelleet suuremmat kuivahtaneet betoniroiskeet 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 mitoitetaan valunopeuteen nähden. Käytännön työsaavutus 60 mm:n sauvatäryttimellä normaalisti raudoitettuissa 240 mm:ä paksun laatan valussa on noin 10–18 betonim³/h. Sauvatäryttimen käytössä on huomioitava seuraavat tekijät:

- täryttimen koko valitaan aina kohteen mittojen mukaan: täryttimen on mahdollista ylöpinnan raudoituksen läpi laatan joka kohdassa. Normaalivahvuissa laatoissa täryttimen suurin koko on 60 mm
- tärytys tehdään 1,5–2 metrin etäisyydellä otortintauksesta
- tärytintä ei käytetä massan siirtämiseen
- sauvan asento on normaalisti pystysuora, ohuissa laatoissa (< 250 mm) kallistuskulma voi olla enintään 45°. Sauva vaakasuurassa asennossa ei tiivistä, vaan aiheuttaa erottumista

- tärytysajan on oltava riittävä mutta ei liian pitkä: sopiva aika 250 mm:n laatalle on 10 s
- kunbetonoidaan useampana kerroksena, on sauvan annettava 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 rakennneosia korkeampi, samalla pilarit ovat vaativia niiden muodon ja raudoituksen johdosta. Pilarivaluissa käytetty betoni on tavallisesti notkistettua ja valunotkeus 2–3 sVB tai 1–2 sVB. Maksimiraekoko voi olla 32 mm, mutta yleensä käytetään 16 mm:ä pilarin ylä- ja alaosan tiheämmän raudoituksen takia. Betonointinopeutta ja tiivistystapaa suunniteltaessa on syytä käyttää muottiasiantuntijan apua arvioitaessa eri tyyppiin rakenteisiin muodostuvaa muottipainetta.

Seinäarakenteet pystytään tiivistämään asianmukaisella kalustolla betonin notkeuden ollessa 2–3 sVB. Jos seinä on varauksiltaan ja raudoitukseltaan vaikeasti tiivistettävissä, on suositeltavaa käyttää notkistettua betonia valunotkeuden ollessa 1–2 sVB. Pystyrakenteiden tiivistyksessä on aina muistettava betonin materiaaliominaisuutena plastinen painuma jälkitäryttämällä rakenne sen yläosasta betonin sitoutumisvaiheen sallimalta syvyydeltä.

Pystyrakenteiden betonoinnissa ja tiivistyksessä on huomioitava seuraavat asiat:

- valupaikalla järjestetään kunnollinen, 2–3 valopisteen valaistus niin, että betonoivalla työkunnalla on selvä näkyvyys muotin pohjalta asti
- betonin pudotuskorkeus ei saa ylittää 1 metriä, joten nostoastiavalussa on käytettävä valusukkaa ja pumppuvalussa vietävä putken suu muotin sisälle; syitä tähän ovat
 - pudotuskorkeuden kasvu lisää erottumisriskiä kiviaineksen iskeytyessä raudoitukseen
 - betonoinnissa muotin yläosaan tarttuvat betoniroiskeet saattavat ehtiä kovettumaan
- betoni ei saa iskeytyä vinosti raudoitukseen eikä muottipintaan erottumisriskin takia, vaan se valetaan kohtisuorasti muotin pohjalle 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
 - sauvaa nostetaan tiivistettävästä kerroksesta tasaisella nopeudella 4 cm/s



Kuva 14. Pystyrakenteiden valuissa keskeistä on pitää massan pudotuskorkeus mahdollisimman matalana (valusukan tai -putken käyttö), pitää valukerrokset tasavahvuksina, suorittaa tärytys järjestelmällisesti ja tasapistoin sekä muistaa rakenteen yläosan jälkitärytys betonin plastisen painuman ongelmien välttämiseksi.

- yhden sauvanpiston koko tärytysaika on 15–20 s
- sauvanpistojen väli on korkeintaan 40 cm
- tärystä ei saa missään tapauksessa suorittaa 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 kertyvän ilman hitaamman ja vaikeamman poistumisen takia; ne on uudelleentiivistettävä (jälkitärytys) hyvissä ajoin ennen betonin sitoutumista
- varauksien alapuolisten alueiden täytyminen varmistetaan jättämällä edeltävä massakerros 20 cm varauksen alapuolelle ja täyttämällä

alusta tavallista paksumman massakerroksen paine vaikutuksen ja tehokkaan täytyksen avulla. Vaikeasti tiivistettävien rakenteiden betonoinnissa on syytä käyttää notkistettua betonia valunotkeuden ollessa 1–2 sVB

- betonointi koko valuosan osalta liikunta- tai työsaumaan asti pyritään viemään läpi keskeytyksettä, mikä on huomioitava betonoinnin suunnittelussa.

Pystyrakenteiden betonoinnissa on suhteutettava siirtomenetelmän tehokkuus puhdasvalun nousunopeuden ja tiivistysajan vaatimuksiin. Näin ollen esimerkiksi puhdasvaletun pilarin betonoinnissa betonipumppu ei välttämättä ole oikea vaihtoehto; samoin voi tilanne olla myös seinärakenteessa. Kuten taulukosta 7 voidaan päätellä, tiivistyskaluston teho ei ole mitoittava tekijä seinävaluisia; useimmiten siksi muodostuu suurin sallittu betonin nousunopeus.

Muottien purku ja betonipintojen jälkihoito

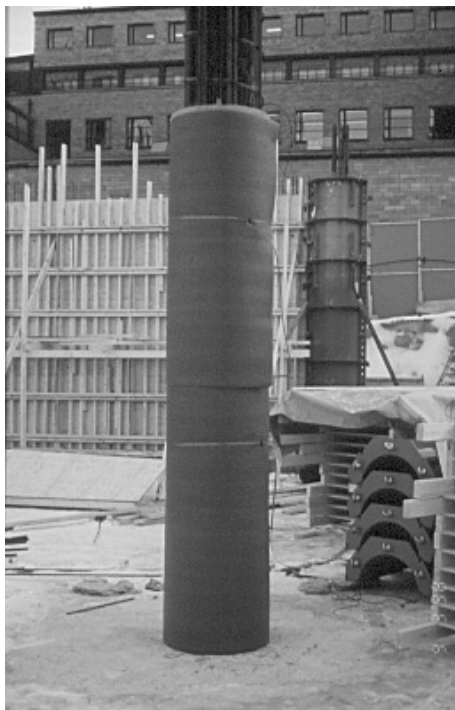
Betonin on annettava kovettua ennen muottien purkua niin pitkään, ettei pinta vaurioidu riittämättömästä lujuudesta johtuen. Yleensä tähän riittää

- tasomaisilla muoteilla 5–6 MPa
- voimakkaankin muottipintatekstuurin omaavilla muoteilla 3–5 MPa.

Näin ollen käytännössä muut tekijät määräävät muotinpurkuajankohdan. Ellei tarkempia laskelmia tehdä, muottien tukirakenteet saa purkaa vasta kun betoni on saavuttanut 60 % nimellislujuudestaan. Muottirakenteiden purku ja jälkikuutus tehdään betonointipöytäkirjan tai erillisen jälkikuutusuunnitelman mukaisesti.

Muotteja purettaessa on betonipinnan laadun kannalta tärkeintä se, että työkaluja käytetään varovaisesti. Betonin tarttuminen muottiin saat- taan aiheuttaa rakenteen painoon nähden moninkertaisen irrotusvoiman tarpeen. Tarttumisen syy voi olla muottinirrotusaineen käyttämättä jättäminen tai betonipinnan ja muottipinnan väliin muodostuva alipaine.

Valupintojen kosteuspitäisyys on säilytettävä mahdollisimman vakiona jälkihoidon ajan, jonka tulee kestää, kunnes betoni on saavuttanut 60 % nimellislujuudestaan. Vaakarakenteiden alapintojen jälkihoito hoituu siten muotinpurkuajankohdan kautta. Seinärakenteiden ja pilarien osalta voi olla tarpeen suojata pinnat muovipeitolla liian nopean kuivumisen estämiseksi. Talvikautena käytettäessä rakenteen lämmitystä tai kuumabetonia muotinpurku tulee aloittaa vasta sitten kun rakenteen lämpötilan on annettu tasaantua lähelle ympäröivän ulkoilman lämpötilaa. Jos purku joudutaan suorittamaan suurten lämpötilaerojen vallitessa, muotteja on raotettava varovasti 2–3 tuntia ennen niiden poissiirtoa.



Kuva 15. Suojaamalla betonirakenne heti muottien purkamisen jälkeen voidaan samalla kertaa hoitaa sekä betonin jälkihoito että suojaus kolhuilta.

Raottaminen on tehtävä koko valetun rakenteen alueella.

Betonointi itsetiivistyvällä betonilla

Itsetiivistyvän betonin valmistus perustuu uudentyyppisten ns. kolmannen sukupolven tehonotkistinten käyttöön sekä betonin side- ja ki- viaineiden hienopään entistä huomattavasti tarkempaan hallintaan. IT-betoni tiivistyy omalla painovoimallaan eikä siten tarvitse (eikä salli) lisätiivistystä täytyksen muodossa. Se samalla myöskin leviää omasta painostaan; IT-betonit ovat todella notkeita eli niiden kartioleviämä on tyypillisesti yli 600 mm ja parhaimmillaan jopa 750 mm. Leviämä ei kuitenkaan ole itseisarvo; IT-betonin on oltava hyvin koossapysyvää, erottumatonta ja melko tiksotrooppista massaa pysyäkseen ”kasassa” eri valutilanteissa. Onnistuneesti suhteitettuna ja oikeaoppisesti valettuna se sitten tarjoaakin tiiviin, huokosettoman ja tasavärisen betonipinnan vaikeissakin valutilanteissa.

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 syvälle rakenteen sisään, jolloin ”oikeaoppiseen” valutekniikkaan ei välttämättä ole käytännön mahdollisuutta. Kuitenkin pudotuskorkeus kannattaa yleensä pyrkiä pitämään mahdollisimman pienenä, sillä betonipintojen laatua silmälläpitäen roiskeet muottipintaan, betonin tarttuminen raudoituksen yläosaan sekä korkealta putoavan betonin mahdollisesti aiheuttama ylimääräinen ilman sulkeutuminen valettuun betoniin ovat haitallisia. Hyviä kokemuksia on saatu betonin pumppauksesta muutettiin rakenteen alaosasta.

Betonin muottiinottovälit kannattaa suunnitella mieluiten pienin kuin suurin välein. Vaikka vaakatasossa tapahtuva valuminen onkin IT-betonia käytettäessä suuri, tyypillisesti välillä 5–10 metriä, riski osittaiselle erottumiselle voi kasvaa. Asiaan vaikuttavat käytetty suhteitus, betonin viskositeetti sekä rakenteen muoto ja raudoituksen määrä (tiheys). Hyvä perusväli betonin muottiin otolle on välillä 3–5 metriä.



Kuva 16. Muottipinnan lävitse tapahtuvaan betonin pumppaukseen tarkoitettua kalustoa.

Pyrittäessä mahdollisimman virheettömiin ja korkealuokkaisiin pintoihin valun on jatkuttava mahdollisimman pienin keskeytyksin. Kokemukset ja käsitykset parhaista tavoista valaa IT-betonia perustuvat tehtyihin valuihin ja ovat jonkin verran ristiriitaisia eri kohteiden osalta. Lisääntyvä IT-betonin käyttö selkiyttäneen asiaa lähiaikoina. 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.

IT-betonin valutekniikka normaalibetonia nopeammalla valunopeudella aiheuttaa muottipaineen kasvun suureksi; tämä on aina huomioitava muotin jokaisen osan mitoituksessa. Vaikka ulkomailta on saatu tietoja jopa normaalibetonia pienemmistä IT-betonin valupaineista (hidas nousunopeus), lähtökohtana muottimitoituksessa tulee olla varautuminen hydrostaattisen paineen suuruiseen valupaineeseen.



Kuva 17. Itsetiivistyvällä betonilla kertavaluna valettu paikallavaluseinä.

Case seinän puhdasvaluusta

Kohde oli paikallavalettu, muottipinnalle jäävä suurikokoinen teräsbetoniseinä, joka sijaitsee ulkotilassa. Arkkitehdin tavoitteena oli saada yhtenäisen ja tasavärisen puhdasvalupinta, johon ennaltamäärätty kartiomainen muottiside-ri'itys luo oman pintaa rikkovan symmetrisen kuvionsa (Tadao Andon tekniikkaa Japanista).

Lukuja ja tekniikkaa:

- seinän koko: korkeus noin 7,5 m, leveys noin 9 metriä, vahvuus 200 mm
- muotti erittäin huolellisesti rakennettu kapalettavarasta, muottipintamateriaali 21 mm:n 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. kuljetuspumpulla muottiin sijoitettujen valuputkien kautta; betonointinopeus noin 4 m³ 15 minuutissa eli nousunopeus yli 2 metriä ensimmäisen 15 minuutin aikana. Tautot kuormien välillä noin 20 minuuttia.

Eri betonierät olivat valettaessa leviämältään melko samanlaiset. Valu sujui häiriöittä ja muotissa ei havaittu muutoksia yhtä lievää pullistumakohtaa lukuun ottamatta. Muotin purkamisen jälkeen ja betonipinnan kosteuden tasaannuttua havaittiin valujäljen olevan erinomainen; muottiside- ja sähköputkuskohtat sekä varaus-ten ympäristöt olivat virheettömiä ja tasalaatu-isen näköisiä niin pinnan kuin värinkin osalta. Aivan seinän reunalla, sen yläkolmanneksessa oli havaittavissa hienoista huokoisuutta ja litteitä ilmasulkeumia, joita ei kuitenkaan normaalilta katselutäisyydeltä helposti havaitse.

Betonipinnan virheet

Betonipinnalle asetetun vaatimustason saavuttaminen vaatii aina panostusta sekä materiaaleihin että työnsuoritukseen - olipa vaatimustaso sitten korkea tai vähän matalampikin. Huolimattomasta työnsuorituksesta tai kelvottomien materiaalien käytöstä seuraa lähes aina korjaus-tarve. Etenkin tasalaatuista ja -väristä betonipin-taa tavoiteltaessa korjaaminen jälkikäteen on kuitenkin käytännössä mahdotonta. Erot selväs-ti parempaan, kerralla valmiiksi -lopputulok-seen tarvittavassa lisätyössä ja materiaalikus-tannuksissa ovat useimmiten täysin merkityk-

setömiä, kunhan vain tiedossa ovat syyt virhei-siin ja ne ennakkoon korjaavat toimenpiteet.

Betonipinnan virheet voidaan jakaa väri- vir-heisiin ja geometrisiin virheisiin oheisen taulu- kon mukaisesti. Yhteenvedo betonipinnan vir- heistä, niiden syistä ja korjaavista (ennakoivi- ta) toimenpiteistä sekä halkeilutyypeistä on esi- tetty artikkelin lopussa. Seuraavassa on kuiten- kin tarkasteltu lähemmin keskeisimpiä virheitä, niihin vaikuttavia tekijöitä sekä niiden vähentä- miseen tähtääviä toimenpiteitä.

Värivirheet	Geometriset virheet
värierot (vaaleus- tummuus)	pinnan käyryys ja aaltoilu
kalkkihärme	valuhaava
alkalihärme	valupurse
ruostetahrat	hammastus
likaantuminen	nystermä
	syvennys
	huokonen
	harvalu ja muu valuvika
	pinnan irtoaminen (betoni- tai muottipinta)
	reuna- ja kulmavauriot
	halkeilu

Värierot

Esteettisessä mielessä värierot ovat betonipin- nan virheistä häiritsevimpiä ja valitettavasti myös toteutuksen kannalta vaikeimmin hallitta- vissa. Taulukossa 3 on esitetty betonipinnan vä- riä säätelevien tekijöiden vaikutus pinnan vaa- leuden ja tummuuden muutoksiin. Nämä toisis- taan riippumattomat tekijät voidaan yhdistää vaikutuksensa osalta johonkin tai joihinkin seu- raavasta värieroja betonipintoihin aiheuttavista päätekijöistä:

- kalkkihärme (ks. kohta *Härmeet*)
- sementin hydratoitumisaste (kovettumislämpö- tila ja -kosteus)
- vesisementtisuhde
- sementin reaktioiden eriasteinen estyminen
- osamateriaalien oma väri (sementti, seosai- neet, kiviaines)
- muottipinnan ja betonin välinen tartunta.

Olennaisimpina huomioonotettavina tekijöitä pyrittiäsi pienentämään betonipinnan eri osien värieroja ovat:

- betonin osa-aineiden seossuhteiden säilyttä- minen vakiona
- homogeenisuuden, hyvin sekä betoniasemalla että vielä työmaalla sekoitetun, erottumatto- man betonin käyttö
- samanikäisen ja -kosteuksisen, varastoinnin ajan auringon valolta suojatun sahatarava käyttö
- sileän ja diffuusionestävän muottipinnan kä- sittely ohuella ja tasaisella muotiniirrotusaine- kerroksella

Taulukko 3. Betonipinnan väriä säätelevien tekijöiden vaikutus värimuutoksiin.

Vaaleampi		Betonin väri		Tummempi
valkoinen	←	portlandsementti	→	muut tyypit
korkea	←	vesisementtisuhde	→	matala
vähemmän	←	hienoainesmäärä <0,25 mm	→	enemmän
kuusi	←	puulaji	→	mänty
teräs, muottivaneri	←	muottipintamateriaali	→	sahatavara
korkea	←	puisen muottipinnan kosteus	→	alhainen
kovempi	←	puisen muottipinnan kovuus	→	pehmeämpi
		auringon kellastama muottipinta	→	
ohuempi	←	muotiniirrotusainekerroksen paksuus	→	paksumpi
		veden vuotaminen muotin läpi	→	
pienempi	←	muottipaine	→	korkeampi
		isoja runkoainerakeita pinnan lähellä	→	
pitkä	←	tärytysaika ¹⁾	→	lyhyt
	←	betonin jälkitärytys		
hidas	←	betonin kuivumisnopeus	→	nopea
täydellisempi	←	sementin hydratoituminen	→	epätäydellisempi
suurempi	←	betonin kapillaarihuokosten määrä	→	pienempi
	←	kalkkihärme		
		kovettumislämpötila	→	alhaisempi
100 % ja < 70 %	←	kovettumiskosteuspitoisuus	→	80–90 %

¹⁾ sauvatärytys pystyrakenteissa

- betonin muottiinoton ja tiivistyksen yhteenväinen suoritus eri valuosissa
- lämpötilaltaan ja kosteuspitoisuudeltaan mahdollisimman vakioitujen olosuhteiden luominen eri valualueiden välillä; työmaaolosuhteissa tämä tarkoittaa valupintojen suojaamista määrääjäksi.

Huokokset

Huokokset (valuhuokokset) aiheutuvat betoniin sekoituksen yhteydessä syntyvästä ja muotin-vastaisille betonipinnoille kerääntyvästä ilmas-
ta, joka ei ole tiivistyksen aikana ehtinyt tai pys-
tynyt poistumaan yläpinnan kautta. Huokosten
koko on määrään vaikuttavat keskeisimmin

- muottipintamateriaali
- betonimassan notkeus



Kuva 18. Häiritsevää, epätasaisesti jakautunutta ja suurikokoista huokoisuutta. Sahatavara muottipintana olisi vaatinut selvästi pitempää tärytys-aikaa ja jopa notkeamman betonin käyttöä.

- betonin tiivistys sekä
- valukerroksen paksuus.

Muottipintamateriaalin tiiveys vaikuttaa ilman poistumiseen muottipinnan läpi tai siirtymiseen muottipintaa pitkin. Huokosmäärä on tyypillisesti pieni käytettäessä sahatavaraa tai pinnoit-tamatonta vaneria. Tiivistä pintaa kuten pinnoi-tettua vaneria käytettäessä ilma ei pääse tunkeu-tumaan muottipinnan läpi, mutta pienen kitkan ansiosta huokokset ovat toisaalta pieniä. Muotti-pintamateriaalin valinta huokosten osalta perus-tuikin tavallisimmin muottipinnan käyttökerto-jen tarvittavaan määrään.

Betonimassan notkeuden kasvaessa (löysempi betonimassa) mahdollisuus saada pienennet-tyä huokosmäärää pinnassa paranee, mutta ei vähennä tiivistyksen merkitystä. Tällöin myös betonin hienoainesmäärän (sideaine ja kiviaines < 0,25 mm) on oltava riittävä.

Betonin tiivistys eli täryttäminen on tärkein tekijä huokosten koon ja määrän pienentämisessä. Vaakarakenteiden tiivistys ei yleensä ole ongelmallista huokosten suhteen; poikkeuksia ovat kuitenkin vinot vaakarakenteet, jotka on muotitettu kummaltakin puolelta. Pystyraken-teet, kuten seinät ja pilarit ovat tiivistyksen osalta vaativimpia. Pystyrakenteiden tiivistys on suoritettava seuraavien periaatteiden mukaan hyvään lopputulokseen pyrittäessä:

- betoni valetaan tasaisina ja ohuina kerroksi-na: valukerrosten paksuus on noin 30 cm
- tärysauvaa nostetaan betonista tavallista hi-taammin eli ei nopeammin kuin 5–10 cm/s
- pystyrakenteen yläosan (40–50 cm) betoni tä-rytetään uudelleen selvästi ennen betonin jäy-kistymistä, sillä siihen kertyy enemmän valu-huokosia kuin rakenteen muuhun osaan. Jo

jäykistymässä olevassa betonissa ilmahuokosia ei enää saada sulkeutumaan

- tärysauvan pistojen on oltava tiheät etenkin lähellä muottipintaa; tärysauva ei kuitenkaan saa koskettaa sitä,
 - tärytysaikaa on syytä pidentää normaalia.
- Tietty huokoisuus mielletään betoniarkkitehtuurissa betonisen pinnan ominaisuudeksi, joka luonnollisella tavalla elävöittää pintaa. Etenkin väreillä käsitellyissä pinnoissa huokokset ovat osa arkkitehtonista ilmettä. Pystyrakenteissa voidaan hyvin työstettävällä betonilla ja huolellisella tiivistyksellä saada aikaan betonipintoja, joissa on vähän huokosia. Kuitenkin kokoluokan 5–15 mm huokosia esiintyy lähes aina. Täysin huokosettomia pintoja voidaan saavuttaa vain ns. muottikankaita käyttäen; tällöin kuitenkin betonipinta ei enää ole sileä eikä siihen toisaalta jää muottipintamateriaalin jättämää kuviota.

Verhomainen väriero pystypinnoissa

Ruotsalaisen betonipintojen väri vaihteluita käsittelevän tutkimuksen (Cementa Ab ja Banverket) mukaan betonin uudelleen tiivistämisellä eli ns. jälkitärytyksellä ja eri-ikäisten betonikerrosten läpi tehtävällä tärytyksellä on eräs ikävä sivuvaikutus. Sen on todettu aiheuttavan etenkin tiiviimmillä muottipinnoilla (tiivit muottivanerit) verhomaisina vyöhykkeinä eri valukerrosten välillä esiintyvää väri vaihtelua. Ilmiö on seurausta betonin massan ja muottipinnan välillä muodostuvasta hyvin ohuesta vesikerroksesta, valukerrosten eri-ikäisyydestä ja tärytyksen aiheuttamasta veden liikkeestä betonipinnassa.

Värieroja voi tapauskohtaisesti esiintyä jo melko tuoreeseen betoniin tehdyn jälkitärytyksen yhteydessä tai kun tärytys suoritetaan ylempään valukerroksen läpi alempaan valukerrokseen. Vähiten niitä on havaittu silloin, kun betonointi on jatkunut tauotta ja alempi valukerro ei ole ehtinyt oleellisesti jäykistyä.

Jälkitärytys suoritetaan ennen betonin jäykistymistä ja sitoutumisen alkua etenkin pystyrakenteita ja paksumpia laattarakenteita betonoidessa. Tarve tähän syntyy betonin plastisesta painumasta, joka on ilmiönä betonin sisäistä raskeamman (kiviaines ja sementti) ja kevyemmän osa-aineen (vesi) hienoista erottumista painovoiman vaikutuksesta. Se saattaa aiheuttaa betonipintaan halkeilua ja epätäydellisen tartunnan raudoituksen ja betonin välillä. Jälkitärytys saattaa osa-aineet uudelleen tiiviimpään tilaan ja vähentää samalla betonin huokoisuutta.

Plastista painumaa ja siten jälkitärytystarvetta lisää betonin erottumistaipumus ja suuri vesimäärä, joten sitä voidaan oleellisesti vähentää myös betoniteknisin keinoin. Useilla betoniladuilla etenkin lämpimissä olosuhteissa betonoidessa jälkitärytyksen ei ole kovinkaan pitkä

aikaa betonin nopeasta jäykistymisestä ja aikaisesta sitoutumisen alkamisesta johtuen.

Härmeet

Alkali-härme on vesiliukoista, nuoressa betonissa aina esiintyvää suolaa, joka otollisissa olosuhteissa suotautuu valkoiseksi kerrokseksi betonipintaan nuoren betonin kuivuessa. Vesiliukoisuutensa ansiosta alkali-härme on helppo poistaa esimerkiksi painepesulla; tästä sen myös erottaa vaikeasti poistettavasta kalkki-härmeestä.

Alkali-härmeen muodostuminen voidaan estää tai sen esiintymistä ainakin oleellisesti pienentää valmistamalla betoni mahdollisimman pienellä vesimäärällä ja estämällä betonin kuivuminen kovettumisen varhaisvaiheessa kosteus säilytyksellä (RH > 65 %), jälkihoitoaineella tai tiiviillä muovikalvolla. Kylmä ja tuulinen sää lisäävät härmeen muodostumisriskiä, samoin huokoinen muottipinta. Kun betoni ikääntyy ja tiivistyy, alkali-härmetä ei enää muodostu.

Kalkki-härme on kalsiumkarbonaattia, jota muodostuu ilman sisältämän hiilidioksidin reagoitessa betonin kalsiumhydroksidin kanssa. Kalkki-härmetä syntyy paljon erityisesti silloin, kun muotinpurun jälkeen heikkoloujuuksien ja huokoinen betonipinta joutuu alttiiksi ulkopuoliselle kosteudelle (vesisade, yökaste tms.). Vesi vapauttaa huukoista betonikerroksesta kalsiumhydroksidia, joka puolestaan reagoi välittömästi hiilidioksidin kanssa muodostaen härmetä. Kalkki-härmeen runsas muodostuminen on todennäköisintä silloin kun muottipinta on imukykyinen, betonin lujuuden kehitys hidaskä ilma kostea ja lämpötila alhainen.

Kalkki-härmetä on pieninä määrinä lähes kaikilla pinnoilla, mutta se muodostuu ongelmaksi visuaalisessa mielessä vasta esiintyessään runsaina määrinä tai tummissa ja muissa väribe-



Kuva 19. Härme-esiintymää laudalla muotitussa sillan reunapalkissa. Ulkovalut ovat herkkiä härmeen muodostumiselle. Sillan maatuessa näkyy hyvin sahatavaran erilaisesta kosteuspi-toisuudesta ja vedenimukyvyistä aiheutunutta värieroa.

tonipinnoissa. Sen syntyminen on betonin ominaisuuksiin liittyvä luonnollinen ilmiö. Härmeen esiintymistä voidaan kuitenkin rajoittaa seuraavilla toimenpiteillä:

- imevä muottipinta (esim. lauta- ja pinnoittamaton vanerimuotti) kastellaan kyllästyspisteeseen tai vahataan vettä imemättömiksi
- betonipinta suojataan muotinpurun jälkeen välittömästi muovikalvolla
- parannetaan betonin tiivistystä alhaisella vesimentisiteetillä
- varmistetaan etenkin kylmissä olosuhteissa betonipinnan nopea lujoudenkehitys valitsemalla nopeasti kovettuva betonilaatu, lämpösuojaamalla valu ja järjestämällä valukohteen riittävä lämmitys.

Kalkkihärme ei lähde pois pelkällä vesipesulla. Tehokkaimmaksi poistomenetelmäksi on osoittautunut painepesu veden ja hiekan seoksella. Pesu tehdään aikaisintaan muutaman viikon kulluttua valusta, jolloin betoni on ehtinyt tiivistyä pinnaltaan niin, että uutta härmekeerosta ei pääse muodostumaan pesun jälkeen. Kalkkihärme lähtee betonipinnoista myös kulumalla, mutta kuitenkin hyvin hitaasti.

Halkeilu

Betonirakenteet ovat betonin eriaisteiset ja -vaiheiset kutistumaominaisuudet sekä rakenteellisten toiminta- ja huomioiden alttiita erisuuruisten halkeamien muodostumiselle. Rakenteellisten ja muiden toiminnallisten haittojen lisäksi halkeamat (leveys, suunta ja määrä) vaikuttavat betonipinnan ulkonäköön. Monilta betonipinnoilta, joille on asetettu esteettisiä vaatimuksia ja joita voidaan katsoa läheltä, tulee edellyttää halkeilemattomuutta. Usein täyden halkeilemattomuuden vaatimus on kuitenkin jo rakenteellisista tekijöistä johtuen mahdoton. Ennen vaatimusten asettamista on tärkeää perehtyä rakenteen käyttötarkoitukseen, ympäristöolosuhteisiin sekä mahdollisten korjausten onnistumismahdollisuuksiin ja kustannuksiin.

Betonipinnan ulkonäköön vaikuttavan halkeilun raja-arvovaatimuksia on esitetty ohjeessa by 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. Halkeilun rajoittaminen voidaan jakaa kolmeen ryhmään seuraavasti:

- halkeamien sijaintia, leveyttä ja määrää ei rajoiteta
- halkeamien sijaintia, leveyttä ja määrää rajoitetaan
- vain mikrohalkeilu sallitaan (alle 0,05 mm:n halkeamat).

Halkeilemattomuuteen ja halkeamien rajoittamiseen voidaan pyrkiä eri keinoin. Raudoituksen avulla halkeamien leveyttä voidaan rajoittaa, muttei estää niiden syntymistä, koska tavanomainen raudoitus alkaa toimia kunnolla vasta halkeaman synnyttyä. Halkeilematon rakenne voidaan saada aikaan lähinnä seuraavien toimenpitein

- valitaan betonille mahdollisimman vähän kutistuva koostumus. Tämä tarkoittaa betonin suhteitusta, jossa kiviaineksen osuus on suuri eli maksimirakoko valitaan mahdollisimman suureksi, betonin vesimäärää vähennetään käyttämällä notkistusta eikä lujuusluokkaa nosteta turhan korkeaksi (normaalibetonilla maksimina K40, mieluiten K35). Tärkeää on varmistaa suunnittelulla (etenkin rauditus) rakenteen valettavuus, jotta betoni voidaan valaa muottiin karkeana ja pienellä pudotuskorkeudella
- betoni tiivistetään muottiin huolellisesti ja järjestelmällisesti sekä rakenteiden yläosat jälkitiivistetään. Huolellisen työnsuorituksen lisäksi rakenteiden tulee olla suunniteltu etenkin raudituksen ja erilaisten varausten osalta sellaisiksi, että rakenteen kaikki osat ovat tiivistyslaitteiston tavoitettavissa
- ymmärretään ja säädellään betonin kovettumisen aikaisia lämpötiloja ja lämpötilaeroja sekä jälkiihoidetaan rakenteita
- valitaan rakenneratkaisut sellaisiksi, että halkeilu on epätodennäköistä tai sitten hyväksytään luonnollinen, rakenteeseen mitä todennäköisimmin tuleva halkeilu. Rakenne on jaettava liikuntasauvoilla riittävän pieniin osiin ja/tai muotoiltava niin, että ulkoisten ja pakkovoimien aiheuttamat vetojännitykset jäävät riittävän paljon betonin kulloistakin vetolujuutta pienemmiksi. Näin voidaan varmistua siitä, ettei rakenne käytön aikana halkeile. Rakenneosien kutistumisliikkeet kannattaa ohjata liikunta- ja kutistumissauvoihin; myös rakenneosien laakerointi auttaa yleensä pakkovoimien pienentämisessä.

LÄHTEET

Betogens yta. Bygghälsningsrådet, T3:1996. Stockholm 1996. 280 s.

by 40 Betonirakenteiden pinnat 2003. Suomen Betoniyhdistys r.y. Helsinki 2002.

Formwork – A guide to good practise. Concrete Society. London 1986. 272 s.

Betonipinnan värivirheet; yleiskuvaus, syyt ja vähentämiskeinot.

Kuvaus	Syyt	Korjaavat toimenpiteet
<i>Vaihtelevat tummat ja vaaleat kohdat betonipinnalla</i> Värivirheiden ulkonäkö vaihtelee kiviainesraakeiden aiheuttamista ja kokoisista läiskistä suuriin tummiin ja vaaleisiin alueisiin.	<i>Betonimassa</i> – Sementtilaadun vaihtuminen – Epätasainen (huonosti sekoittunut) betonimassa – Veden- ja runkoaineen erottuminen	– Hyvin koossapysyväksi ja työstettäväksi suhteitetun betonin käyttö – Riittävän pitkä sekoitus aika – Tarkka väripigmentin määrä
	<i>Muotti ja muottipinta</i> – Epätasaisesti vettä imevä muottipinta – Sementtiliiman vuoto saumakohdista – Tuore auringonkellastama koivuvaneri – Vaihteleva muottipaine – Sopimaton muotiniirrotusaine – Epätasainen tai liiallinen kerros muotiniirrotusainetta	– Tasalaatuisen muottipintamateriaalin käyttö – Käytettävään muotiniirrotusaineeseen soveltuvan levitysmenetelmän käyttö – Liiallisen muotiniirrotusainekerroksen poistaminen pyyhkimällä
	<i>Betonointi</i> – Riittämätön, epätasainen tai liiallinen tiivistys – Sauvatärytys muottipintaa vasten – Epätasainen muottipaine – Betonointi pakkasessa	– Suunnitelmallinen betonointijärjestys – Järjestelmällinen tiivistys; tiheät tärysauvan pistot lähellä muottipintaa ja nurkkakohdissa – Sauvan etäisyys muottipinnasta kuitenkin väh. 50 mm
	<i>Kovettuminen ja jälkihoito</i> – Pinnan nopea kuivuminen – Vaihtuva lämpö- ja/tai kosteustila	
	<i>Suojaus</i> – Pintaan kosketuksissa oleva materiaali, joka nopeuttaa tai hidastaa pinnan kuivumista tai antaa väriä pintaan	– Suojaus kauttaaltaan samanlainen koko pinnalla – Muotiniirku aina samana ajan-kohtana koko pinnalta kerrallaan
	<i>Pinnan paikkaus</i> – Paikkauslaasti, jonka koostumus ja ominaisuudet poikkeavat betonista	– Värin säätäminen kokeilemalla
<i>Kalkkihärme</i> Valkoista, vaikeasti veteen liukenevaa kalsiumkarbonaatin saostumaa betonipinnalla. Ei tule sekoittaa betonipinnalta helposti poistettavaan alkali-härmeeseen (ks. kohta 4. <i>Härmeet</i>).	– Nuorella tai yleensä karbonatisoitumattomalla betonipinnalla oleva vesi (pääsyy) – Kovettuminen kuivassa ilmassa – Kovettuminen matalassa lämpötilassa – Betonipinnan varhaisen hydrataation häiriintyminen (sopimaton muotin pintamateriaali tai muotiniirrotusaine sekä kylmyys)	– Imevän muottipinnan riittävä kastelu tai vahaus – Tuoreen betonipinnan suojaus muovilla – Betonin lujudenkehityksen nopeuttaminen (lämmitys) – Betonin tiiviyn parantaminen vesisementtisuhdetta alentamalla
<i>Ruoste-esiintymät</i> Vaihtelee pinnan heikosta keltaisuudesta aina selviin ruosteläikkisiin. Pienikin määrä rautaa riittää erottuvaan väri vaihteluun, etenkin valkobetonisella pinnalla.	– Raudoitus, sidelangat tms. liian lähellä pintaa tai kiinni pinnassa – Rautayhdisteitä betonin osa-aineissa tai jälkihoitovedessä	– Oikean suojabetonikerrospaksuuden varmistaminen
<i>Likaantuminen</i>	– Puutteellinen pinnan suojaus – Merkkauksien jälkien siirtyminen muottipinnasta betonipintaan	– Varovaisuus ja huolellisuus pintojen läheisyydessä – Vaihtoehtoiset merkkaustavat

Pinnan geometrian virheet; yleiskuvaus, syyt ja vähentämiskeinot.

Kuvaus	Syyt	Korjaavat toimenpiteet
Muottipinnan tasopoikkeamat Pinnan aaltoilu, käyryys ja hammastus.	- Valupaineelle alimitoitettu muotti - Huolimattomasti kohdistetut muotin reunat	Ammattitaitoinen muottisuunnittelu ja -työ; virheitä lähes mahdotonta korjata jälkikäteen
Harvavalu ja muu valuvika Suurehkoja, muodoltaan epäsuunnollisia tiivistymättömyyden ja erottuneen betonin kohtia.	- Betonin erottumisesta aiheutuvat kivipesät - Liian suuri massan pudotuskorkeus - Riittämätön tiivistys - Ahdas muotti ja/tai tiheä rauditus - Erlaiset varaukset ja kiinnitykset	- Homogeenisen, erottumattoman betonin käyttö; betonin notkistaminen - Pudotuskorkeuden rajoittaminen korkeintaan 1 metriin - Tiivistyskaluston tilatarpeen huomiointi raudoituussuunnittelussa
Pinnan valuhuokokset Muottipintaan sulkeutuneen ilman tai vesikuplien aiheuttamia huokosia. Normaalisti muodoltaan pyöreitä tai ovaaleja, mutta myös säännöttömän muotoisia huonosti tiivistetyssä ja hienoainesköyhässä betonissa.	Betonimassa - Hienoaineksen eli sementin ja runkoaineksen < 0,25 mm puute - Riittämätön työstettävyyys käytettävään tiivistysmenetelmään nähden Muotti - Vettä imevää muottipintaa ja riittämätön tiivistys - Sopimaton muottipintamateriaalin ja muotiniirrotusaineen yhdistelmä matalissa vaakarakenteissa Betonointi - Liian paksut valukerrokset tiivistystehoon nähden - Liian lyhyt tärytysaika ja liian suuret sauvan pistojen välit	- Hienoaineksen < 0,25 mm (sementti mukaanluettuna) kasvattaminen vähintään 400 kg/m³:iin - Betonin notkistaminen - Betonin notkistaminen - Ohuet valukerrokset - Tärytysajan kasvattaminen - Muotiniirrotusaineen vaihto - Valukerrokset korkeintaan 300 mm - Tärytysajan kasvattaminen ja sauvan pistojen välit 400 mm:iin etenkin pystyrakenteiden yläosissa
Valuhaava ja paljastunut kiviaines muottisaumoissa Esiintyvä usein pinnan tummuuksissa (väriero) kohdissa.	Veden ja hienoaineksen tunkeutuminen muottisaumoista	- Muottisaumojen tiivistäminen - Homogeenisen, erottumattoman betonin käyttö
Vedestä aiheutunut valuhaava Matomaisia valuhaavoja pinnassa.	- Erottunut betoni - Hienoaineksen puute - Erottumisherkän betonin ylitäivistys - Betonointi kylmällä säällä - Vettä muotissa ja muottipinnoilla	Homogeenisen, erottumattoman betonin käyttö
Betonipinnan irtoaminen ja hilseily	- Betoni tarttuu muottipintaan: alhainen muotinpurkulujuus - karkea muottipinta - muotiniirrotusaineen vähäisyys tai puuttuminen - lautojen tai pinnoittamattoman vanerin riittämätön kastelu - kellastunut koivuvaneri - Betonipinnan jättyminen	- Riittävä muotinpurkulujuus 3–5 MPa - Muotiniirrotusaineen käyttö koko muottipinnalla (ohuena kerroksena) - Muottipinnan kastelu tarvittaessa - Kellastumattoman koivuvanerin käyttö - Betonin suojaaminen jäätymiseltä
Muottipinnan tarttuminen betoniin	Suuri tartuntalujuus betonin ja muottimateriaalin välillä, jolloin muottipinta lohkeaa	- Muottipintamateriaalin vaihto - Muotiniirrotusaineen käyttö koko muottipinnalla (ohuena kerroksena)
Reuna- ja kulmavauriot	- Muotin kiinnitarttumiset saumoissa - Iskut ja kolhaisut - Lohkeamat betonin jäätymisestä - Lohkeamat raudituskorroosiosta	- Muottisaumojen tiivistäminen - Nurkkien ja kulmien viistäminen - Oikeat suojabetonikerrokset
Valupurse	Muottipinnassa ja -saumoissa olevat raot	Muottisaumojen- ja pinnan tiivistäminen

betoni

Katso:

www.betoni.com

Sieltä löydät tärkeän betonitiedon!

- ♦ Kurssit
- ♦ Julkaisut
- ♦ Ohjeita suunnittelijoille ja rakentajille
- ♦ Pätevyyydet
- ♦ Tapahtumakalenteri
- ♦ Betoni -lehden materiaali
- ♦ Kuvapankki
- ♦ Betonituotteet ja niiden valmistajat
- ♦ Ja paljon muuta

SUOMEN BETONITIETO Oy
SUOMEN BETONIYHDISTYS r.y.
BETONIKESKUS ry
Unioninkatu 14, 2. krs
00130 HELSINKI

Puhelin 09 - 6962 360
Faksi 09 - 651 145