Betoni

Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle

Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu
Arkkitehtuurin laitos, Rakennusoppi

Toimitus:
Päivi Väisänen, arkkitehti SAFA,
yliopisto-opettaja, Teknillinen korkeakoulu

Taitto:
Teemu Seppänen, arkkit. yo

© TKK Arkkitehtiosasto Rakennusoppi 2005

ISBN 951-22-7443-4

Kirjapaino:
Vammalan kirjapaino Oy, Vammala 2005

Toinen painos 2010

Sisällys

1. Betonin historiaa
6 Opus caementicum, roomalaisten betoni
8 Betoni keksitään uudelleen
9 Teräsbetoni keksitään
10 Betonin tulo Suomeen
11 Teollisen rakentamisen vaiheita Suomessa

2. Betoni materiaalina
14 Betonin ainesosat
17 Suhteitus
18 Betonin kovettuminen
19 Betonin ominaisuudet

3. Paikallavalurakentaminen
24 Muotti
27 Muottipinnat
30 Työsaumat
31 Muottisiteet
31 Muotinirrotusaineet
32 Ulkonäköön vaikuttavat seikat
34 Raudoitus
38 Betonointi (paikallavalu)
42 Erikoisbetonointi
44 Laatuluokitus

4. Elementtirakentaminen
46 Elementtirakentaminen
47 Muottijärjestelmät
48 Raudoitus
48 Valaminen ja muotin purku
50 Betonipinnat
58 Laatuluokitus

5. Betonirakennus
60 Rungon suunnittelun perusteet
64 Rakennusrungon osat
70 Rakennusrunko
72 Perustaminen

6. Betonilattiat
76 Betonilattiat

7. Julkisivut
82 Yleistä julkisivuista
82 Paikallavalettu julkisivu
83 Elementtijulkisivut

8. Muut betonituotteet
88 Muut betonituotteet

9. Ikääntyminen, vaurioituminen ja korjaus
94 Betonipinnan vauriot ja ikääntyminen
96 Rakennusten kosteusongelmat ja kosteudenhallinta
97 Betonipinnan korjaaminen

10. Esimerkki betonikerrostalosta
100 Asunto Oy Vantaan Sipulitie

104 Lähteitä ja kirjallisuutta
105 Kuvaluettelo

Johdanto

Tämä oppikirja on tarkoitettu perusoppaaksi arkkitehti-opiskelijoille.

Kirja sisältää keskeisiä perustietoja betonirakenteiden suunnitteluun. Kirjan tarkoitus on toimia käsikirjana ja myös oppaana harjoitustöitä tehtäessä.

Tekninen tieto on oleellinen osa kokonaisvaltaista arkkitehtonista ajattelua. Ensimmäisinä opiskeluvuosina omaksuttu tieto ja käsitykset muodostavat tärkeän pohjan koko ammattikuvan muodostumiseen.

Kirjan toimittamista ovat ohjanneet toimitusjohtaja Olli Hämäläinen ja arkkitehti, päätoimittaja Maritta Koivisto Betoniteollisuus ry:sta, erikoistutkija ja tekniikan tohtori Anna Kronlöf VTT:sta sekä professori Antti-Matti Siikala Teknillisestä korkeakoulusta.

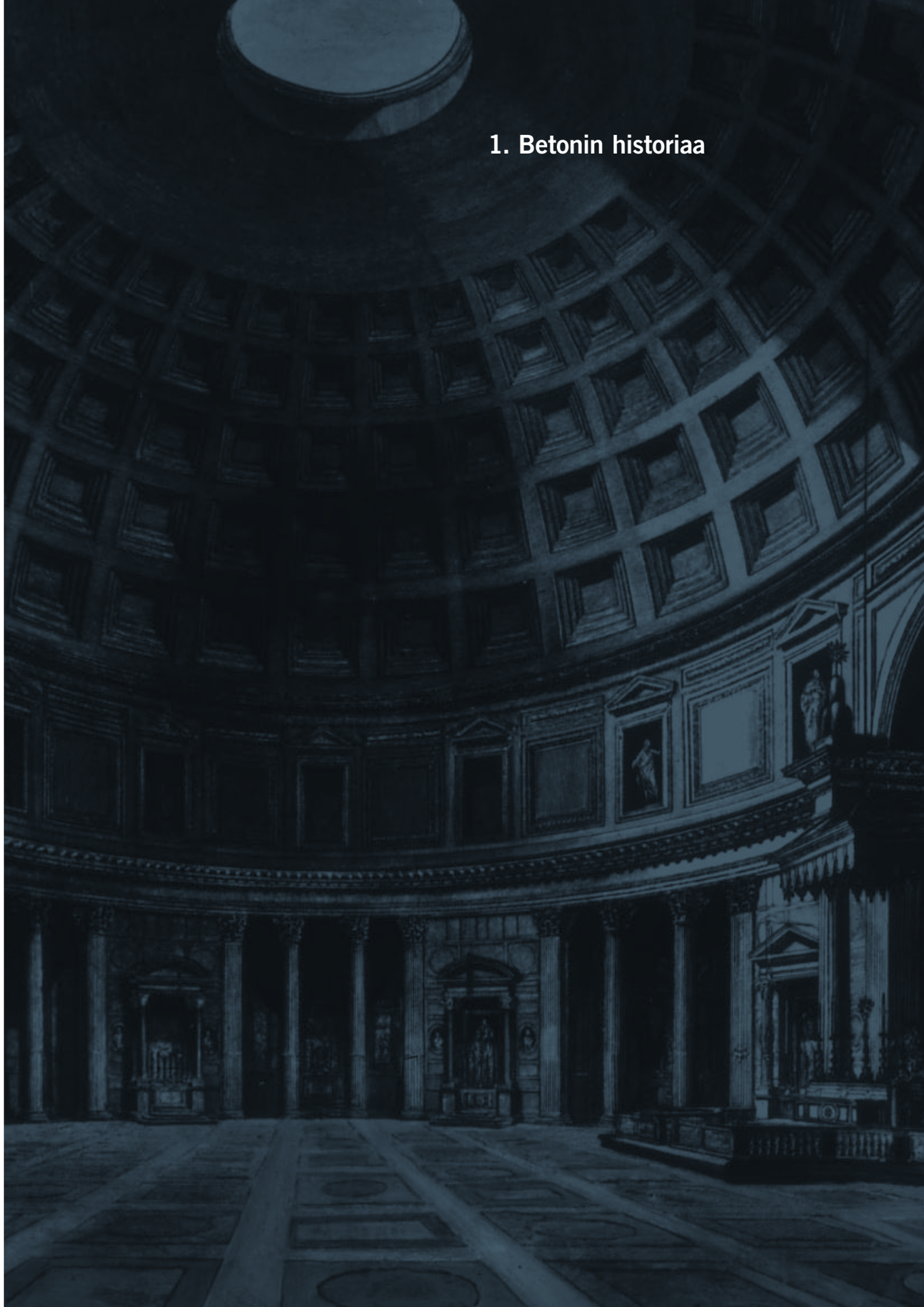
Kirjan on toimittanut arkkitehti, yliopisto-opettaja Päivi Väisänen.

Tekstiä ovat kommentoineet myös projekti-insinööri Petri Mannonen ja tuoteryhmäpäällikkö Arto Suikka Betoniteollisuus ry:sta sekä professori Tor-Ulf Weck ja yliopisto-opettaja Aino Niskanen Teknillisestä korkeakoulusta. Kiitokset heille.

Kiitos myös niille jotka ovat luovuttaneet kirjaan aineistoa.

Kirjaa on tukenut SBK-säätiö.

Toiseen painokseen on tarkistettu mm
- kuitubetoni
- pintojen työtekniikoita
- lattiat
- elementtijulkisivut
- ympäristötuotteet
- betonin vauriot ja korjaus
- esimerkkikohde



1. Betonin historiaa

Betonin historiaa

Opus Caementicum, roomalaisten betoni

Roomalaisten rakentamistavat olivat monimutkainen sekoitus vanhaa ja uutta.

Vanhaa oli mm kreikkalaisilta peritty kivirakentamistaito ja se hallittiin lopuksi perin pohjin. Uutta oli betonirakentamistapa. Sen hienoin säilynyt esimerkki on Pantheon, joka rakennettiin Hadrianuksen aikana v. 118–128.

Roomalaiset betonirakenteet kehittyivät muilta kansoilta perityistä savi- ja kalkkilaastimuurauksista. Kehitys alkoi ensimmäisellä vuosisadalla eKr, ensin hitaasti ja pienimuotoisesti, päätyen lopulta vallitsevaksi rakentamistavaksi myöhempänä keisariaikana.

Aluksi betonia käytettiin kalliimpien materiaalien korvikkeena hyöty- ja kaupallisissa rakennuksissa tai rakennelmissa (akveduktien vesikourut, satamalaiturit) tai traditionaalisen muotokielen toteuttamiseen uusissa rakennustyypeissä (kylpylät).

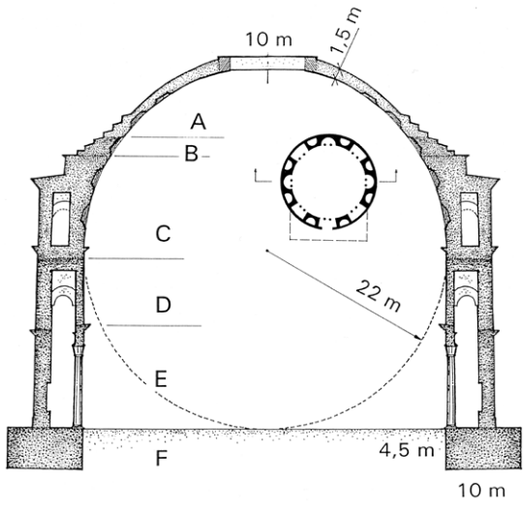
Vähitellen kuitenkin huomattiin betonirakenteiden mahdollisuudet aivan uudenlaiseen arkkitehtoniseen muotokieleen ja tila-ajatteluun eli loistavien sisätilojen ja tilasarjojen luomiseen toisiinsa avoimesti liittyvien kupolien, tynnyriholvien ja ristiholvien avulla. Tällä oli suuri merkitys ei vain Rooman vaan koko Euroopan arkkitehtuurin kehitykseen.

Roomalainen betoni (Opus caementicum) ei ollut betonia nykypäivän merkityksessä. Sideaineena käytetty potsolaani ei ollut nykyisen kaltaista sementtiä, vaan punertavan hiekan näköistä vulkaanista tuhkaa, joka sisälsi paljon silikaa. Nimen se sai löytöpaikkansa Pozzuolin kylän mukaan. Potsolaania kaivettiin maasta vulkaanisilla alueilla Latiumin ja Campanian seuduilla.

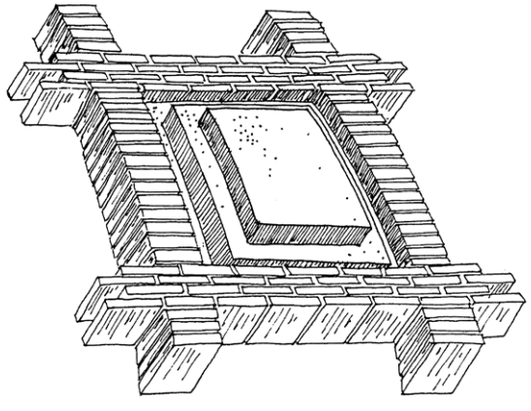
Kalkkilaasti tuli Roomassa käyttöön v. 300–250 eKr. Potsolaani keksittiin sattumalta 200–100-lukujen tienoilla eKr. jolloin ensimmäiset betonivalumuurit tehtiin Campaniaan. Kokemuksen kautta huomattiin, että potsolaanin lisäys laastiin tekee siitä erittäin lujaa ja saa sen kovettumaan myös veden alla.

Roomalaisten betonirakenteet tehtiin yleensä liittorakenteina muiden materiaalien kuten kivien tai tiilien kanssa. Rakentamisessa voitiin korvata kalliit kivilaadut paikallisilla, vähän heikommillakin raaka-aineilla ja käyttää paikallista työvoimaa. Näin valumuurista tuli halpa ja laajalti suosittu ratkaisu, mutta työsuorituksen ja lopputuloksen laatu vaihteli suuresti.

Laatuerot johtuivat mm siitä, että potsolaanin kemiallista koostumusta ei tiedetty eikä ymmärretty, miten se eroaa esim. hydraulisesta kalkista. Siksi käytettiin mitä paikkakunnalla oli ja edettiin yrityksen ja erehdyksen avulla.



Pantheon, Rooma (63 eKr, valmistui Hadrianuksen aikana 115–125 jKr). Kiviaines F–A kevenee ylöspäin niin että ylimpänä on käytetty hohkakiveä.



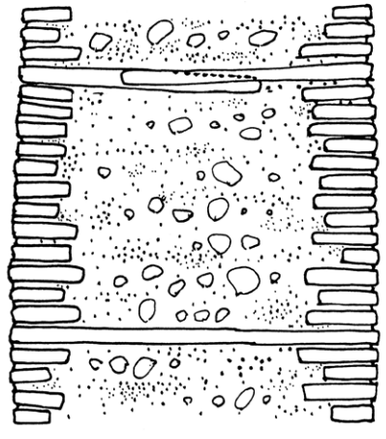
Pantheonin kupolin muottirakennetta.
Puiset kasetit tiiliruoteiden välissä kevensivät kupolia.

Valumuurissa muuratut ulkopinnat toimivat paikalleenjäävänä muottina. Sisäosa oli laastin ja kivien sekoitus, joka kovettui ja liitti rakenteen yhdeksi kappaleeksi. Potsolaani lujitti rakenteen niin että se kesti myös korkeiden kerrostalojen seininä.

Valumuurin vuoraus ja ydin rakennettiin jokseenkin samanaikaisesti. Muutaman muurauskerroksen jälkeen laskettiin laasti väliin ja 25 tiilikerroksen välein tehtiin sidekerros rakenteen läpi. Sidekerrokset näyttävät tukeneen rakennustelineitä ja säästäneen näin puutavaraa. Sidekerroksilla saattoi olla myös jälkihoitava vaikutus kovettumisreaktiossa. Hyvin usein valumuuri rapattiin tai peitettiin muilla materiaaleilla.

Tärkeimmät tyypit:

1. *Opus incertium* (n. 200–100 eKr),
   epäsäännöllinen vuoraus pienistä tuffikivistä.
2. *Opus reticulatum* (n. 100 eKr –),
   vuoraus diagonaalisesti ladotuista samankokoisista kivistä. Standardisointi nopeutti rakentamista.
3. *Opus testaceum*, tiilivuoraus.
   Se syrjäytti opus reticulatumin Neron aikana (54–88 jKr). Laattamainen tiili oli myös standardisoitu massatuote. Aluksi uusiokäytettiin vanhoja kattotiiliä.
4. *Opus vittatum*,
   suorakaiteiset kivet horisontaalikerroksina, vuorotellen tiilien kanssa (200 jKr –).



Roomalainen valumuuri

Kaaret ja holvit toimivat periaatteessa siten, että niiden rakentamiseen käytetyt erilliset kappaleet tukeutuvat toisiinsa puristusvoimien avulla. Tavallisen kalkkilaastin muodostama sidos rakenteessa on suhteellisen heikko.

Valutekniikalla rakenteesta tuli yhtenäinen monoliittinen kappale. Koska raudoittamaton valettu rakenne ei kestänyt kovin hyvin vetojännityksiä, aukkojen ja tilojen kattamiseen oli edelleen käytettävä hyväksi puristusvoimia ja kaarevia muotoja. Potsolaani paransi laastin vetolujuutta kuitenkin niin paljon, että päästiin huomattavan suuriin jänneväleihin.

Kun esimerkiksi suurin säilynyt kiveen kaiverrettu monoliittinen kupoli on halkaisijaltaan 9 m (Teoderikin mausoleumi Ravennassa v. 526), valutekniikalla kupolin jänneväli saattoi olla 21,5 m (ns. Mercuriuksen temppeli, entinen termisali Baiassa, Augustuksen ajalta) tai jopa 43,2 m (Pantheon), ennätys joka rikottiin vasta 1900-luvulla teräsbetonin avulla.

Suuri rakenne vaati alleen myös suuret rakennustelineet, joiden konstruoiminen vaati korkeaa ammattitaitoa. Puumuottien tuli kestää niiden päälle ladottava painava materiaali. Kevennyskeinoja olivat eri painoiset kivilaadut, saviruukut valussa sekä rakenteen ohentaminen.

Aluksi vain kupolin huipulle uskallettiin tehdä aukko. 200-luvulle tultaessa kehiteltiin tiilinen ruodekaarikehikko, jonka ansiosta holvivaippoja voitiin ohentaa kantamaan vain oman painonsa. Tiiliruoteet mahdollistivat holvin ja seinien aukottamisen, mitä käytettiin hyväksi varhaiskristillisissä keskeisrakennuksissa ja bysantissa. Myöhäisantiikin aikana alettiin stabiloida kupolia myös sen ulkopuolisilla rakenteilla kuten ympäryskäytävillä jne.

Betonitekninen osaaminen hiipui valtakunnan rappeutuessa ja unohtui lopulta kokonaan. Roomalaisen betonirakennetradition viimeinen suuri rakennelma on vuonna 1173 aloitettu Pisan vino torni. Sen runko on betonista valettu monoliittinen lieriö, jonka seinäpaksuus kierreportaineen on 2,7 m. Lieriön sisä- ja ulkopinnat ovat marmoria.

Betoni keksitään uudelleen

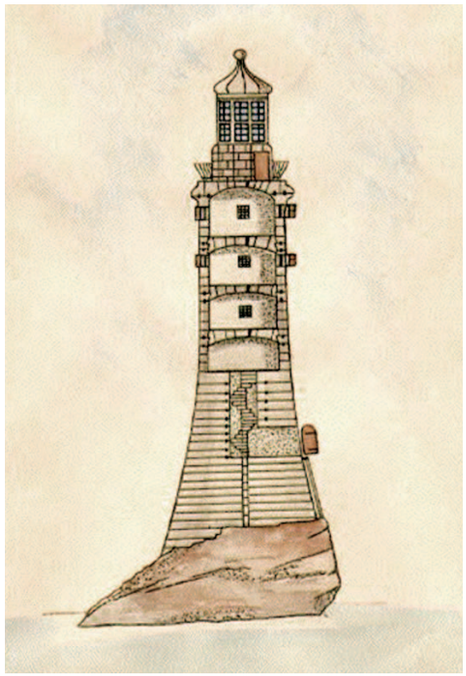
Potsolaani alkoi kiinnostaa tutkijoita ja rakentajia 1700-luvulla. Insinööri John Smeaton lisäsi sitä Eddystonen majakan kiviperustusten muurauslaastiin. Majakka valmistui vuonna 1759. Siitä katsotaan nykyaikaisen betonirakentamisen alkaneen.

Englantilainen James Parker patentoi vuonna 1796 sementin, jota kutsuttiin romansementiksi sen punertavan värin mukaan. Englantilainen Joseph Aspdin alkoi ensimmäisenä valmistaa sementtiä suuressa mittakaavassa vuonna 1824 Smeatonin idean perusteella. Kovettunut sementti oli vaaleaa ja kovaa kuin Portlandin kalkkikivi, siitä sen nimitys.

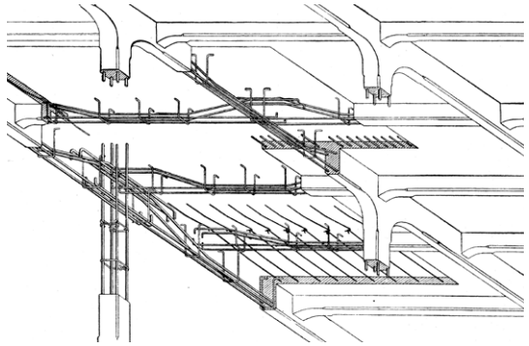
Nykyisenkaltaisen portlandsementin keksi vahingossa englantilainen Isaac Johnson liian korkeassa lämpötilassa poltetusta Aspdinsementin susierästä vuonna 1844 ja havaitsi näin sintraantumispisteen merkityksen sementin lujuudelle. Tästä alkoi betonin voittokulku ja suurteollisuuden synty.

Sementtitehtaita perustettiin ensin Englantiin ja Ranskaan ja sittemmin Saksaan ja Tanskaan, joista sementtiä alettiin tuoda Suomeen vuonna 1856. Hieman tätä ennen oli jo käytetty jonkinlaista sementtiä Saimaan kanavan muurirakenteissa. Ensimmäinen suomalainen sementtitehdas toimi Saviolla vuosina 1869–1894. Sementin laajempi teollinen valmistus alkoi Paraisilla vuonna 1914 ja Lohjalla vuonna 1919.

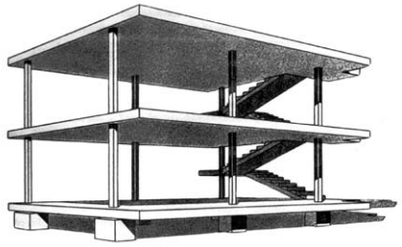
Betonia käytettiin aluksi laastina tai kivinä. Paikallavalu tehtiin pisé-tekniikan tapaan eli sullottiin puumuotteihin ilman raudoitusta. Tätä ns sullobetonia käytettiin satamalaitureissa, talojen perustuksissa sekä julkisivuornamenttien osiin. Betonista tehtiin myös kattotiiliä, harkkoja, viemäriputkia ja kaivonrenkaita.



Eddystonen majakka tavoittelee englantilaisen tammen lujaa muotoa.



Hennebique: Pilari-palkkijärjestelmä 1892



Le Corbusier: pilari-laattajärjestelmä "Dom-I-no" 1914

Teräsbetonin keksitään

Kivirakenteita on vahvistettu raudoituksin jo kauan ennen sementin keksimistä. Raudoitettu kipsirakenne (rabitz) kehiteltiin 1800-luvun alussa. Raudoituksia alettiin kokeilla myös betoniin 1800-luvun puolivälissä. Rautabetoni-nimitystä siitä käytettiin toiseen maailmansotaan saakka.

Rauta- eli teräsbetonin kuuluisin kehittäjä oli ranskalainen puutarhuri Joseph Monier, joka haki patentin vuonna 1855 betonisten kukkaruukkujensa raudoitusmenetelmälle. Monier sovelsi periaatteitaan edelleen putkiin vuonna 1868, seinälevyihin 1869 ja siltoihin 1880. Monier ei hallinnut raudoituksen optimaalista suunnittelua, mutta hänen rakennejärjestelmänsä tunnettiin laajalti.

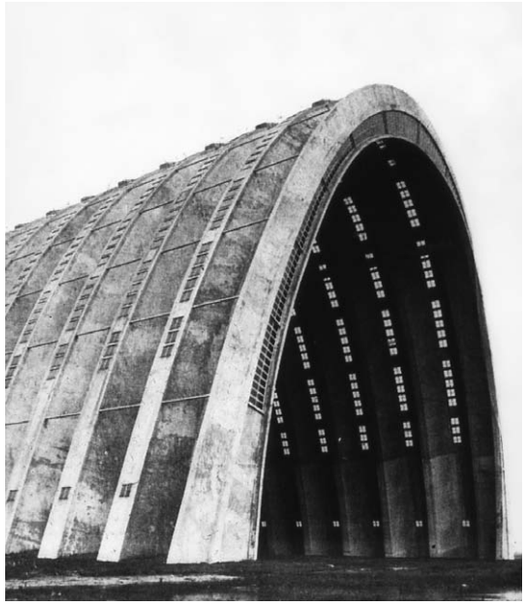
Muita teräsbetonin kehittäjiä olivat ranskalaiset Louis Lambot (betonivene 1850, teräsbetonilankku 1855) ja Edmond Coignet (teräsbetonirakenne 1855, sillat ja putket 1861) sekä englantilainen William Wilkinson, joka patentoi oman palkkirakenteensa vuonna 1854. Siinä hän oivalsi sijoittaa teräskaapelit rakenteen alaosaan ottamaan vastaan vetoa.

Raudoituksen jännittämistä on tutkittu jo 1850-luvulta lähtien. Jälkijännitetyn betonin patentin sai amerikkalainen Jackson vuonna 1886 ja esijännitetyn Eugene Freyssinet vuonna 1928.

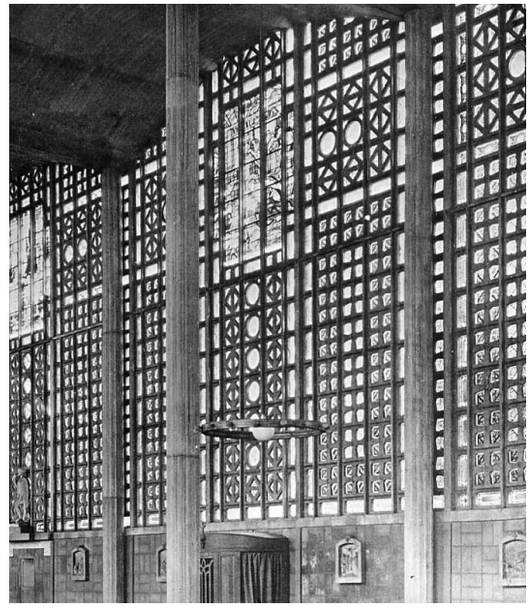
Teräsbetonin varsinainen läpimurto tapahtui Pariisin maailmannäyttelyssä vuonna 1900, kun François Hennebique esitteli monoliittisena valetun pilari-palkkirakenteen, johon hän oli saanut patentin vuonna 1892. Ei ole varmaa, tunsiko Hennebique Wilkinsonin patentin. Hän tunsi kuitenkin materiaalit hyvin ja osasi tehdä laskelmia.

Betonirungon kehitys johti vapaaseen plaaniin ja ei-kantavaan julkisivuun. Varhaisia esimerkkejä näistä ovat Rue Franklin 22 Pariisissa (Auguste Perret 1902) ja "Dom-I-no"-järjestelmä (LeCorbusier 1914).

Sullobetonisista kappaleista oli vain pieni askel raudoitettuihin elementteihin. Esivalmistettuja palkkeja käytettiin ensi kertaa Ranskassa 1890-luvulla ja julkisivuelementtejä Lontoossa vuonna 1882. Kokonaisten elementtitalojen rakentamista kokeiltiin niin Amerikassa kuin Euroopassakin jo 1900-luvun alussa.



Eugene Freyssinet: Ilmalaivan suojus, Orly 1916



Auguste Perret: Notre Dame, Le Raincy 1922

Betonin tulo Suomeen

Kotimaisen sementtituotannon alettua teräsbetoni löi varsinaisesti itsensä läpi, ja 1930-luvulla se oli jo yleisin rakennusaine Suomessa.

Maailman ensimmäiset betoninormit laadittiin 1877 Preussissa. Suomessa ensimmäiset määräykset betoni- ja rautabetonirakenteista laadittiin 1913 ja varsinaiset normit 1929.

Betonia käytettiin ensin teollisuudessa ja julkisissa rakennuksissa. Helsingin ensimmäiset betoniperustukset tehtiin Wreden pasaasiin 1882–92. Ensimmäinen Hennebique-rakenne oli Viipurin suomalaisessa tyttökoulussa vuonna 1905 (Jac. Ahrenberg).

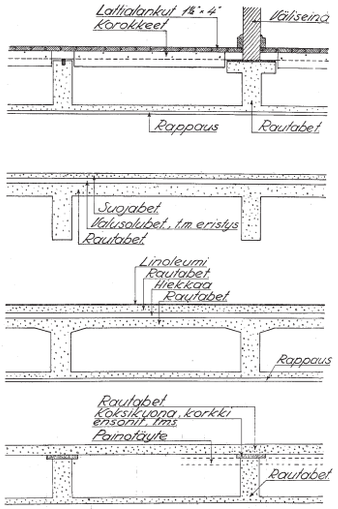
Betonivälipohjia pidettiin tulenkestävinä. Ne alkoivat nopeasti syrjäyttää puupalkkeja ja kappaholveja 1890-luvulla ja olivat aluksi holvimaisia, teräspalkkien varaan valettuja tai elementeistä koottuja liittorakenteita. Ensimmäinen vaakasuora välipohja valettiin Kaukaan rullatehtaalle vuonna 1900 (Selim A. Lindqvist). Silloin käytettiin myös ensi kertaa raudoitukseen pyörörautaa aikaisemman kierteisen lattaraudan sijaan. Betonivälipohjat yleistyivät nopeasti asuinkerrostaloissa 1930-luvulle mennessä. Julkisivut tehtiin kuitenkin tiilestä.

Betonin muotokieli alkoi pian näkyä 1900-luvun alun arkkitehtuurissa (Helsingin rautatieasema, Suvilahden voimala). Betonirunko mahdollisti isot näyteikkunat ja avoimet plaanit, joita hyödynnettiin liikerakennuksissa (Stockmann). Myös funktionalismi halusi ottaa betonin omakseen (Paimion parantola, Olympiastadion), mutta sitä käytettiin yleensä vain runkorakenteissa ja tiilijulkisivut rapattiin sileiksi betonisen ulkonäön saavuttamiseksi.

Kevytbetoni tuli Suomeen 1930-luvulla ja sitä käytettiin harkkoina tai valettavana lämmöneristeenä. Liukuvalu tuli Suomeen 1930-luvulla Amerikasta. Asuinkerrostaloon sitä on kokeiltu esimerkiksi Tapiolassa 1950-luvulla (Aarne Ervi).

1950-luvulla myös oivallettiin laajemmin että paikallavalu voi olla kaunista (LeCorbusier, betonibrutalismi). Kuorirakenteita tehtiin ulkomaisten esimerkkien mukaan (Oscar Niemeyerin Brasilia, Eero Saarisen Kennedy-lentokenttä).

Eliel Saarinen: Helsingin rautatieasema 1913



Yleisiä välipohjatyyppejä 1930-luvulla

Teollisen rakentamisen vaiheita Suomessa

Suomi alkoi kaupungistua 1930-luvulta lähtien. Asuntopula sekä työvoima- ja materiaalipula, jotka vielä voimistuivat sodan vuoksi, herättivät ajatuksen standardisoinnista ja elementtirakentamisesta.

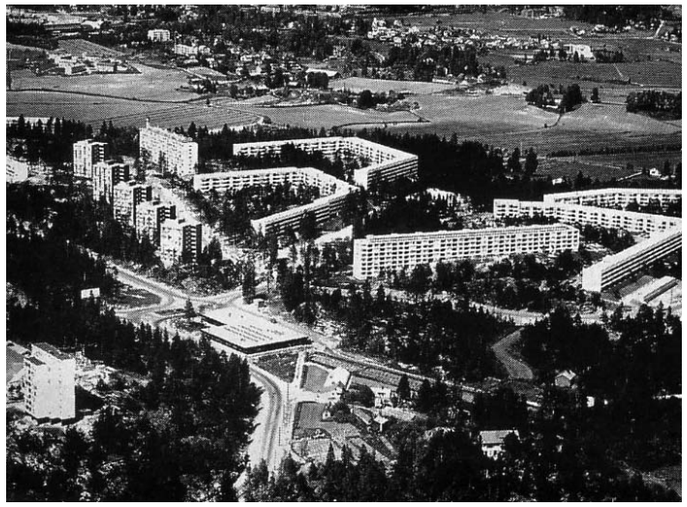
Suomen arkkitehtiliiton jälleenrakennustoimisto perustettiin 1942 ja nimi muutettiin Standardisoimislaitokseksi 1947.

Keskeinen standardisoinnin uranuurtaja oli arkkitehti Alvar Aalto. Hänen mukaansa standardisoinnissa ei tullut pyrkiä yhtenäiseen rakennustyyppiin, vaan päinvastoin niin suureen vaihteluun ja rikkauteen, että sitä voi verrata luonnon monimuotoisuuteen. Toinen vertailukohde oli kieli ja sanat, joiden yhdistelmiä on lukematon määrä. Arkkitehti Lauri Silvennoisen mielestä tärkeää taas oli elementtien tuotantoprosessin, mutta ei itse tuotteen standardisointi. Arkkitehti Aulis Blomstedt puolestaan piti oleellisena mittajärjestelmää. Hän kehittikin oman Canon 60-järjestelmänsä, joka ei kuitenkaan levinnyt yleiseen käyttöön.

1950-luvulla tehtiin joukko elementtikokeiluja yhdessä rakennusteollisuuden kanssa. Aarne Ervin Porthania (1952–53), Viljo Revellin Teollisuuskeskus eli Palace (1952) sekä Tapiolaan rakennetut Ervin Mäntykulma ja Revellin Mäntyviita (1954) olivat merkittäviä pioneeritöitä.

Elementit olivat aluksi pieniä ja ne valettiin työmaalla, kuten Kisakylän portaat 1951 ja Teollisuuskeskuksen julkisivulaatat 1952. 1950-luvun lopulla suurmuottitekniikka korvasi runkomuurauksen ja sileä valupinta vähensi rappauksen tarvetta. Työmaat koneellistuivat, jotta väki vähenisi. Rakennustyö siirtyi vähitellen sisätiloihin ja ympärivuotiseksi. Ensimmäinen elementtitehdas perustettiin 1950. Myös valmisbetoniteollisuus alkoi kehittyä.

Asuntoreformikilpailun 1952–53 voitti Viljo Revell ehdotuksellaan Sininen Nauha, jonka pitkien massojen toteutuksessa sovellettiin elementtejä ja työn porrastusta. Ensimmäisiä aluerakentamiskohteita oli Pihlajamäen asuntoalue (Lauri Silvennoinen ja Olli Kivinen), jota alettiin kehitellä 1959 ja toteutettiin pääosin 1964. Myöhemmin tuotantotekniikka tuli koko ajan tärkeämmäksi ja kaupungit laajenivat lähiöihin (Myllypuro, Jakomäki, Roihuvuori, Puotila ym). Elementtitehtaat yleistyivät 1960- ja 1970-luvuilla, jolloin asuinkerrostalojen perustyypiksi tuli seinälaattarakenne eli kirjahyllyrunko.



Lauri Silvennoinen: Pihlajamäen asuntoalue 1960–65

Viljo Revell: Teollisuuskeskus

Miten standardisoinnin alkuperäiset tavoitteet sitten toteutuivat? Elementtirakentamisen kehittämiseen 1950- ja 1960-luvuilla osallistui vain muutamia pioneeriarkkitehteja. Vaikka rakennettiin paljon, kaikki meni kaupaksi, jolloin tekniikka ja talous nousivat tärkeimmiksi tavoitteiksi.

Suunnittelijoita kiinnostava BES-elementtijärjestelmätutkimus alkoi 1968. Se tähtäsi asuinkerrostalojen avoimeen elementtijärjestelmään, ja suunnittelijoiden odotukset olivat aluksi korkealla. Valituksi tuli pitkälaatta-järjestelmä, jonka kantamoduli oli 3M (30 cm). Huoneistojen väliset seinät olivat kantavia ja sisäseinät pääosin keveitä. Rakennuksen runkosyvyys oli pitkälaatan monikerta lisättynä ulkoseinien paksuudella. Pitkät ontelolaatat paransivat asuntojen vapaamuotoista suunnittelua. Elementtien liitokset standardisoitiin ja julkisivut koottiin sandwich-elementeistä. Vuoden 1973 öljykriisi vaikutti mm elementtien ikkunakokoihin.

Rinnalle kehitettiin pilarilaattajärjestelmiä kuten PLS, mutta niiden käyttö jäi vähäiseksi BES-järjestelmän ehdittyä yleistyä 1970-luvulla. Pilarilaattajärjestelmä on periaatteessa erittäin muuntojoustava, mutta sen suhteellisen suurikokoinen vakiolaatasto ei sovellu helposti esim. asuntojen pinta-alajakaumaan ja rakennusoikeuden tarkkaan käyttöön.

1980-luvulla suunta kääntyi arkkitehtonisesti kiinnostavammaksi. Syitä siihen saattoivat olla lähiökritiikki ja massarakentamisen tarpeen väheneminen. Tämän ajan iskusanoja olivat mm jalostusaste, laatu, palvelu, tuotekehitys, markkinointi ja korkealujuuksiset betonit. BES-tutkimusta jatkettiin (Asukas-BES ja Runko-BES).

1990-luvulla tulivat mukaan mm asukasohjautuva tuotanto, tehtaiden automatisointi, tietokoneohjelmat, tuoteosakauppa ja elinkaariajattelu. Elementtien rinnalla kehitettiin myös paikallavalettuja rakenteita.

BES-tutkimus, kantavat seinät -malli

2. Betoni materiaalina

Betonin ainesosat

Määritelmiä

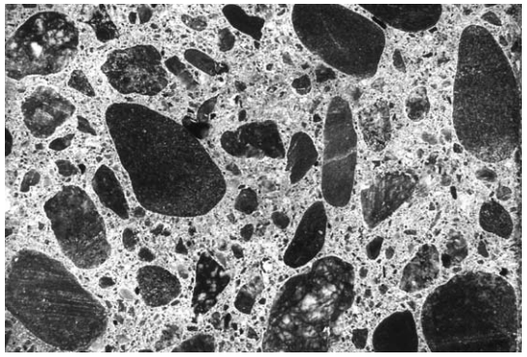
Betoni on betonimassasta kovettumalla syntyvä tekokivi. Sen ainesosat ovat kiviaines (ent. runkoaine), sideaine ja vesi.

Kiviaines on betonin kova ja lähes muuttumaton ainesosa. Se on rakeinen, luja ja tiivis materiaali, joka ei osallistu sementin reaktioihin.

Pasta (sementtikivi) on betonin huokoinen ja muuttuva ainesosa. Se on veden ja sementin reaktiotuote, sementtiliimasta kovettumalla syntyvä mineraalinen aine, joka yhdessä kiviaineksen kanssa muodostaa betonin.

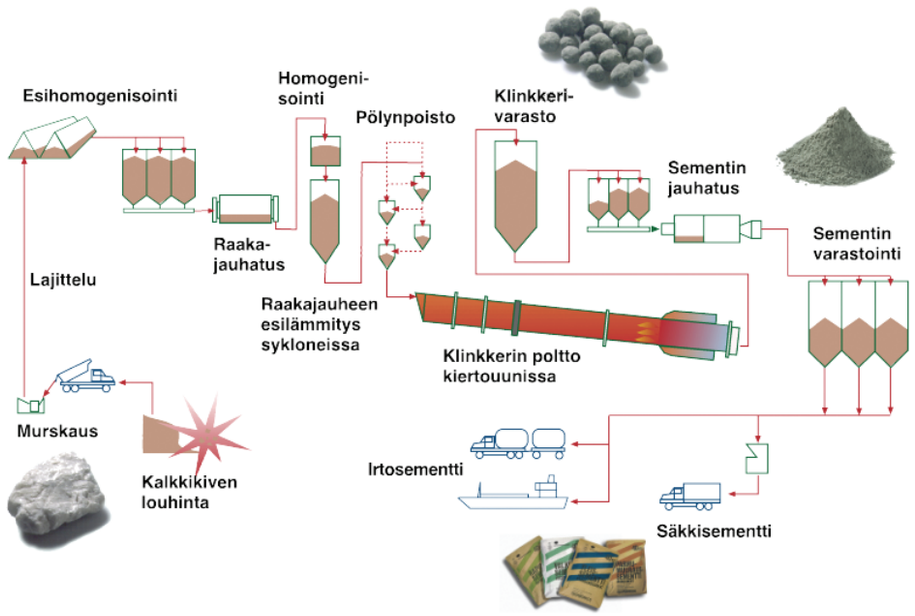
Sementtiliimaa eli veden ja sementin seosta voi muunnella erilaisin lisäainein, jotka vaikuttavat betonin ominaisuuksiin.

Sementtirakenteita ei ole olemassa.



Betonin poikkileikkaus

Sementtiuuni



Sementin valmistuskaavio

Sideaineet

Sideaine on veden kanssa reagoiva aine, jolla betoni kovettuu.

Tavallisin sideaine on sementti. Muita sideaineita ovat masuunikuona (terästeollisuuden sivutuote) sekä nykyaikaiset potsolaanit lentotuhka ja silika (amorfinen piioksidi).

Sementin raaka-aineita ovat luonnon mineraalit kalkkikivi, kvartsi ja savi.

Kalkkikivi ja savi jauhetaan jauhoksi ja poltetaan uunissa (nk rotaatiouuni) sintraantumispisteeseen saakka (n. 1400°C). Tällöin kalkki, pii, alumiini ja rautayhdisteet reagoivat keskenään muodostaen kalsiumyhdisteitä ja sintraantuvat sementtiklinkkeriksi. Reaktiossa poistuu vettä ja hiilidioksidia. Sula massa jäähdytetään nopeasti (n. 200°C). Seosaineet ja tarvittava kipsi (n. 5%) lisätään klinkkeriin kuulamyllyssä jauhamisen yhteydessä. Jauhatusvaiheessa valmistus erkanee eri sementtilaatuihin.

Portlandsementin koostumus:
- kalsiumoksidi CaO 63–67 %
- piihappo SiO2 20–25 %
- alumiinioksidi Al2O3 3–6 %
- rautaoksidi Fe2O3 2–4 %

Standardi SFS-EN 197-1 jakaa portland-sementit kolmeen eri lujuusluokkaan (32,5 ja 42,5 sekä 52,5 MPa), joissa jokaisessa on kaksi varhaislujuusluokkaa eli normaali (N) ja nopeasti kovettuva (R).

Erikoissementtejä ovat mm:
- valkosementti
- sulfaatinkestävä sementti
- muuraussementti
- aluminaattisementti
- injektointisementti
- paisuva sementti

Kalkkikiveä ja valkosementtiä

Kiviaines

Betonissa kiviaineksen tilavuusosuus on noin 70%. Tavallisin kiviaines on sora. Muita ovat esim. hieta, hiekka, kivet, kivimurske, kalliomurske, kierrätysbetoni, kevytsora, pellettikuona, laava.

Raekokoja valitaan 2–4 siten, että kiviaineksen väliin jäävän pastan (sementtikiven) määrä on mahdollisimman pieni. Betonin vesimäärän pienentäminen vähentää kutistumaa. Suurin sallittu raekoko riippuu rakenteen mitoista, ottaen huomioon valettavuuden ja rakenteen raudoituksen.

Kiviaineksen on oltava lujaa ja pakkasenkestävää, eikä se saa sisältää savea, silttiä tai kiillettä haitallisen paljon.

Vesi

Juomakelpoinen vesi soveltuu aina betonin valmistukseen. Suolainen vesi kuten merivesi ruostuttaa betoniraudoituksen. Epäpuhtaudet kuten rasva, sokeri tai humus haittaavat tai jopa estävät betonin kovettumista.

Lisäaineet

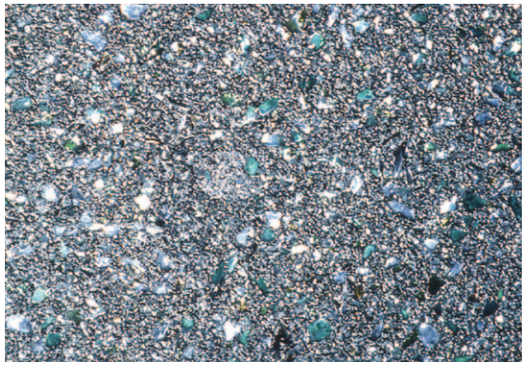
Lisäaineet vaikuttavat fysikaalisesti tai kemiallisesti betonin ominaisuuksiin.

Notkistimen avulla voidaan vähentää betonin vedentarvetta. Tällöin betonin puristuslujuus kasvaa ja betonin säilyvyysominaisuudet paranevat. Huokostimien avulla valmistetaan pakkasrasituksia kestävää betonia. Työtekniikkaa helpottavia lisäaineita ovat esim. kiihdyttimet, hidastimet, tiivistysaineet ja injektioaineet.

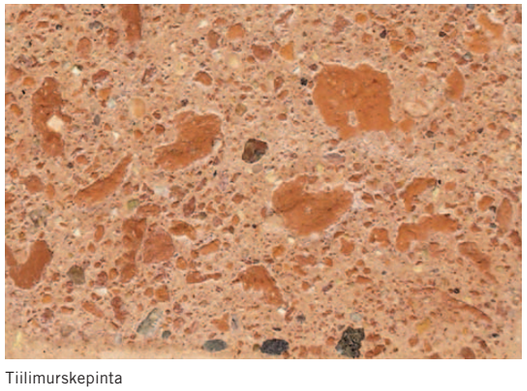
Erikoiset materiaalivalinnat

Erikoisempia kiviaineksia ovat lasimurske ja tiilimurske. Lasi ja betoni saattavat reagoida kosteassa keskenään (alkalireaktio); siksi lasimurskepinnan käyttö ulkotiloissa tulee selvittää aina erikseen. Tiilimurskepintaa käyttäen voidaan tehdä isoja tiilen sävyisiä pintoja. Kiviaines tulee näkyviin, kun pinta hiekkapuhalletaan, pestään tai hiotaan.

Hienopestyjä pintoja



Lasimurskepinta



Tiilimurskepinta

Suhteitus

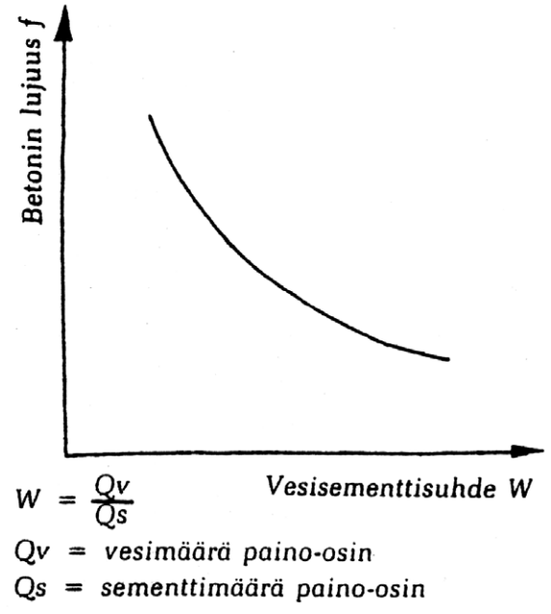
Suhteitus tarkoittaa betonimassan valmistukseen käytettävien kiviaineksen, sementin ja veden seossuhteiden määritystä sekä kiviaineksen rakeisuussuhteiden määritystä.

Vesisementtisuhde on betonimassan sisältämän vesimäärän ja sementin painon suhde.

Vesisementtisuhde ei saa olla korkeampi kuin 0,55 jos rakenteelle on asetettu pakkasenkestävyys- tai muita säilyvyysvaatimuksia. Tarvittava lisänotkeus saadaan aikaan käyttämällä notkistavaa lisäainetta.

Betonin lujuus riippuu sementtilaadusta, sementtimäärästä ja/tai vesisementtisuhteesta. Mitä enemmän sementtiliimaa ohennetaan vedellä, sitä enemmän huokosia on sementtikivessä ja sitä huonommat ovat betonin ominaisuudet. Toisaalta veden lisääminen tekee betonimassan valamisen helpommaksi.

Kevytsorabetonin valmistuksessa normaali kiviaines korvataan pääosin kevytsoralla. Kevytsorabetonia käytetään erityisesti harkkojen valmistukseen.



Lujuuden riippuvuus vesisementtisuhteesta

Erityisen huokoista betonia on kevytbetoni (Siporex). Se tehdään lisäämällä valuvaiheessa massaan alumiinijauhetta, joka synnyttää vetykuplia. Kevytbetonikappaleet höyrykarkaistaan autoklaaveissa noin 180 asteen lämmössä ja 1,0 MPa:n paineessa.

Betonin valmistus

Kuutiometrin betonia voi valmistaa esimerkiksi:
- kiviainesta 1,5 m³ = 1800 kg
  (hiekkaa 0,6 m³, soraa 0,9 m³)
- sementtiä 8 säkkiä = 320 kg
- vettä 150 kg – 180 kg

Omatoimirakentajalta vettä kuluu helposti enemmän eli noin 200 kg.

Tuore betoni on erittäin emäksistä. Se ärsyttää ihoa ja silmiä. Siksi suositellaan käytettäväksi suojalaseja, työhaalareita, työkäsineitä ja saappaita.

Betonin kovettuminen

Betonin kovettumista ja kuivumista ei pidä sekoittaa toisiinsa.

Kovettumisreaktio eli sementin hydrataatio alkaa kun sementti ja vesi yhdistetään. Kosteutta tarvitaan koko reaktion ajan. Lujuutta syntyy niin kauan kuin reagoimatonta sementtiä ja vapaata vettä riittää. Sementti kovettuu myös veden alla.

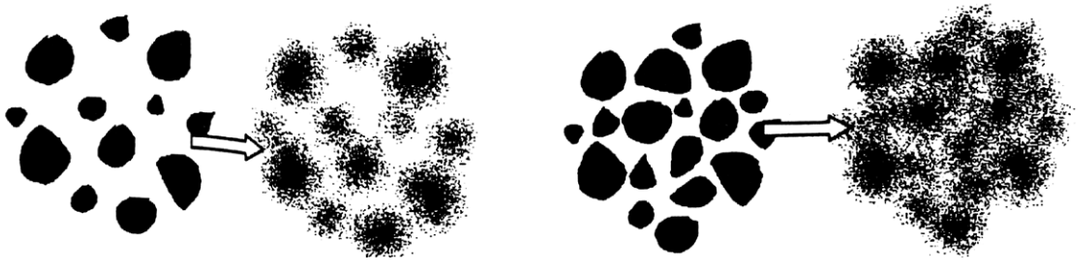
Seos pysyy ensin notkeana, mutta alkaa noin tunnin kuluttua hyytelöityä ja menettää plastisuuttaan eli sementti sitoutuu.

Hyytelön kiinteys lisääntyy ajan funktiona ja alkaa ns kovettuminen. Sementin sitoutumisreaktiossa syntyy lämpöä. Hydrataatiossa betonirakenne lämpenee sitä enemmän, mitä massiivisempi rakenne on. Betonin lujuuden kehitystä seurataan mittaamalla lämpötilaa ja kovettumisaikaa.

Kovettumisreaktio alkaa sementtihiukkasen pinnalta ja muodostaa sille yhä kasvavan reaktiotuotteiden kalvon. Vesi sitoutuu kalvoihin ja kalvojen väleihin ns geelihuokosiin. Osa vedestä jää kapillaarihuokosiin. Suurimpien sementtirakeiden sisällä voi olla reagoimatonta materiaalia vielä vuosien jälkeen.

Mitä hienompaa sementti on, sen nopeampi reaktio. Reaktio nopeutuu lämpimässä. Tarvittaessa kiviainesta ja vettä voidaan lämmittää (max 60 °C:een). Reaktioaikaan voi vaikuttaa myös hidastimien (inhibiittorien) tai kiihdyttimien (katalyyttien) avulla.

Betonin kuivuminen tarkoittaa sitä, että vapaa huokosvesi poistuu. Samalla betoni kutistuu. Tavanomainen betonin kuivumiskutistuma on 0,4–0,6 promillea eli 0,4–0,6 mm rakenteen pituusmetriä kohti. Ensimmäisen kuukauden aikana seinämäinen rakenne kutistuu noin puolet kokonaiskutistumastaan.



Mitä suurempi vesisementtisuhde, sitä kauemmin kestää ennen kuin kiteet kasvavat yhteen ja massa sitoutuu sekä sitä alhaisemmaksi jää betonin lopullinen lujuus.

Betonin ominaisuudet

Paino

Kuutio tavanomaista raudoitettua betonia painaa n. 2400 kg ja sisältää suunnilleen:
- kiveä 1850 kg
- sementtiä 270 kg
- vettä 190 kg
- terästä 80 kg
- ilmaa 20 litraa

Puristuslujuus

Lujuuden yksikkö on megapascal (MPa) (MPa = MN/m^2 = 10^6 N/m^2 = N/mm^2).

Betonille on ominaista hyvä puristuslujuus, mutta sen vetolujuus on vain 1/10 puristuslujuudesta. Betoni jaetaan sen puristuslujuuden perusteella 5 MPa:n välein luokkiin K10, K15, K20 – K100. Betonin lujuusmerkinnät muuttuvat eurokoodien myötä siten, että esim. K30 on C25. Siirtymäkaudella voidaan käyttää merkintää C25/30.

Betoniteollisuuden käyttämät vaativammat rakenteet ovat lujuusluokkaa K30 – K60. Korkealujuusbetonin lujuus on K60 – K100.

Ultralujan betonin (RPC eli Reactive Powder Concrete) pölymäiseksi jauhettu kiviaines sekä teräsjauhe ja -kuidut tiivistävät betonin niin, että sen puristuslujuus voi olla jopa 800 MPa.

Betonin lujuus arvostellaan yleensä 28 vuorokauden iässä, vaikka lujuuden kehitys jatkuu jopa vuosia.

Tiiviys

Huokoisena aineena betoni ei ole täysin vesitiivistä, vaan kysymys on eriasteisesta vedenpitävyydestä. Kapillaarihuokosten määrällä on tässä oleellinen merkitys. Huokosia syntyy vähemmän, jos vesisementtisuhde on < 0,6 (lujuusluokka > K30) ja betonimassan kiviaines sisältää kaikkia raekokoja oikeassa suhteessa. Lisäksi massan tulee olla niin notkeaa, että se täyttää muotin kaikkine koloineen. Betonin tulee kovettua moitteettomasti eikä siihen saa syntyä halkeamia.

Hitaasti betonissa kulkeva vesi voi liuottaa kalkkia ja tukkia sillä huokosia, mutta täydellinen vedenpitävyys syntyy varmimmin pinnoitteiden avulla, jotka sijoitetaan vedenpaineen puolelle.

Kevyet hiilivedyt kuten bensiini läpäisevät betonin.

Säilyvyys

Betonin lujuus heikkenee, jos lämpötila on > 250 °C. Jos betonia kuumennetaan, reaktiotuotteet hajoavat ja vettä poistuu edelleen. Reaktiotuotteet hajoavat kokonaan vasta noin 1000 °C lämpötilassa.

Rasitusluokasta riippuen rakenteelle asetetaan vaatimuksia betonin säilyvyyden varmistamiseksi. Vaatimuksia asetetaan mm näihin seikkoihin:
- betonin lujuus
- raudoituksen betonipeite
- vedenpitävyys
- ilmamääräsuositus ja huokosjako
- minimisideainemäärä
- kloridipitoisuus
- kiviaineslaatu
- kemiallisesti agressiivisessa ympäristössä minimisementtimäärä, sementtityyppi ja vesisideainesuhde.

Muodonmuutokset ja mittapoikkeamat

Kimmoiset muodonmuutokset aiheutuvat lyhytaikaisesta kuormituksesta ja palautuvat ennalleen kuorman poistuttua.

Plastiset muodonmuutokset syntyvät suurista kuormista, eivätkä palaudu ennalleen.

Betonin sisäinen rakenne voi muuttua ajan tai ilmastoolojen vaikutuksesta. Seurauksia ovat kutistuminen ja viruminen. Kutistumisessa voidaan erottaa plastinen painuma ja plastinen kutistuma.

Kuivumiskutistuma alkaa betonin pinnasta sen kuivuessa. Sisäosa vastustaa syntyvää kutistumisliikettä. Koska betonilla on alhainen vetolujuus, pintaan syntyy halkeamia. Toinen tärkeä syy muodonmuutoksiin on lämpölaajenema sekä vastaava kutistuma lämpötilan laskiessa. Niiden seuraukset ovat samat

Halkeamat tehokeinona: rikotun pintalaastikerroksen halkeamia on korostettu värimassalla.

kuin kuivumiskutistumassa. Rakenteet tulee suunnitella muodonmuutoksia silmälläpitäen (liikuntasaumat, laakerointi).

Viruminen tarkoittaa sitä, että kuormitetun betonikappaleen muodonmuutos jatkuu ajan kuluessa, johtuen sementtigeelin tiivistymisestä puristuksessa.

Pakkasenkesto

Vesi laajenee jäätyessään noin 9 %. Laajeneminen on suurinta juuri ennen sulamista, kun jää lämpenee. Jos betonin kaikki huokoset ovat täynnä vettä, laajeneminen aiheuttaa mikrohalkeilua. Halkeilu lisääntyy jäätymis- ja sulamiskertojen toistuessa ja johtaa lopulta betonin rapautumiseen.

Betonin pakkasenkestävyys perustuu siihen, että massa huokostetaan lisäaineella. Suojahuokoset (0,01–0,8 mm) ovat täynnä ilmaa ja antavat jäätyvälle vedelle tilaa laajeta. Suojahuokoset ovat juuri sen verran isoja, että kapillaarihuokosissa oleva vesi ei jaksa täyttää niitä veden pintajännityksen vuoksi. Tuoreessa betonimassassa nämä ilmakuplat toimivat myös hienojakoisena aineena eli ”fillerinä”. Ne vähentävät veden tarvetta ja parantavat massan työstettävyyttä ja koossapysyvyyttä.

Talvibetonointi

Talvibetonointi mahdollistaa rakentamisen jopa -20 °C lämpötilassa, mutta edellyttää erityisjärjestelyjä ja -taitoja.

Talvioloissa on oleellista, että betoni saavuttaa hydrataation kautta riittävän lujuuden, ennen kuin se jäätyy. Jäähtymistä on myös hallittava, jotta pinnan ja sisäosien välinen lämpötilaero ei rikkoisi massiivista rakennetta.

Keinoja ovat normaalia lämpimämpi betonimassa (30–50 °C, ns kuumabetoni), muottien suojaus ja lämmöneristäminen tai säteilylämmitys sekä betonin oma hydrataatiolämpö.

Massan lämpötilaa ja lujuuden kehitystä seurataan. Betonimassan lämpötilan on oltava betonoinnin päättyessä vähintään +5 °C. Muotit puretaan ja rakennetta kuormitetaan rakennesuunnittelijan ohjeen mukaan.

Pieniin valuihin kuten saumoihin voi käyttää pakkasessa kovettuvaa pakkasbetonia, joka sisältää veden jäätymistä estävää lisäainetta.

Talvibetonointia

Betoni ja kestävä kehitys

Betoni on eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. Betonia käytetään vuosittain lähes 10 miljardia kuutiometriä eli yli 1 m^3 maapallon jokaista asukasta kohti. Sen vahvuuksia ovat mm kestävyys, turvallisuus, helppo valmistusteknologia ja elinkaariedullisuus. Betonin raaka-aineet ovat luonnontuotteita, joita on kaikkialla maapallolla lähes rajattomasti. Erityisesti kosteudensietoa vaativissa suurissa rakennelmissa betonia on vaikea korvata millään.

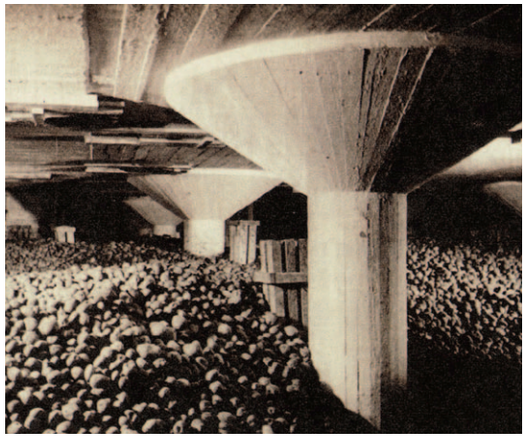
Eurooppalaisen menettelyn mukaan ekotehokkuustarkastelu tehdään koko rakennukselle ja koko sen elinkaaren ajalta, eli sen rakentamisesta purkamiseen asti. Materiaaleihin ja rakentamiseen kuluu energiaa vain murto-osa verrattuna siihen, mitä koko elinkaaren aikana kuluu rakennuksen lämmitykseen ja sähköön. Betonirakennus on pitkäikäinen, erityisesti sen runko. Massiivisena rakenteena betoni varaa ja tasaa lämpöä, säästäen näin energiaa ja sen tuottamia päästöjä.

Sementtiteollisuus on vahvasti energiaintensiivinen teollisuudenala ja sen tuottamat hiilidioksidipäästöt kattavat noin 6 % kiinteiden ihmisen aiheuttamien hiilidioksidilähteiden päästöistä. Portlandsementin vuosituotanto Maapallolla lähestyy kahden miljardin tonnin rajaa muun muassa Kiinan rakennusboomin takia.

Yhden sementtitonnin valmistamiseen tarvitaan puolitoista tonnia kalkkikiveä. Sementin valmistus ja kuljetus vaativat energiaa noin 4500–5000 MJ/sementtitonni ja aiheuttavat hiilidioksidipäästöjä 700–800 kg/t. Noin 40 % sementin hiilidioksidipäästöistä aiheutuu sementin valmistuksessa tarvittavasta energiankulutuksesta ja 60 % sementtiklinkkerin poltossa tapahtuvasta kemiallisesta reaktiosta.

Betonin karbonatisoituessa käytön aikana ja purkuvaiheen jälkeen siihen sitoutuu takaisin poltossa kemiallisesti vapautunutta hiilidioksidia. Sitoutumisnopeuteen vaikuttavat betonin lujuus ja käyttöympäristö. Tiivis ja korkealujuuksinen betoni karbonatisoituu hitaimmin. Jos betoni murskataan, karbonatisoituminen nopeutuu.

Entinen vihannesvarasto toimistokäytössä.
Senaatti-kiinteistöjen toimitalo, Helsinki.
Arkkitehtuuritoimisto Heikkinen-Komonen Oy, 2002



Sementtiteollisuuden prosessia kehitetään jatkuvasti. Keinoja ovat mm. tuotannon tehostaminen, vaihtoehtoiset energialähteet ja pölypäästöjen suodatus. Sementin hiilidoksidipäästöjä vähennetään seostamalla sementtiä muilla hydraulisesti toimivilla komponenteilla, kuten masuunikuonalla ja lentotuhkalla.

Betoniteollisuus vähentää päästöjään mm seuraavin keinoin: prosessi- ja pesuvesien kierrätys, lämmön talteenotto, kiviaineksen uudelleenkäyttö, lietteiden käyttö maanparannusaineina sekä kivilouhosten maisemointi ja uudelleenkäyttö. Purettu ja murskattu betoni voidaan käyttää maarakentamiseen tai uuden betonin seassa (n. 20–30% kiviaineksesta).

Kalkkikivestä valmistusprosessissa irtoavan hiilidioksidin määrään ei voida vaikuttaa muulla tavalla kuin vähentämällä kalkkikiven käyttöä sementin valmistuksessa.

Mitä suurempi osuus sementistä korvataan lentotuhkalla tai masuunikuonalla, sitä vähemmän syntyy hiilidioksidipäästöjä. Roomalaisten potsolaania muistuttava geopolymeerisementti tehdään pääsääntöisesti näillä materiaaleilla, mutta sitä tuotetaan vielä pienimuotoisesti.

Magnesiumsementit ovat myös vasta kehitteillä. Ne voidaan valmistaa mineraaleista, jotka ilmalle altistuessaan poistavat hiilidioksidia ilmakehästä. Betonirakenteesta tulee näin hiilinielu. Haittana on heikko kosteudenkestävyys sekä korkeampi hinta, koska magnesiumia sisältävät kivilajit (esim. serpentiini) ovat kalkkikiveä harvinaisempia.

Rakennuksen säilyttäminen säästää ympäristöä. Betonin oikea koostumus (mm sementin määrän optimointi) vaikuttaa betonin säilyvyyteen ja sitä kautta käyttöikään. Pitkän käyttöiän saavuttamiseksi rakennukset suunnitellaan monikäyttöisiksi, muuntojoustaviksi ja energiatehokkaiksi. Korjaustarvetta vähennetään suunnittelemalla ja rakentamalla yksityiskohdat oikein. Kaunis ja toimiva rakennus koetaan säilyttämisen arvoiseksi.

3. Paikallavalurakentaminen

Muotti

Betonilla ei ole omaa muotoa. Se mukautuu lähes millaiseen muottiin tahansa. Suorakulmainen ja suorasivuinen muotti on kuitenkin helpompi rakentaa kuin kaareva muotti.

Betoni kopioi muotin tarkasti ja toistaa negatiivina muotin muodon ja pinnan.

Muotin valinnassa otetaan huomioon esimerkiksi
- rakenteen muoto ja sen mukainen muottikalusto ja mahdolliset vakio-osat sekä työvaiheet
- muotin rakenne ja lujuus, eli miten muotti pysyy muodossaan betonoinnin aikana
- koottavuus, purettavuus ja mahdollinen uudelleenkäyttö
- muotin betonia vasten oleva pinta
- muotin saumajako
- muottisiteiden sijoitus
- betoniraudoitus

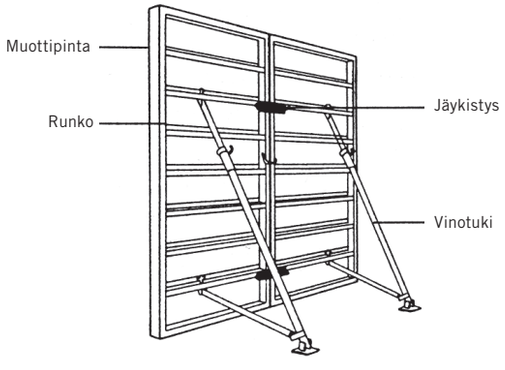
Muottikierto tarkoittaa muottien käyttöä pystytyksestä purkuun ja uudelleen pystytykseen.

Tavallisesti muotti irrotetaan valetusta betonista ja käytetään uudelleen. Muotti kuluu käytössä ja vaatii huoltoa aina ennen uutta valua.

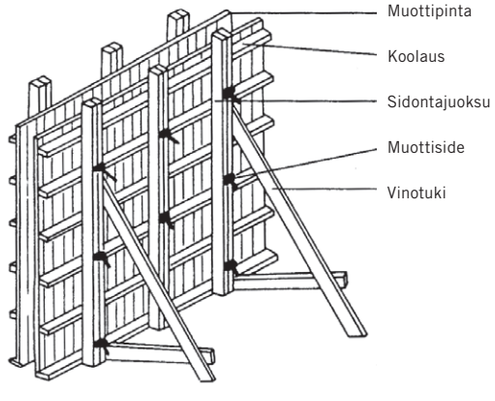
Muotti voi olla myös kertakäyttöinen siten, että se tuhoutuu purettaessa tai jää paikalleen osaksi pysyvää rakennetta.

Pystyrakenteiden muotit (paikallavaluun)
- paikallatehdyt lauta- tai levymuotit
- seinämäiset suurmuotit
- kevyet kasettimuotit
- järjestelmämuotit
- vakiopalkit ja muottilevyt
- pilarimuotit
- kaarevien seinien muotit
- liukuvalumuotti
- kiipeävä muotti

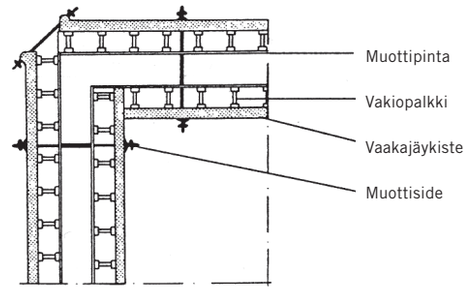
Vaakarakenteiden muotit (paikallavaluun)
- pöytämuotit
- holvikasettijärjestelmät
- paikalla tehdyt lauta- ja levymuottijärjestelmät
- kannatinpalkkijärjestelmä
- vakiopalkit ja muottilevyt
- palkkimuotit
- kupumuotti
- liittorakenteiden muottina toimivat osat kuten teräspoimulevy ja kuorilaatta



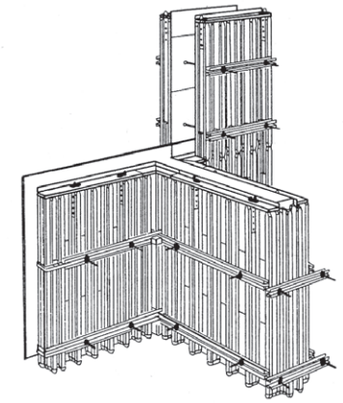
Kasettimuotti

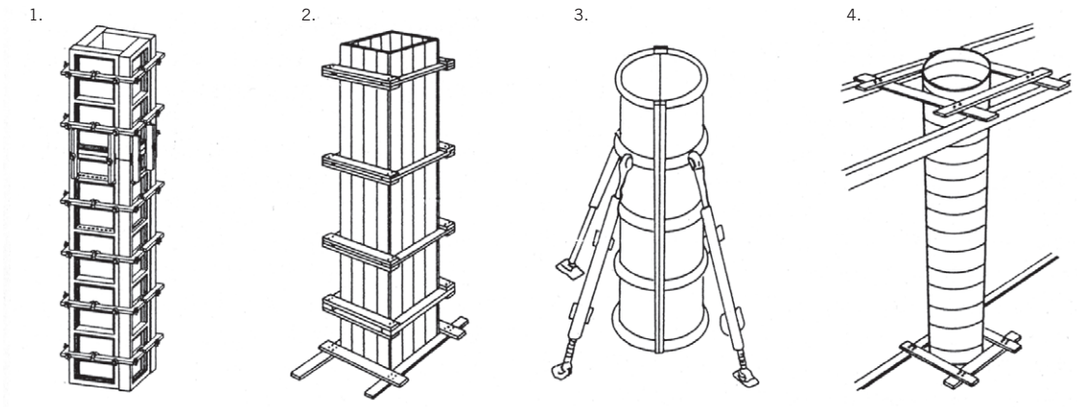


Seinän sahatavaramuotti

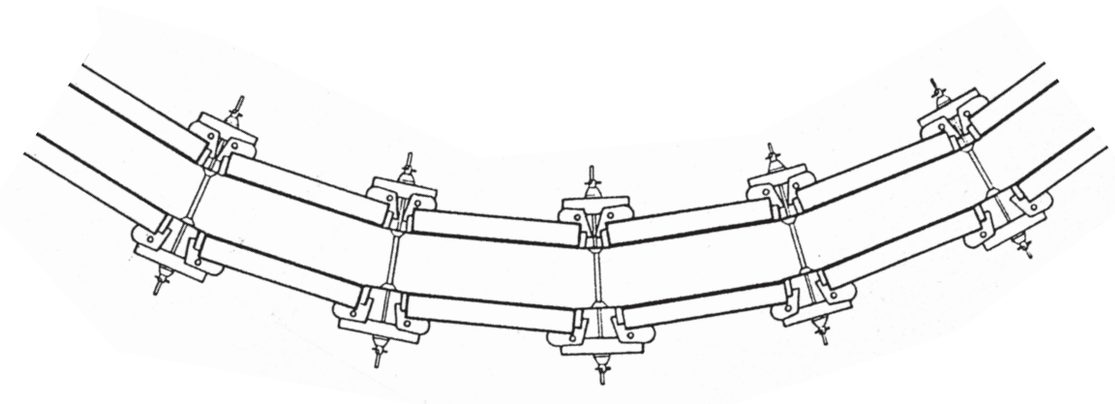


Vakiopalkit ja muottilevyt

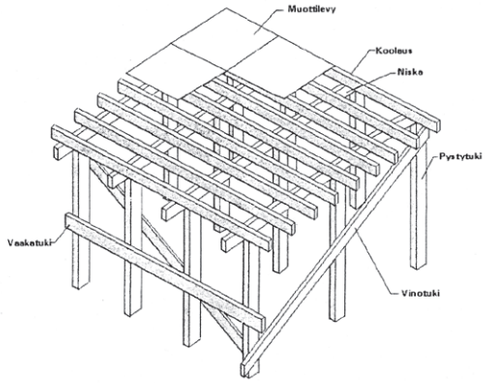




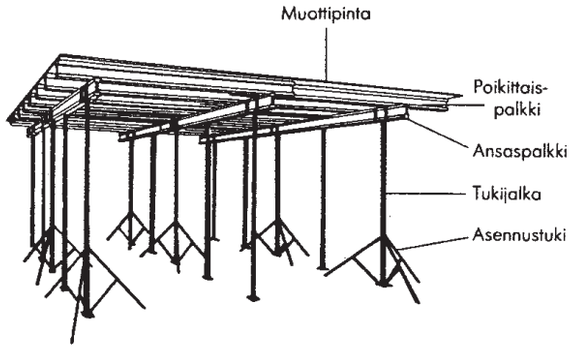
Erilaisia pilarimuotteja:
1. Normaalikasetit ja kulmaliittimet
2. Pilarin sahatavaramuotti
3. Pilarin teräsmuotti
4. Pilarin kartonkipahvimuotti



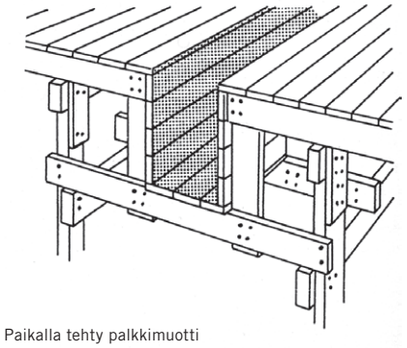
Kaareva järjestelmämuotti



Levypintainen pöytämuotti



Vakiopalkit ja muottilevyt



Paikalla tehty palkkimuotti

Paikallavalettuja plastisia muotoja.
Lyon-Satolas-asema, Santiago Calatrava

Muottipinnat

Muottipinnan valinnalla voidaan vaikuttaa betonipinnan tekstuuriin ja värisävyyn.

Himmeässä pinnassa valo siroaa, joten karkea muottipinta tekee betonin pinnasta tummemman kuin sileä. Jos muottipinta imee vettä tai sitä erottuu muotin vauriokohdasta pois, betonin vesisementtisuhde muuttuu paikallisesti vähävetisemmäksi ja pintakerroksesta tulee siltä osin tummempi, tiiviimpi ja vähähuokoisempi.

Lopputulos on sitä parempi, mitä huolellisempia työtapoja noudatetaan.

Sahatavaramuottipinta
on paikallavaluissa perinteinen vaihtoehto. Lopputulokseen vaikuttavat sahauksen jälki sekä puulaji. Betonipinnasta tulee sileämpi jos puu höylätään tai hiekkapuhalletaan. Oksakohdista jää tummempi jälki, koska ne imevät enemmän vettä. Lautamuotti on aina kasteltava hyvin tai käytettävä muotinirrotusainetta. Muotin ja muottisaumojen tulee olla tiiviitä. Pontattu saumarakenne vähentää purseita. Rimoja ja lautoja voidaan käyttää elävöittämään tasaista muottipintaa. On muistettava puun kosteuskäyttäytyminen, jotta muotti irtoaa.

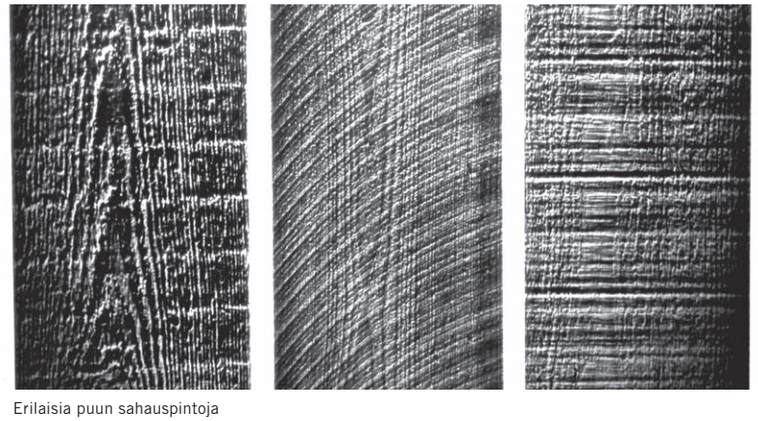
Puupohjaiset muottipinnat
Näitä ovat erilaiset vanerit, pinnoitetut vanerit (yleinen) sekä kosteudenkestävä lastulevy. Puupohjaiset pinnoittamattomat levyt imevät voimakkaasti vettä. Se voi haitata betonin hydratoitumista, jolloin betonipinnasta tulee pölisevä (eli hieno pinta-aines irtoaa). Siksi puupohjaiset levyt tulee käsitellä (öljy, lakka, muotinirrotusaine) tai pinnoittaa (filmipinta).

Teräspinnat
soveltuvat toistuviin rakenteisiin, koska muottien käyttökertamäärä on suuri. Niillä aikaansaadaan myös suuria yhtenäisiä sileitä pintoja.

Lasikuitu- ja muovipinnat
ovat yleisiä pilarimuoteissa tai erikoismuoteissa (kupumuotit). Tiivispintaisina ne vaativat matalia valukerroksia ja huolellisen betonin tiivistyksen, jotta betonipintaan kertyvät ilmahuokoset poistuvat.

Muottikankailla
aikaansaadaan valuhuokosettomia betonipintoja, koska ilma pääsee tärytyksessä kankaan läpi. Myös pinnan tiiveys ja säilyvyys paranevat. Valu vaatii ennakkokokeita. Tuloksena on kangasmainen pinta, josta voi tulla kirjavuutta. Kangas pestään valujen välillä, ensimmäinen valu on laadultaan paras. Kangas on kiristettävä huolellisesti kiinni muottiin.

Kumi ja elastiset materiaalit
sopivat kohteisiin, joissa on voimakkaita pintakuvioita ja pienet päästökulmat. Koska nämä muottimateriaalit ovat kalliita, ne soveltuvat pieniin ja/tai usein toistuviin pintoihin.



Erilaisia puun sahauspintoja

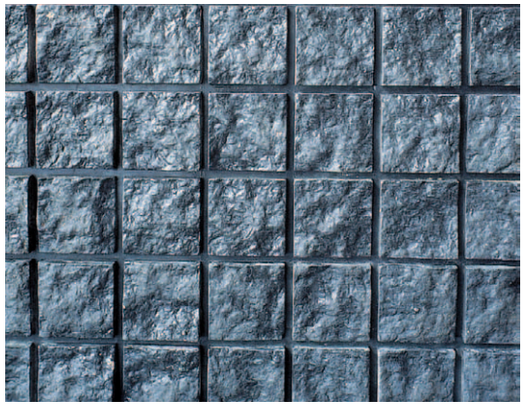
Tavallisia muottipintoja

Vanerimuottipinta

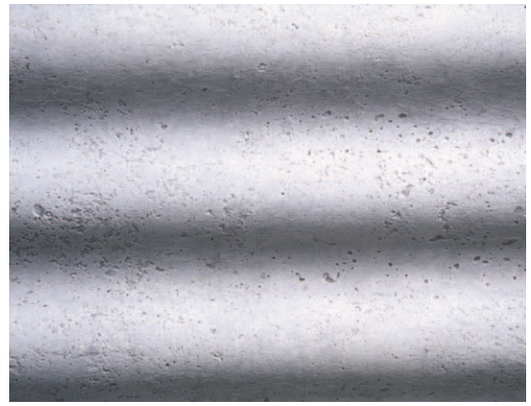
Raakalautapinta

Puulevypinta

Erikoisia muottipintoja

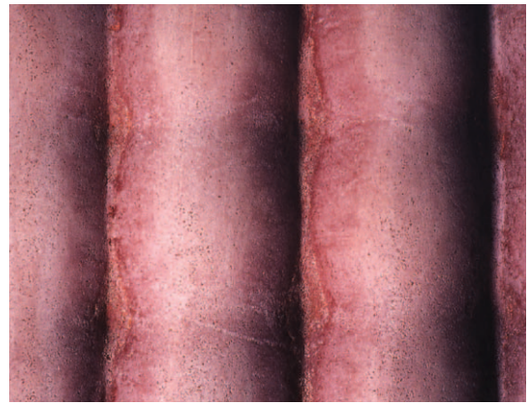


Kumimuottiin valettu väribetoni



Aaltopeltiin valettu pinta

Muottikankaalla teksturoitu pinta



Muotoiltuun Styrox-muottiin valettu pinta

Rypistetty voimapaperi

Paikallavalettu muottikangaspinta

Työsaumat

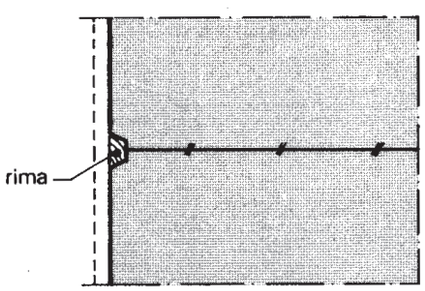
Kovettuneen ja tuoreen betonikerroksen rajapintaan syntyy aina näkyvä työsauma. Työsauma näkyy sävyrajana yhtenäisen valetun rakenteen pinnassa.

Työsaumat suunnitellaan rakenteellisesti ja ulkonäöllisesti edullisiin paikkoihin valualueiden koon mukaan.

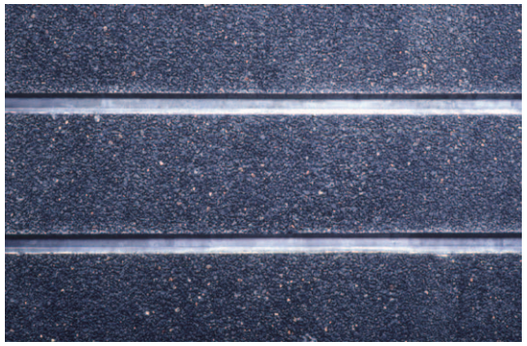
Muottilevyjen koko ja sijainti suunnitellaan etukäteen, jos halutaan että saumajako osuu kauniisti näkyviin jäävässä rakenteessa.

Valusaumakohdan voi häivyttää saumalistalla. Tiheämpää jakoa haluttaessa käytetään lisänä valesaumoja. Saumalistan tulee olla muodoltaan sellainen, että muotin ja listan purku onnistuu ilman betonipinnan vaurioitumisriskiä.

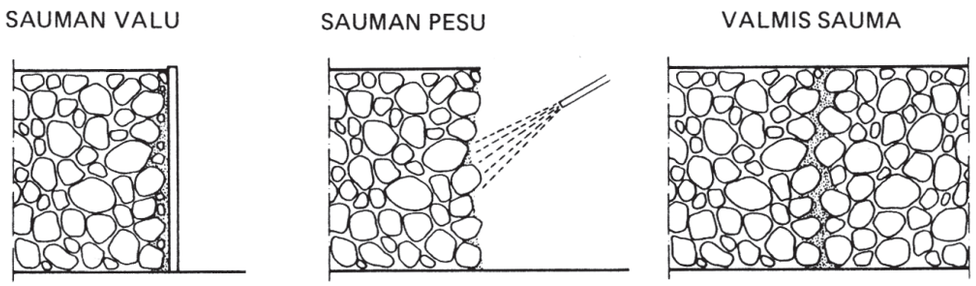
Liikuntasaumoissa ja rakenteen ulkonurkissa voidaan käyttää kolmiomaisia listoja. Särmien viistoaminen tai pyöristäminen vähentää vaurioriskiä ja tiivistää muotin nurkkaa. Jos nurkat halutaan teräviksi, muottien nurkat tiivistetään saumamassalla.



Saumalistan käyttö täsmentää työsaumaa



Valesaumat tehokeinona



Vaativissa ympäristöoloissa voi käyttää pestyä työsaumaa, joka on melkein yhtä luja kuin homogeninen betoni. Peseminen ei häivytä saumaa visuaalisesti.

Muottisiteet

Muottiside on metallitanko, joka lävistää koko muotti-rakenteen ja estää muotin sivuja pullistumasta. Siteen päät lukitaan sidepulteilla muotin ulkopintaan. Kun muotit puretaan, siteet katkaistaan joko betonin pinnasta tai n. 15 mm syvyydeltä ja reiät tasoitetaan. Muoviputkeen asetettu muottiside voidaan poistaa kokonaan.

Muottisiteestä jää siistimpi jälki, jos käytetään kartiomaista muovista laajennusosaa muottisiteen ulostulokohdassa ja poistetaan se valun jälkeen. Rakenteen läpi ulottuva reikä tukitaan esim. styroxilla. Kartion pohja paikataan laastilla tai liimataan esimerkiksi kuitubetonista tehdyllä täytteellä tai tukitaan ns. sidetulpalla.

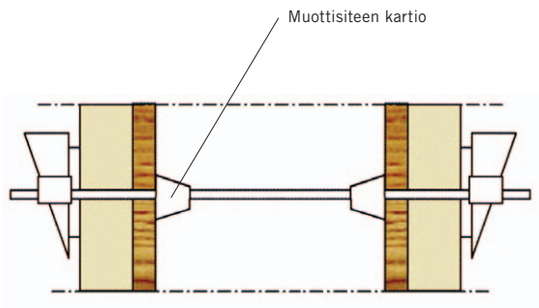
Kartion jättämä kolo voidaan paikata seinäpinnan tasoon. Paikkaus jää aina näkyväksi. Koloa voi myös käyttää osana arkkitehtuuria jättämällä se tasoittamatta. Tällöin muottisidereikien sijainti merkitään piirustuksiin ja sijoitetaan kauniisti muottilevyjen saumakenttiin. Pelkkiä kartioitakin voi käyttää täydennyksenä, jos muottisiteistä ei muodostu haluttua vaikutelmaa.

Muotinirrotusaineet

Muotinirrotusaineet estävät betonin vaurioitumista muotin purkamisen aikana. Samalla ne estävät vettä imeytymästä muotteihin, jolloin betonipinnasta tulee vaaleampi.

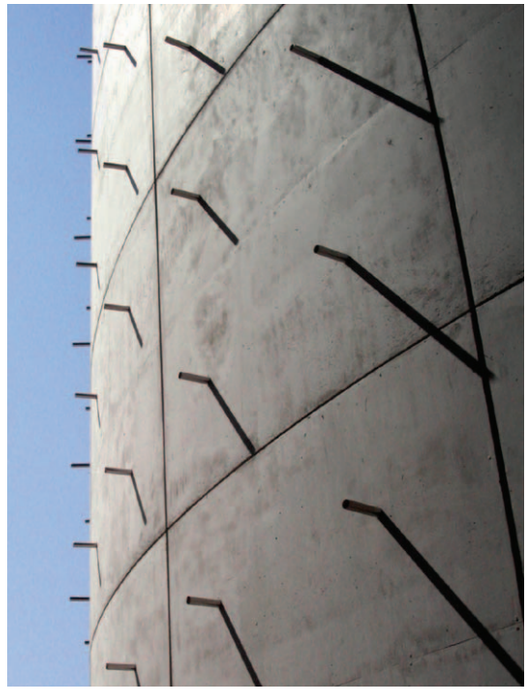
Aine ruiskutetaan ohuena kerroksena tasaisesti muottipintoihin aina ennen uutta valua. Liian paksu kerros voi aiheuttaa tummentumia, epätasainen kerros taas kirjavuutta tai sen, että muotti tarttuu osittain betoniin.

Muotinirrotusaineita
- lisäaineilla täydennetyt mineraaliöljyt
- kemiallisesti aktiiviset muotinirrotusaineet
- vesiöljy-emulsiot
- kasvisöljypohjaiset muotinirrotusaineet
- vedettömät kasvisöljyt



Muottisiteiden jättämiin reikiin on sijoitettu ruostumattomia teräsputkia, jotka tuulettavat paikallavalettua kuorirakennetta.

Lleidan yliopiston kirjasto ja kulttuurikeskus, Espanja
Gullichsen-Vormala Arkkitehdit Ky, 2003



Ulkonäköön vaikuttavat seikat

Käsitteitä

- *Puhdasvalupinta*
  on yleisnimi kuvaamaan hyvälaatuista betonipintaa, joka jätetään näkyviin käsittelemättömänä tai käsitellään kuultavalla, muottipintamateriaalin valujäljen näkyväksi jättävällä pinnoitteella (maali, kuultopinnoite, pölynsidonta-aine tms).

- *Sileävalupinta*
  viittaa haluttuun muottipintamateriaaliin (esim. sileät vanerit).

- *Raakavalupinta*
  on yleensä piiloon jäävä pinta, jolla ei ole erityisiä ulkonäkövaatimuksia.

Muottia vasten valetut pinnat

Muottipinta kopioi tarkasti muotin pinnan kuvion. Pastakerrokseen jää selvät jäljet pienimmästäkin muotin epätasaisuudesta. Myös ilmahuokosten määrä vaihtelee muotin pinnan ja betonin ominaisuuksista sekä tärytyksestä riippuen. Muotit on puhdistettava huolellisesti ennen valua.

Tuoreena käsitellyt pinnat

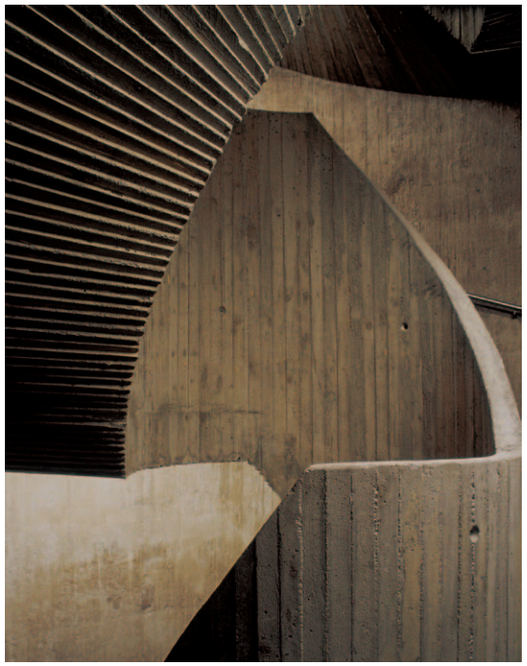
Valupintaa, joka on valutilanteessa ylöspäin, voidaan käsitellä massan ollessa vielä tuoretta. Paikallavalussa tämä koskee esimerkiksi lattioita ym. vaakarakenteita, katso luku 5. Ruiskubetonointi on erikoistekniikka, jonka avulla pintaan syntyy pehmeä, kumpuilevan rosoinen ilme.

Kovettuneena käsitellyt pinnat

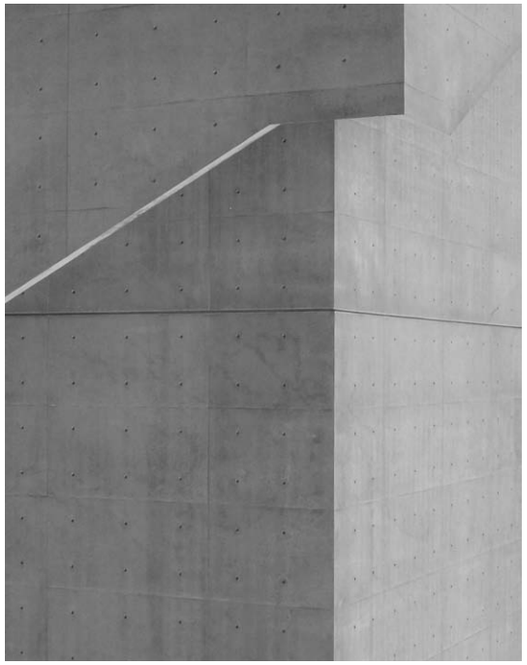
Paikallavalettuja pintoja käsitellään harvemmin kovettuneena. Pintojen matta- tai kiiltäväksihionta ovat mahdollisia.

Pinnoitus

Pinnoitteet muodostavat kuivuessaan tarttuvan ja peittävän pintakerroksen. Pinnoituksia ovat maalaus, rappaus ja erilaiset massat.



Paikallavalettu kierreporras, Senaatti-kiinteistöjen toimitilat, Helsinki
Arkkitehtuuritoimisto Heikkinen-Komonen Oy, 2002



Puhdasvalupinta

Ulkokäyttöön tarkoitettua säänkestävää betonia ei ole tarpeen pintakäsitellä säilyvyyssyistä. Ulkopintojen pinnoitteilta vaaditaan kuitenkin säänkestävyyttä ja sitä, että ne eivät lisää betoniin kohdistuvia rasituksia.

Maaliksi sanotaan yleensä pinnoitetta jonka paksuus on < 0,4 mm. Betonipinnan maaleja ovat kalkki-sementtimaalit tai -slammaus. Lasuurimaalit ovat läpikuultavia.

Suojakäsittelyjä ovat töherryksenestoaineet sekä impregnointi eli kyllästyskäsittely, joka hieman estää veden ja lian imeytymistä.

Betonipinta joudutaan usein silottamaan tai tasoittamaan ja ehkä vielä pohjustamaan ennen pinnoittamista. Liian sileää alustaa voi karhentaa. Käyttötarkoituksen mukaan valitaan esim. vesitiivis, kulutuksenkestävä tai kosteutta läpäisevä pinnoite.

Hyvä tartunta syntyy alustaan, joka on riittävän karkea, puhdas, ehjä, tasalaatuinen ja luja. Tiivis pinnoite voi irrota, jos sen alla on kosteutta. Sementtisideaineiset tuotteet vaativat toisaalta kostutetun alustan.

Puhdasvalupinnan väri

Betonin tuttu harmaa väri johtuu sementin sisältämistä rautapitoisista yhdisteistä. Raudaton valkosementti kirkastaa väribetonin sävyn (väribetoni: katso luku 4, Betonipinnat). Lentotuhka tai masuunikuona voi isompina määrinä aiheuttaa sävyeroja, jotka eivät tasaannu edes betonin ikääntyessä.

Muottia vasten valetun pinnan värisävyyn vaikuttavat mm
- muottipinnan laatu ja sen puhtaus
- sideainetyyppi
- hienon kiviaineksen väri
- vesisementtisuhteen vaihtelut; mitä pienempi vesiainesuhde, sen tummempi pinta. Paljon vettä sisältävän betonin pintaan voi saostua kalkkia
- lisäaineista johtuva värivaihtelu esim. notkistimet
- työtekniikasta johtuva värivaihtelu
- muotin purkuikä

Puhdasvalupinnan värivaihteluja hallitaan pitämällä materiaalit, työmaaolot ja työtavat koko ajan samoina. Sekoituserien värisävyt saattavat silti vaihdella, joten työsauma kannattaa sijoittaa vähiten häiritsevään paikkaan.

Kuppipinta

Luonnonvaloa kattoikkunasta. Arkkitehti Yrjänä Vuojala,
Talo Hienovirta, Kauniainen 2004

Raudoitus

Teräsbetonirakenteessa betoni ottaa vastaan puristusta ja raudoitus vetoa. Aineiden lämpölaajenemiskertoimet ovat suurin piirtein samat, jolloin ne muodostavat yhtenäisenä toimivan rakenteen.

Raudoitteet

Teräsbetonin varhaisvuosina rautatyyppejä oli monenlaisia. 1800-luvun puolella käytettiin esim. kierteistä lattarautaa. Sileäpintainen pyörörauta syrjäytti sen 1900-luvun alussa. Pyöröraudan ja betonin välinen kitka on pieni, joten rautojen päihin pitää taivuttaa koukut.

Nykyisin käytössä oleva harjateräs kehiteltiin 1930-luvulla. Harjateräksen pinnassa olevat kohoumat parantavat tartuntalujuutta ja koukkuja ei tarvita.

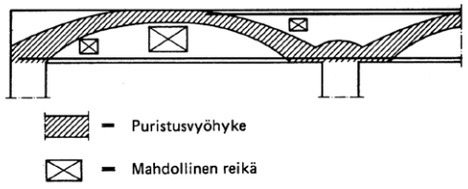
Raudoitetankojen nimellishalkaisijat ovat 4–32 mm. Yleisin tyyppi on hitsattava kuumavalssattu harjatanko. Toinen yleisesti käytetty raudoite on hitsattu verkko.

Ruostumaton raudoite soveltuu paikkoihin, joissa betonin antama korroosiosuoja ei riitä. Raudoitteen korroosio on käsitelty luvussa 7.

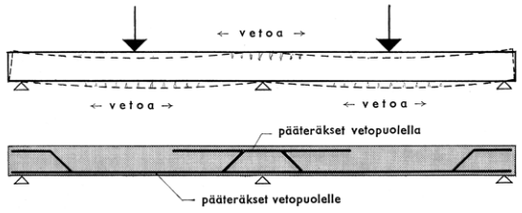
Teräskuiduilla voidaan korvata raudoitusta Tasaisesti sekoittuneet lujat teräskuidut tekevät betonista sitkeän. Ankkuroituminen perustuu kuidun aaltomaiseen muotoon ja kuidun päissä oleviin koukkuihin. Kosteassa tilassa teräskuitujen tulee olla ruostumattomia. Muita kuituraudoitteita ovat lasikuitu, muovikuidut, hiilikuidut ja aramidikuitu.

Raudoittaminen

Riittävä betonikerros suojaa terästä ruostumiselta ja estää sen nopean vaurioitumisen esim. tulipalossa. Betonipeitteen vähimmäispaksuus riippuu käyttöikävaatimuksista, ympäristöoloista ja paloteknisistä asioista. Tartunnan kannalta betonia tulee olla vähintään tangon paksuudelta.



Kuormitettu palkki pyrkii muodostumaan vetotangolliseksi kaareksi. Puristusvyöhykkeen ulkopuolelle voi tehdä reikiä.



Kaksiaukkoisen teräsbetonipalkin periaate. Vain pääteräkset on esitetty.

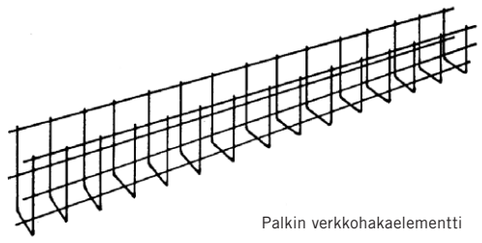
Harjateräs

Paikallavalettavan välipohjan raudoitusta.

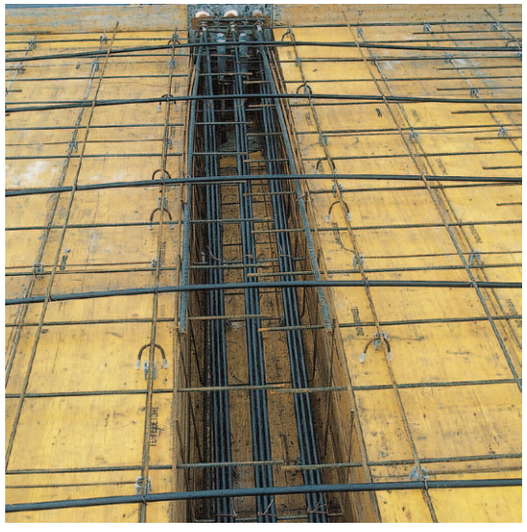
Raudoite lisää betonin kantokykyä ja muuttaa murtuman sitkeäksi. Edellytyksenä tähän on raudoituksen riittävä ankkurointi, mikä tarkoittaa ennen kaikkea lujaa tartuntaa tangon ja betonin välillä. Vetovoimien lisäksi myös leikkaus- ja halkaisuvoimat sekä rakenteen nurjahtaminen otetaan huomioon.

Teräkset asetetaan muottiin ennen valua ja sidotaan sidelangalla ja raudoitusvälikkeillä. Raudoituksen oikea ja tukeva sijainti muotissa tulee varmistaa käyttäen tarvittaessa esivalmistettuja, hitsattuja raudoitekomponentteja. Betonille ja sen tiivistämiselle jätetään tarvittava tila. Kiviaineksen suurin raekoko ja betonimassan notkeus vaikuttavat terästankojen keskinäisiin väleihin.

Raudoitus jatkuu yhtenäisenä läpi rakenteen sitoen eri valuvaiheita toisiinsa. Ennen kovettumista voidaan lisätä ns tartuntateräksiä, joihin voidaan kiinnittää myöhemmin muita rakenteita.



Palkin verkkohakaelementti



Ristiin jälkijännitettävä laatta

Jännitetty rakenne

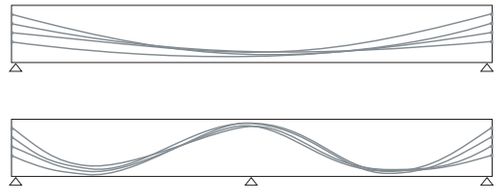
Kun jännevälit ovat pitkät tai rakenne kuormitetaan raskaasti, raudoitteena käytetään yleensä lujia jänneteräksiä.

Jännitetyssä rakenteessa vedettyjen vahvojen teräsjänteiden ja -tankojen avulla betoniin aiheutetaan puristusvoimia, jotka kompensoivat kuormituksesta betoniin kohdistuvia vetojännityksiä.

Ankkurijännebetoni eli jälkijännitys tehdään siten, että betoniin valetaan kanavat suojaputkien avulla. Kun betoni on kovettunut, kanaviin pujotetaan teräsjänteet, jotka jännitetään ja ankkuroidaan. Putket täytetään injektiolaastilla tartunnan aikaansaamiseksi.

Tartunnaton jänne eli ns rasvajänne myös jälkijännitetään. Jänteet asetetaan muottiin ilman putkia. Rasva suojaa terästä korroosiolta ja vähentää kitkaa.

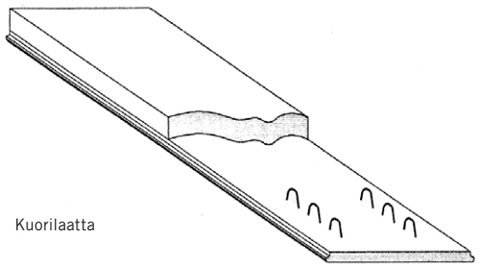
Tartuntajänne- eli esijännitystekniikassa jännepunokset vedetään kireälle ja betoni valetaan punosten ympärille. Betonin kovetuttua jänteet katkaistaan, jolloin jänteiden voima siirtyy puristamaan betonia. Esijännitystä käytetään elementtitekniikassa, katso luku 4, Raudoitus. Esijännitystä ei voi käyttää työmaaoloissa, koska siellä ei voi asentaa ankkureita, joita vasten jännittäminen voitaisiin tehdä, vaan jännittäminen on mahdollista vain betonirakennetta hyväksi käyttäen.



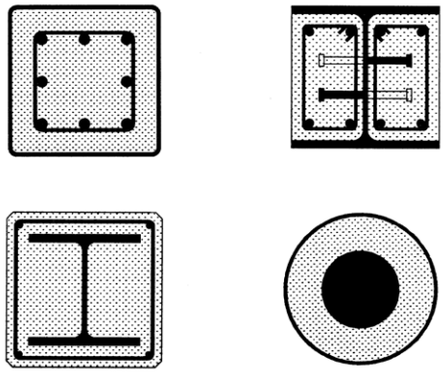
Ankkurivaijerien sijainti yksi- ja kaksiaukkoisessa palkissa

Liittorakenne

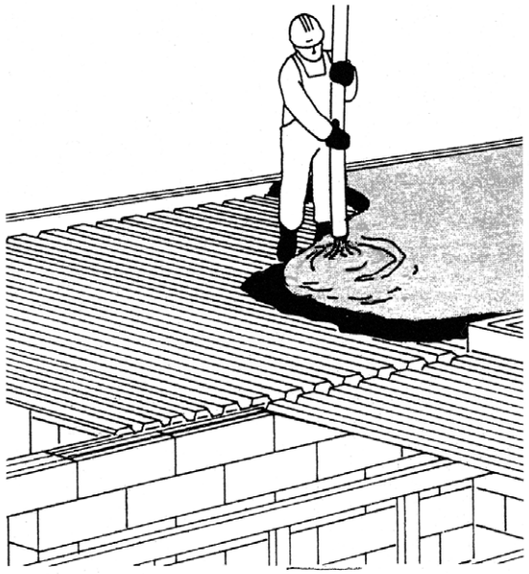
Liittorakenne on kahden rakennusaineen muodostama kiinteä yhdistelmärakenne. Esim. liittopilarissa teräsputki muodostaa paikalleenjäävän muotin, johon betoni valetaan. Materiaalit tarttuvat toisiinsa ja muodostavat yhtenäisenä toimivan kappaleen, jossa betoni ottaa vastaan puristusta ja teräs vetoa. Palotilanteessa betoni kykenee yksin kantamaan kuormat, vaikka teräs pehmenee kuumuuden vaikutuksesta.

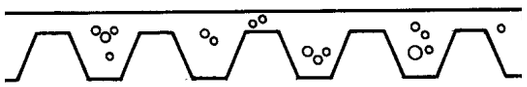


Kuorilaatta

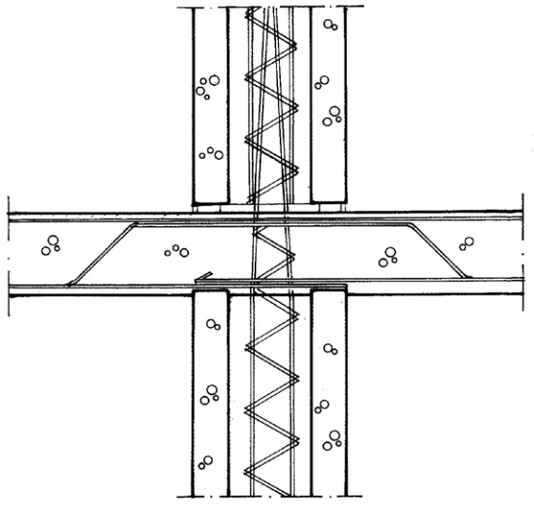


Liittopilareita





Liittolevyrakennetta käytetään etenkin pientaloissa.



Kuoripilarin liitos välipohjaan.
Pilarin sisus raudoitetaan ja täytetään itsestään tiivistyvällä betonilla.

Kuitubetoni

tarkoittaa kuituraudoitettua betonirakennetta, jossa teräs- tai muita kuituja on sekoitettu betonimassaan parantamaan sen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia. Kuituja sisältävää betonia voidaan valaa tai ruiskuttaa tavanomaiseen tapaan. Kuitubetoni mahdollistaa ohuet valut ja terävät kulmat. Jotkut pintakäsittelyt voivat jättää pinnan nukkaiseksi. Kuitujen käyttö vaatii huolellista betonin valmistusprosessia ja tasalaatuisuuden varmistamista.

Teräskuitubetonin käyttö on laajenemassa maavaraisista lattioista kantaviin rakenteisiin, kuten alapohjiin ja välipohjiin. Muita käyttökohteita ovat esim. rakenteiden vahvistukset ja kalliorakentaminen. Kantava rakenne vaatii teräskuituja noin 80–100 kg betonikuutiota kohti, kun ei-kantavassa rakenteessa niitä tarvitaan vain noin 30–40 kg betonikuutiossa. Suuri teräskuitumäärä sekoittuu parhaiten itsetiivistyvään betoniin. Rakennetta voidaan varmistaa lisäämällä harjatankoja.

Lasikuitubetonin käyttökohteita ovat mm. julkisivuelementit, levyt, muotit ja kattotiilet sekä säiliöt ja putket. Lasikuitu kestää kemikaaleja ja sillä on erittäin alhainen lämmönjohtokyky. Se ei reagoi magneettisesti eikä sähköisesti. Lasikuidun säänkestävyys voi olla ongelma (alkalireaktio), joten lasikuidun tulisi olla alkalinkestävää ja sementin matala-alkalista.

Muovikuidut vähentävät pinnan halkeiluriskiä. Betonirakenteen palonkestävyyttä ne parantavat siten, että sulaneiden kuitujen kanavat ottavat vastaan höyrystyvän kideveden painetta, eikä betoni rikkoudu kuumuudessa.

Kuormitetun laatan poikkipinta. Teräskuituja betonissa 100 kg/betonikuutio.

Kuitubetonin avulla ohuet valut ja terävät kulmat.

Betonointi (paikallavalu)

Betonin sekoitus

1800-luvulla betoni valmistettiin maassa makaavilla puisilla työtasoilla lapiontyyppisillä välineillä sekoittaen. Sekoitussuhde 1:3:3 oli yleisesti käytössä 1950-luvulle saakka. Sementin säästämiseksi käytettiin yleisesti myös säästökiviä eli halkaisijaltaan 7–20 cm kivenlohkareita. Betoni tiivistettiin puukepeillä iskien. Sauvatärytin (Vibra) keksittiin vuonna 1920 Saksassa.

Nykypäivän omatoimirakentaja sekoittaa pienen määrän betonia betonimyllyssä ja kaataa tai lapioi sen kottikärryyn. Sekoitusaika koneessa on vähintään 4–5 minuuttia. Sekoitusajan kasvaessa betonin ominaisuudet yleensä paranevat.

Teollisuuden käyttämä valmisbetoni sekoitetaan betoniasemilla. Kaikki valmistukseen käytettävät ainesosat punnitaan ja sekoitetaan erillisessä sekoittimessa (betonimyllyssä). Tavanomaisen betoniaseman kerralla sekoitettava annos on 1–4 kuutiometriä.

Betonin siirto

Valmisbetoni tuodaan työmaalle sekoitinsäiliöautolla. Tarvittaessa betonin notkeutta voidaan säätää sekoittamalla betoniin työmaalla esim. notkistavaa lisäainetta ennen kuorman purkua autosta. Työmaalla betoni puretaan kuormasta työmaan tai betonipumpun vastaanottosiiloon.

Nosturivalussa massaa kaadetaan valuastiaan, jonka nosturi nostaa muotin yläpuolelle. Massa putoaa kun astian pohja avataan.

Betoni voidaan siirtää suoraan muottiin hihnakuljettimen tai pumpun avulla, mikä on yleisin siirtotapa. Pumppaamalla voidaan siirtää nopeasti suuria määriä betonia ja tarvittaessa useita kerroksia ylöspäin.

Valmisbetoniasema

Valu ja tärytys

Valaminen

Betoni valetaan muottiin tasaisina 300–500 mm kerroksina. Massan pudotuskorkeus saa olla enintään 1 m. Jos betoni pudotetaan muottiin liian korkealta tai vinoon, betonimassa voi erottua, kun se iskeytyy raudoitukseen tai muottipintaan.

Massa tiivistetään sauvatäryttimellä upottaen sitä massaan järjestelmällisesti. Vaakavaluja voi tiivistää myös tärypalkin tai tärysillan avulla. Hyvin pienet valut voidaan tiivistää esim. koputtelemalla muottia.

Itsestään tiivistyvää betonia ei tärytetä. Itsestään tiivistyvä betoni (IT-betoni) on tarkasti suhteutettu ja voimakkaasti notkistettu betonimassa, jonka avulla on mahdollista tehdä erittäin korkealaatuisia betonipintoja. IT-betoni täyttää muottinsa painovoiman avulla kuten neste. Se voidaan myös pumpata muottiin esim. alakautta. Koko muotti voidaan valaa kerralla täyteen. IT-betonia käytettäessä muotin on oltava erityisen tiivis ja vahva. Betonimassa ja valutyö vaativat huolellisen ennakkosuunnittelun ja laadunvalvonnan.

Muotin purku

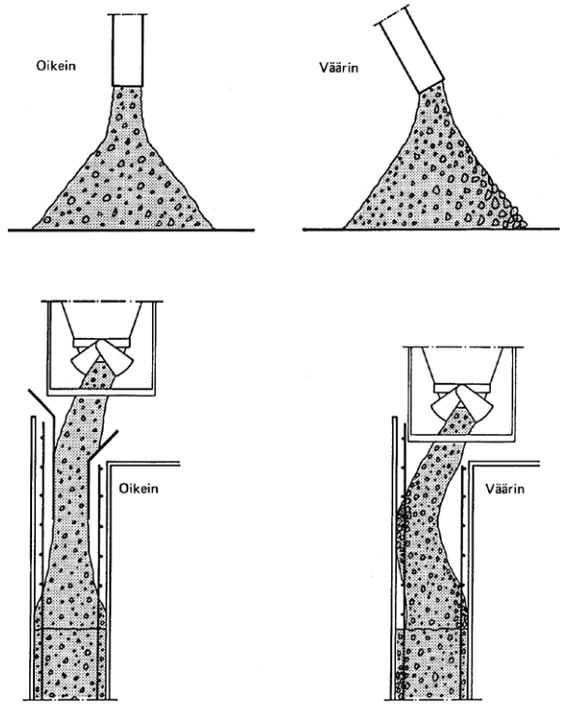
Muotit puretaan rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaisesti.

Kovettuvan rakenteen lujuuden kehittymistä seurataan säännöllisten lämpötilamittausten avulla.

Betoninormit (BY50) asettavat seuraavat minimirajat:
- Vaakarakenteiden muotit voidaan purkaa, kun betonin lujuus on 60 % loppulujuudesta (20 °C 5 vrk).
- Pystyrakenteiden muotit voi purkaa aikaisintaan, kun betonin lujuus on 25–30 % loppulujuudesta (2–3 vrk).

Talvella betonimassan lämpötilan on valun päättyessä oltava vähintään 5°C. Betonimassan lämpötila on pidettävä yli 0°C asteessa, kunnes lujuus on 5 MN/m².

Muotin purkamisen jälkeen rakennetta ei saa kuormittaa liian aikaisin.



Matala ja pysty pudotus sekä valusuppilo tai -sukka ehkäisevät betonin erottumista eli homogenisuuden muuttumista.

Jälkihoito

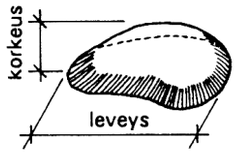
Jälkihoidolla tarkoitetaan betonin pitämistä kosteana valun jälkeen. Tämä on välttämätöntä, jotta kovettumisreaktio jatkuisi riittävän kauan ja betoni saavuttaisi riittävän lujuuden. Samalla vähennetään kutistumishalkeamia ja värivirheitä.

Jälkihoito aloitetaan heti betonoinnin jälkeen ja sitä jatketaan 3–7 vuorokautta. Tavallisesti betoni peitetään muovilla ja/tai kastellaan, kunnes tarvittava nimellislujuus on saavutettu. Erityisesti väribetonia varten on kehitetty suihkutettava jälkihoitoaine.

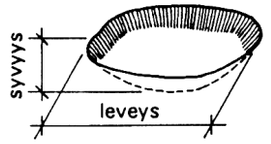
Kun jälkihoito lopetetaan, betonin pinta alkaa kutistua veden haihtumisen seurauksena. Mitä pitempään rakennetta hoidetaan, sitä paremmat edellytykset sillä on kestää kutistuman aiheuttamat jännitykset. Jälkihoidolla turvataan betonin vetolujuuden kehittyminen sekä myös parannetaan sen kulutuksenkestävyyttä ja tiiveyttä.

Paikallavalettu kierreporras. Enter-Sipoo, Arkkitehtitoimisto K2S, 2007

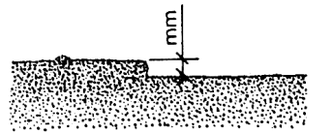
NYSTERMÄ
aiheutuu yleensä muotissa olevasta kolosta



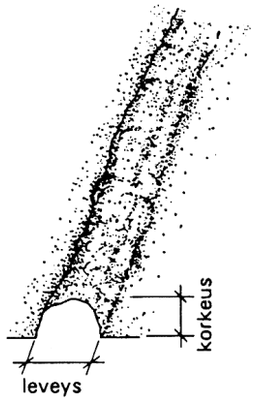
SYVENNYS
aiheutuu yleensä kohoumasta tai epäpuhtaudesta muotin pinnassa



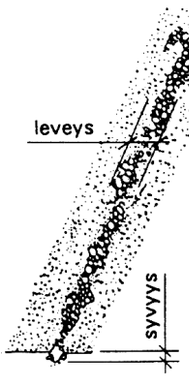
HAMMASTUS
johtuu muottilevyjen tasoerosta



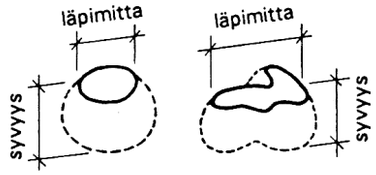
VALUPURSE
johtuu muotin saumasta pursonneesta betonista



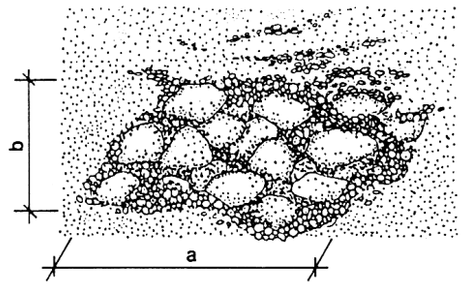
VALUHAAVA
johtuu yleensä muottisauman kohdalla erottuneesta betonista



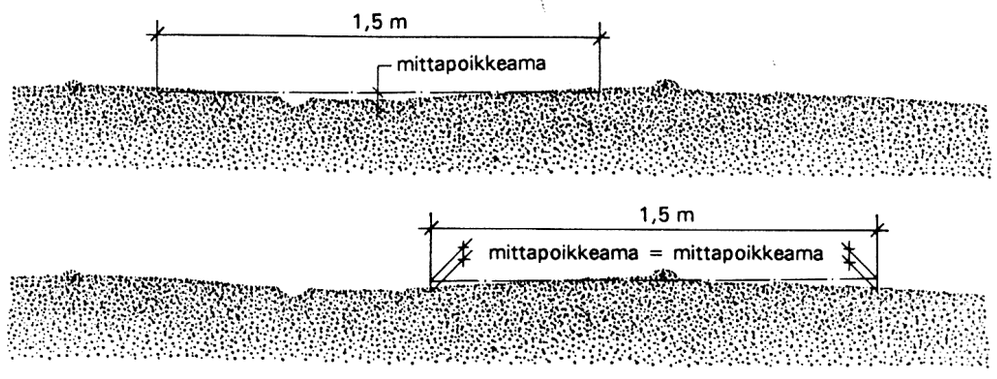
HUOKOSET
pyöreämuotoiset valuhuokoset syntyvät pinnan läheisyyteen kerääntyvistä ilma ja vesikuplista



HARVAVALU TAI MUU VALUVIKA
johtuu yleensä erottumisesta, liian pienestä hienoainesmäärästä tai puutteellisesta tärytyksestä



PINNAN KÄYRYYS JA AALTOILU
johtuu muottipinnan tasopoikkeamista (mittapoikkeamaan ei lasketa nystermiä, syvennyksiä eikä huokosia)



Muottipintaa vasten valetun pinnan laatu

Erikoisbetonointi

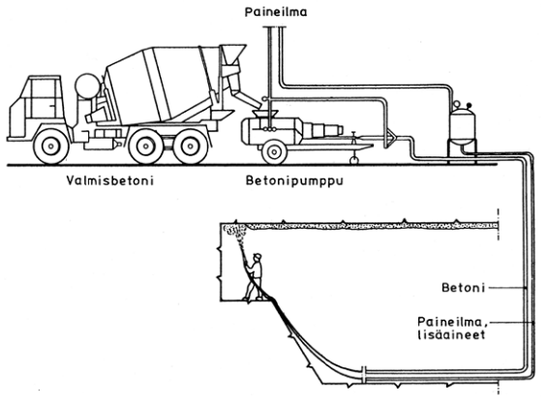
Vedenalaisia betonivaluja on suoritettu aivan betonitekniikan alusta asti. Nykyisin ne tehdään siten, että betonia valutetaan putken kautta valun alaosaan, jolloin valun yläpinta nousee muotissa. Vedenkestävä betoni sisältää lisäaineita, jotka estävät tuoreen betonimassan sekoittumisen veteen.

Injektointi tarkoittaa laastin pursottamista paineella esim. halkeamaan. Myös muottiin voidaan asettaa kuiviltaan karkeaa kiviainesta joka tärytetään. Kiviaineksen väliseen tyhjään tilaan valutetaan täryttämättä hienoa sementtihiekkalaastia.

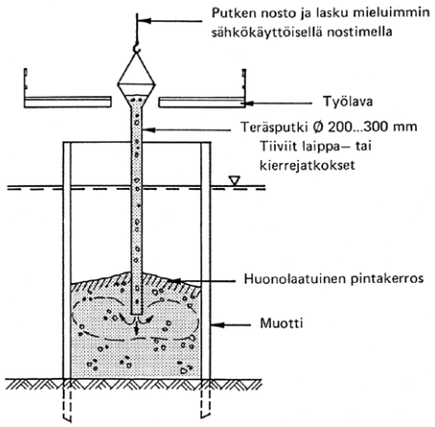
Ruiskubetonointia on tehty 1900-luvun alusta saakka. Betonia ruiskutetaan paineilmalla esim. kallion pintaan. Ruiskutekniikkaa sovelletaan nykyisin myös muotittomien rakennuskappaleiden valmistukseen, jolloin niissä on mahdollista käyttää kaarevia tai poikkileikkaukseltaan vaihtelevia muotoja. Esimerkiksi ruiskuvalupilari voidaan muotoilla tehtaassa kartiomaiseksi.

Imubetonointi on keino vahvistaa esimerkiksi valettua lattiaa imemällä liika vesi alipaineella pois heti tärytyksen jälkeen, jolloin vesi-sementtisuhde saadaan alhaisemmaksi ja betoni lujemmaksi.

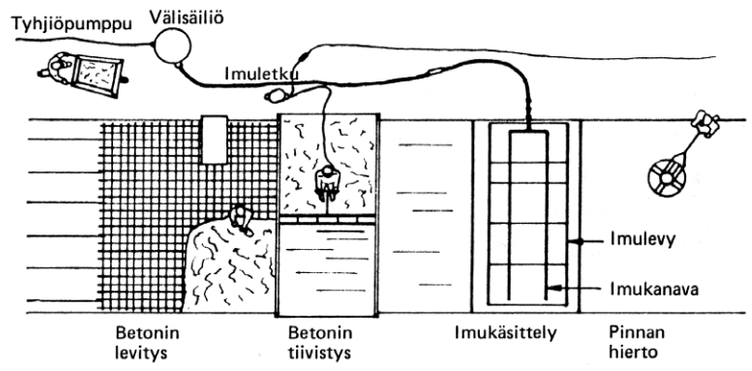
Liukuvalu on jatkuvaa valua siirtämällä muottia valun edistymisen mukaan ylöspäin. Betoni paljastetaan sen lujuuskehityksen mukaan. Muotin korkeus on yleensä 1,2 m. Muotin siirtokohdista jää jälkiä valmiiseen pintaan.



Ruiskubetonointi

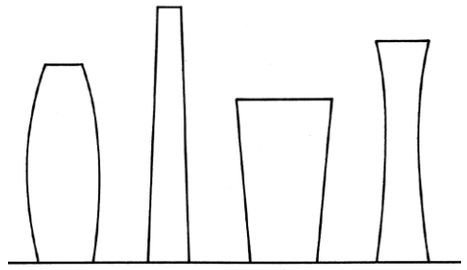


Vedenalainen betonointi

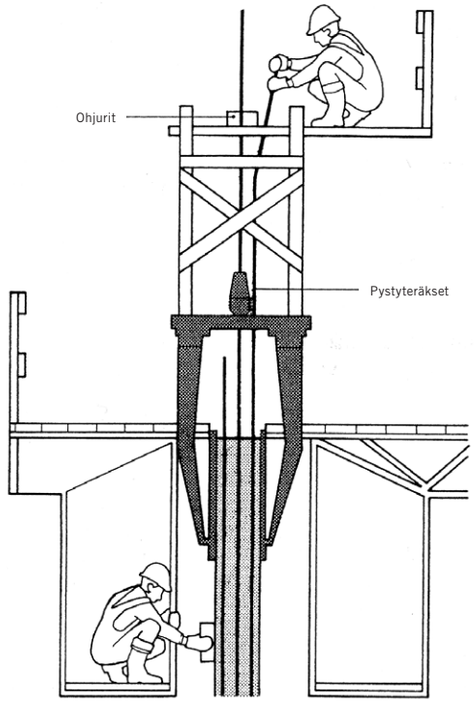


Imubetonointi

Liukuvalu



Erikoisliukumuottikalustolla voidaan valaa erilaisia muotoja



Liukuvalun suoritus

Kalevan kirkkoa liukuvaletaan. Reima Pietilä 1959–1966

Laatuluokitus

Laatuluokkavaatimus tulee merkitä suunnitelmaan.

Luokitustaulukko MUO ja MUK / Muottia vasten **paikallavaletut pinnat**.
Vaatimukset koskevat tarkasteltavaa pintaa, joksi valitaan yleensä yhdellä kertaa valettu pinta.

Laatutekijät		Vaatimukset			
		Luokka AA	Luokka A	Luokka B	Luokka C [1]
Nystermä					
suurin korkeus	mm	2	3	6	6
suurin leveys	mm	3	9	20	20
suurin määrä	kpl/m²	10	20	40	40
Syvennys					
suurin syvyys	mm	2	4	7	7
suurin leveys	mm	4	9	15	15
suurin määrä	kpl/m²	10	20	40	40
Hammastus	mm	1	2	5	5
Valupurse tai valuhaava muottisauman kohdalla					
suurin korkeus tai syvyys	mm	1	2	4	4
suurin leveys	mm	3	3	6	6
suurin määrä (koskee myös korjattua saumaa)	% muotti-saumojen pituudesta	10	20	30	30
Vaakasuorassa valettujen pintojen huokoset, Ø ≥ 5 mm					
suurin läpimitta ja syvyys	mm	7	8	10	10
suurin kokonaismäärä	kpl/m²	20	40	80	160
Pystysuorassa valettujen pintojen huokoset, Ø ≥ 5 mm					
suurin läpimitta ja syvyys	mm	8	10	12	12
suurin kokonaismäärä	kpl/m²	40	60	100	200
Vaakasuorassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)					
suurin koko	m²	ei sallita	0,1	0,3	0,6
suurin määrä	kpl/100m²	ei sallita	1	2	4
Pystysuorassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)					
suurin koko	m²	ei sallita	0,2	0,3	0,6
suurin määrä	kpl/100m²	ei sallita	2	2	4
Pinnan käyryys ja aaltoilu					
suurin mittapoikkeama	mm/1,5m	3	5	8	8
Värivaihtelu					
harmaat pinnat	luokat	B		-	-
valkobetonipinnat	(kohta 10)	A		-	-
muut väribetonipinnat		B		-	-

[1] Heikointa C luokan vaatimusta käytetään yleensä vain näkymättömiin jäiville pinnoille (esim. perustukset ja alaslaskettujen kattojen betonipinnat).

Esimerkki luokituksesta: Muottia vasten paikallavaletut pinnat

Laatuluokka AA
- vaatii uutta puhdasta muottipintamateriaalia
- pintaa ei saa korjata, ts se on tehtävä kerralla hyvin
- käytetään vain erikoiskohteissa ja -pinnoissa (merkittävät julkiset rakennukset) silloin kun katseluetäisyys on enintään 5 m.

Laatuluokka A
- vastaa ns puhdasvalupintaa
- käyttökohde arkkitehtoniset betonipinnat yleensä (seinät, pilarit, katot ja palkkirakenteet)

Laatuluokka B
- käyttökohteena seinä- ja kattopinnat, joiden ulkonäölle ei aseteta suuria vaatimuksia
- tasoitettavat väliseinät, kellarin sisäseinät jne

Laatuluokka C
- yleensä näkymättömiin jäävät pinnat, kuten perustukset, alaslaskettujen kattojen taustat jne

4. Elementtirakentaminen

Elementtirakentaminen

Elementtijärjestelmät

Suljettu järjestelmä tarkoittaa yksilöllisesti suunniteltua elementtijärjestelmää, joka ei ole yhteensovitettavissa muiden kanssa. Suljettuja järjestelmiä ei käytetä enää Suomessa.

Avoin järjestelmä tarkoittaa sitä, että eri tehtaista tilatut elementit voidaan sovittaa yhteen. Ensimmäistä avointa järjestelmää päätettiin käyttää Suomessa vuonna 1970 (BES) ja sen mahdollistivat yleinen mittajärjestelmä ja vakioidut liitokset.

Elementit

Elementtejä ovat runko-, julkisivu- ja erityiselementit.

Elementeille on tyypillistä mittajärjestelmä, vakioidut poikkileikkaukset ja tehdasvalmisteiset liitoselimet. Mittatarkkuus ja pinnan laatu ovat hallittavissa. Myös elementtien väliset saumat kuuluvat elementtirakentamiseen.

Elementtien valmistustekniikka tarjoaa aivan omanlaisiaan mahdollisuuksia pintakäsittelyyn ja rakenteisiin.

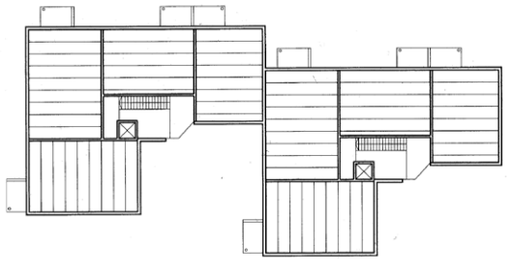
Betonin valmistus ja valuprosessi on helpompi hallita valvotuissa tehdasoloissa kuin ulkona. Työ vähenee rakennuspaikalla ja talvirakentaminen on helpompaa kuin paikallavalaen. Myös työvoimaa tarvitaan vähemmän.

Elementin maksimikokoon vaikuttavat kuljetuskalusto, maanteiden korkeusrajoitukset ja asennuksen rajoitukset, esimerkiksi asennuskaluston nostokyky. Jos elementit voidaan kuljettaa siinä asennossa kuin ne tulevat valmiiseen rakennukseen, se vähentää niiden kääntelyä työmaalla.

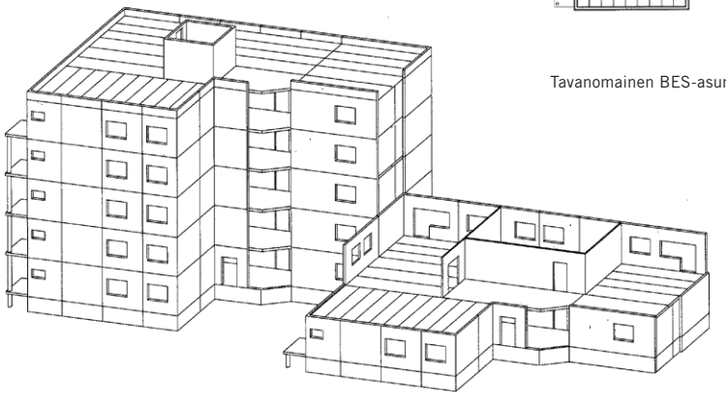
Laattaelementin koko ohjaa pohjan taloudellista mitoittamista. Asuntotuotannossa esijännitetyt ontelolaatat pitkine jänneväleineen vapauttavat asuntopohjan huoneiston sisäisistä kantavista seinistä.

Liike- ja toimistorakennuksissa ontelolaattaa käytetään pilari-palkkirungon kanssa. Matalat palkkirakenteet mahdollistavat katossa helpot talotekniikan putkivedot. Palkit voivat olla esijännitettyjä betoni- tai myös teräsliittopalkkeja.

Monimuotoisen tai kaarevan ulkoreunan tekeminen ontelolaatastoon on rajoitettua. Laattojen vino katkaisu ja kohtuumittaisten ulokkeiden rakentaminen on mahdollista.



Tavanomainen BES-asuntopohja



Kantavat seinät-laattarunko

Muottijärjestelmät

Elementtimuotit ovat yleensä teräsrakenteisia. Muottipintana on yleensä teräs tai muottivaneri. Paikallavaluun verrattuna elementtien valmistus on mittatarkempaa.

Kiintomuottijärjestelmässä julkisivuelementtien muotit ovat kiinni vakiopaikoilla kiinnitettyinä tehtaan lattiaan.

Siirtomuottijärjestelmässä kaikki muotit voidaan nostaa pystyyn, puhdistaa, valaa, jälkihoitaa ja purkaa keskitetysti. Elementit voidaan siirtää kovettumaan ja kuivumaan omaan tilaansa.

Väliseinäelementtejä valmistetaan usein patterimuotissa, jolloin useita elementtejä valetaan yhdellä kertaa vierekkäin pystyasennossa. Elementtien molemmat pinnat ovat muottia vasten valettuja.

Ontelolaatat valetaan erityisellä valukoneella kiinteän, laatan levyisen ja runsaan 100 m pitkän teräsmuotin päälle.

Pilarien ja palkkien valmistukseen käytetään teräksisiä ja puisia erikoismuotteja.

Julkisivuelementtien valmistusta

Ontelolaatan valukone

Raudoitus

Runkoelementtien raudoitteet kootaan mahdollisimman valmiiksi erillisessä työpisteessä ja asennetaan muotteihin kokonaisuuksina. Raudoite asennetaan muovisten välikkeiden avulla, joilla varmistetaan suunnitelman mukainen betonipeite (suojabetonietäisyys).

Julkisivuelementtien ulkokuoren raudoitukseen käytetään normaalia betoniterästä tai vaihtoehtoisesti ruostumatonta terästä, jos halutaan varmistaa elementtien säilyvyys (betonin karbonatisoituminen ja siitä johtuva korroosioriski).

Tartuntajännebetoni eli esijännitys tehdään siten, että jänneteräkset asennetaan paikoilleen muottiin, ankkuroidaan ja jännitetään erikoiskalustolla. Kun betoni on kovettunut, ankkurointi irroitetaan. Teräkset ovat tarttuneet betoniin ja pysyvät jännittyneessä tilassa.

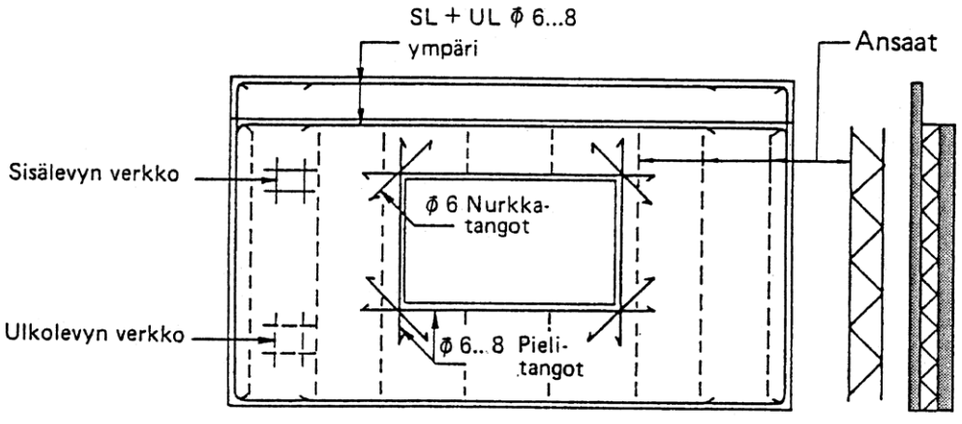
Erilaiset tartunnat ja kiinnikkeet asennetaan muottiin ennen valua.

Valaminen ja muotin purku

Elementtitehtaalla on mahdollista hallita erikoistekniikat kuten betonin osa-aineiden tarkka annostelu tai nopea valu heti sekoituksen jälkeen. Muottikiertoa voidaan nopeuttaa käyttämällä nopeasti kovettuvaa betonia tai lämmittämällä muottia.

Ontelolaatat valetaan maakosteasta korkealaatuisesta betonista. Betoni on erittäin nopeasti kovettuvaa. Tiheästi raudoitettuihin elementteihin käytetään usein notkistettua tai itsetiivistyvää betonia. Julkisivuelementtien ulkokuoren betoni valmistetaan pakkasenkestäväksi. Väribetoniin käytetään valkosementtiä, joka korostaa kiviaineksen omaa väriä ja saa pigmentin näyttämään kirkkaammalta.

Julkisivuelementit valetaan vaakamuotissa. Tämä mahdollistaa melko vapaan aukotuksen. Jos elementti valetaan ulkopinta muottia vasten, muotin pohjalle voidaan asettaa erilaisia julkisivupinnoitteita kuten tiililaattoja, luonnonkiveä, klinkkereitä tms. keraamisia kappaleita ym.



Ruutuelementin halkeamat estetään raudoituksen avulla.

Pesubetonipinta tehdään levittämällä muotin pintaan pintahidastinaine, joka estää betonin pinnan kovettumisen halutulla syvyydellä (1–3 mm). Muotista purkamisen jälkeen elementin pinta pestään painepesurilla.

Pystymuotti säästää tilaa ja elementin kaikki pinnat ovat samanlaisia muottipintoja. Tiiviissä muotissa vähennetään ilmakuplia valamalla betoni ohuissa kerroksissa ja täryttämällä huolellisesti esim. muottitäryttimien avulla, jotka kiinnitetään muotin ulkopintaan.

Elementtimuotissa ei yleensä tarvita rakenteen läpi meneviä muottisiteitä.

Julkisivumuotin purku aloitetaan laidoista ja varauksista ja elementti nostetaan pois muotista. Ontelolaatassa ei ole muottia. Se valetaan hyvin jäykästä betonimassasta ”pursottamalla” vaakasuorana liukuvaluna valukoneella ja katkaistaan kovettumisen jälkeen timanttisahalla määrämittoihin.

Varastointi ja kuljetus

Elementtien varastointi ja kuljetus suoritetaan siten, että elementit eivät vaurioidu.

Elementtien asennus

Elementit asennetaan työmaalla paikoilleen nosturilla asennussuunnitelman mukaisesti.

Elementit tuetaan asennuksen aikana väliaikaisesti ja, tehdään tarvittavat kiinnitykset. Saumat raudoitetaan ja joko muotitetaan ja valetaan tai saumat täytetään ns. pystysaumabetonilla pursottamalla.

Viimeistelevinä töinä poistetaan tarpeettomat nostolenkit, paikataan erilaiset asennuksien edellyttämät varauskolot ja mahdolliset saumavalujen valumat.

Julkisivuelementtien ulkokuoren saumaus tehdään omana erillisenä työvaiheenaan.

Elementtien asennusta

Betonipinnat

Muottia vasten valetut pinnat

Muottipintamateriaaleja on käsitelty laajemmin luvussa 3, kohdassa Muotti.

Elementtitekniikassa tavallisesti käytettyjä muottipintamateriaaleja ovat teräs, erilaiset vanerit, puulevy, muovi, lasikuitu ja kumi. Sileän betonipinnan aikaansaamiseksi on teräsmuotit hiottava ennen käyttöä tai on käytettävä esim. lakattuja puu- tai vanerimuotteja.

Tuoreena käsitellyt pinnat

Tuoreen massan muokattavuus sekä pintojen pieni hallittu vaihtelu ovat betonille ominaisia piirteitä. Tasalaatuisuuden saavuttamiseksi materiaalit ja työtavat on pidettävä koko ajan samoina. Myös kalkkisementtimaali tai -slammaus voivat yhtenäistää vaikutelmaa.

- *Puuhierretty pinta*
  Pinta oikaistaan ja hierretään voimakkaasti suoraksi laudan tai puulevyn avulla. Liian voimakas hierto voi nostaa vettä pintaan. Vetiseen pintaan ei saa lisätä sementtiä eikä jäykkään pintaan vettä.

- *Teräshierretty pinta*
  Hierto teräslastalla oikaisun ja puuhierron jälkeen. Jos pinta ei siliä muutamalla vedolla, vikaa on laastissa tai hierron voimakkuudessa. Jos vettä kohoaa pinnalle työstön jälkeen, vedetään vesi pois pehmeällä harjalla, puuhierretään uudelleen ja teräshierretään. Imubetonipinta voidaan teräshiertää aikaisemmin.

- *Harjattu pinta*
  Puu- tai teräshierretylle tuoreelle betonipinnalle, välineenä teräs- tai kuituharja. Harjauskuviossa on suuria eroja riippuen harjan tyypistä, betonin koostumuksesta ja kovuusasteesta sekä siitä, harjataanko käsivaraisesti vai viivoittimen avulla. Sementtiliiman kovettuessa harjaus voi naarmuttaa kiviainesta, ja lopputulos alkaa muistuttaa enemmän hiekkapuhallettua pintaa.

- *Telattu pinta*
  Tehdään puu- tai teräshierretylle tuoreelle betonipinnalle. Telauksen ajankohta, käsittelyjen lukumäärä ja telan tyyppi, tavallisesti maalaustela, vaikuttavat ulkonäköön. Telaus yhdenmukaistaa erilaisia pintoja himmeiksi. Tuoreelle pinnalle syntyy kevyt struktuuri.

- *Sienihierretty pinta*
  Sienihierrolla on sama vaikutus kuin telatulla pinnalla.

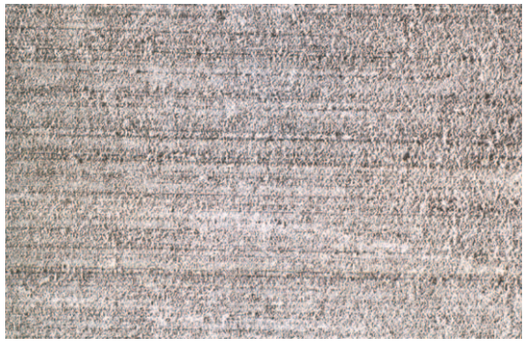
- *Töpötetty pinta*
  Muistuttaa rapattua tai karkeaa muottikangaspintaa. Töpötys tehdään harjalla teräshierron jälkeen. Työkaluja esim. kuitu- tai juuriharja tai muoviruohotela. Pinta voi olla tuore tai 1–2 tunnin ikäinen.

- *Pesty pinta*
  Painepesu yli 2 mm syvyyteen. Pesubetonin väri saadaan aikaan pääosin kiviaineksella. Pintahidastin muotin pinnassa estää sementin kovettumisen betonin pinnassa. Välittömästi muotin purun jälkeen sementtiliima pestään pois betonin pinnasta.

- *Hienopesty pinta*
  Painepesu alle 2 mm syvyyteen; väri saadaan aikaan kiviaineksella tai väripigmentillä ja kiviaineksella.

- *Graafinen betoni*
  Painotekniikalla painetaan pintahidastinkuvio erikoiskalvolle, joka asetetaan varovasti korkealuokkaisen muotin pohjalle. Muottiöljyä ei käytetä. Alipainepöytä pitää kalvon suorana muotissa valun aikana. Betonivalu tehdään vaakavaluna ja tärytetään, tai käytetään itsetiivistyvää betonia. Kovettunut pinta painepestään, jolloin kuvio tulee näkyviin sileän muottipinnan ja pestyn pinnan kontrastina.

- *Muotoillut pinnat*
  Maakosteaan betoniin voidaan muotoilla uria esineillä tai kelkkamaisilla työkaluilla. Liian kostean betonin vaot täyttyvät, ja liian jäykkään betoniin syntyy halkeamia.


Harjattu

Pesty

Hienopesty

Telattu

Puuhierretty

Töpötetty

Teräshierretty

Pintahidastimella käsin kuvioitu ja hienopesty pinta

Graafinen betoni

Graafisen betonipinnan valmistusta erikoiskalvon avulla

Hämeenlinnan maakunta-arkisto, Arkkitehtuuritoimisto Heikkinen-Komonen Oy, 2009

Hollolan Sovituksen Kirkko, Arkkitehtitoimisto Havas Rosberg Oy, 2010

Zwembadsite Leuven, Bob361 architects, 2008

Frölunda Torg, White arkitekter AB, 2009

As Oy Helsingin Siluetti, Arkkitehtuuritoimisto B&M Oy, 2008

Kovettuneena käsitellyt pinnat

Pinnan ulkonäkö ja ominaisuudet muuttuvat luonnollisesti sitä kivimäisemmiksi, mitä enemmän pastaa poistetaan. Myös kiviaineksen väri muuttuu yhä hallitsevammaksi. Kuitenkin pastaa jää aina näkyviin, mikä antaa betonille oman, luonnonkivestä poikkeavan luonteensa.

- *Hiekkapuhallettu pinta*
  Kevyt hiekkapuhallus poistaa vain sementtiliiman aiheuttaman pinnan kiillon, matala puhallus paljastaa pinnan valuhuokosia ja keskisyvä puhallus yksittäisiä, suuria kivirakeita sekä pienemmän kiviaineksen yhtenäisesti. Syvä puhallus paljastaa suuret kivirakeet yhtenäisesti koko pinnalta ja sementtiliima poistuu lähes kokonaan. Pinnan värin ja vaikutelman määrää pääosin betonin kiviaines.

- *Kemialliset aineet: happopesu eli patinapinta*
  Vedellä kyllästetty betonipinta kastellaan suolahapolla tai upotetaan altaaseen ja huuhdellaan runsaalla vedellä. Käsittely poistaa pinnan sementtiliimaa ja hienoainesta ja paljastaa karkeamman kiviaineksen haluttuun syvyyteen, tavallisesti noin 0,5 mm millimetriin. Pinta jäljittelee sään vanhentamaa pintaa.

- *Hakattu ja murrettu pinta*
  Hakkauskäsittely eli meislaus poistaa betonipinnasta halutun paksuisen kerroksen paljastaen kiviaineksen. Käsittelytapoja ovat käsin tai koneellisesti hakattu tai ristipäähakattu pinta.

- *Lohkottu ja halkaistu pinta*
  Kovettuneena erikoistekniikalla halkaistu betonipinta.

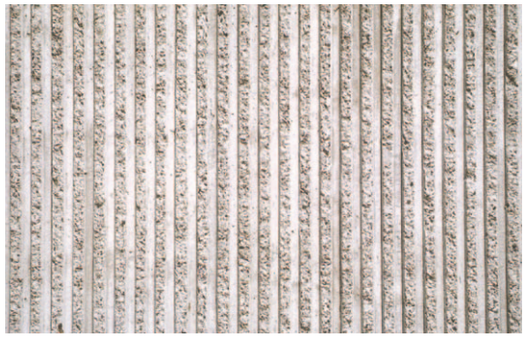
- *Hiottu pinta*
  Kovettunut, sileä betonipinta hiotaan koneellisesti 3–4 mm syvyyteen. Kiillotusasteet ovat matta, kiiltävä ja heijastavan kiiltävä.

- *Pinnoitettavat ja pinnoitetut pinnat*
  Maalilla tai pinnoitteella tehtaalla tai työmaalla käsitelty pinta. Vettä ja vesihöyryä läpäiseviä pinnoitteita ovat kalkki-, sementti- ja silikaattipohjaiset maalit. Vesihöyryä läpäiseviä ovat impregnointiaineet ja suojamaalit (silikonihartsi). Kalvoa muodostavia pinnoitteita ovat orgaaniset maalit ja pinnoitteet. Pinnoitettavan pinnan on oltava kunnollisen tartunnan takia riittävän karhea, puhdas ja kosteustilan sopiva. Pintaan kiinnitettäviä materiaaleja ovat keraamiset laatat, tiililaatat ja luonnonkivi.

Lasuuripintoja, hiekkapuhallettua valkobetonia, hienopestyä mustaa väribetonia.
Mustakiven korttelitalo, Helsinki. ARK-House Arkkitehdit Oy 1998

Hiekkapuhallettu

Hienopesty

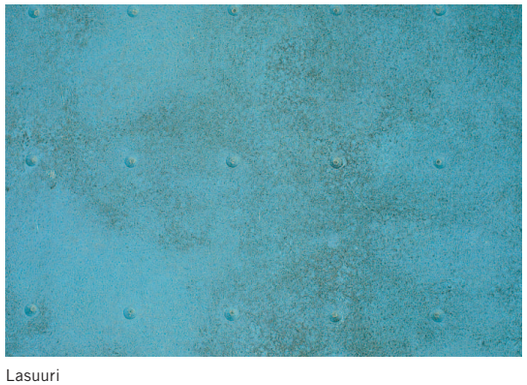


Hakattu ja murrettu

Lohkottu

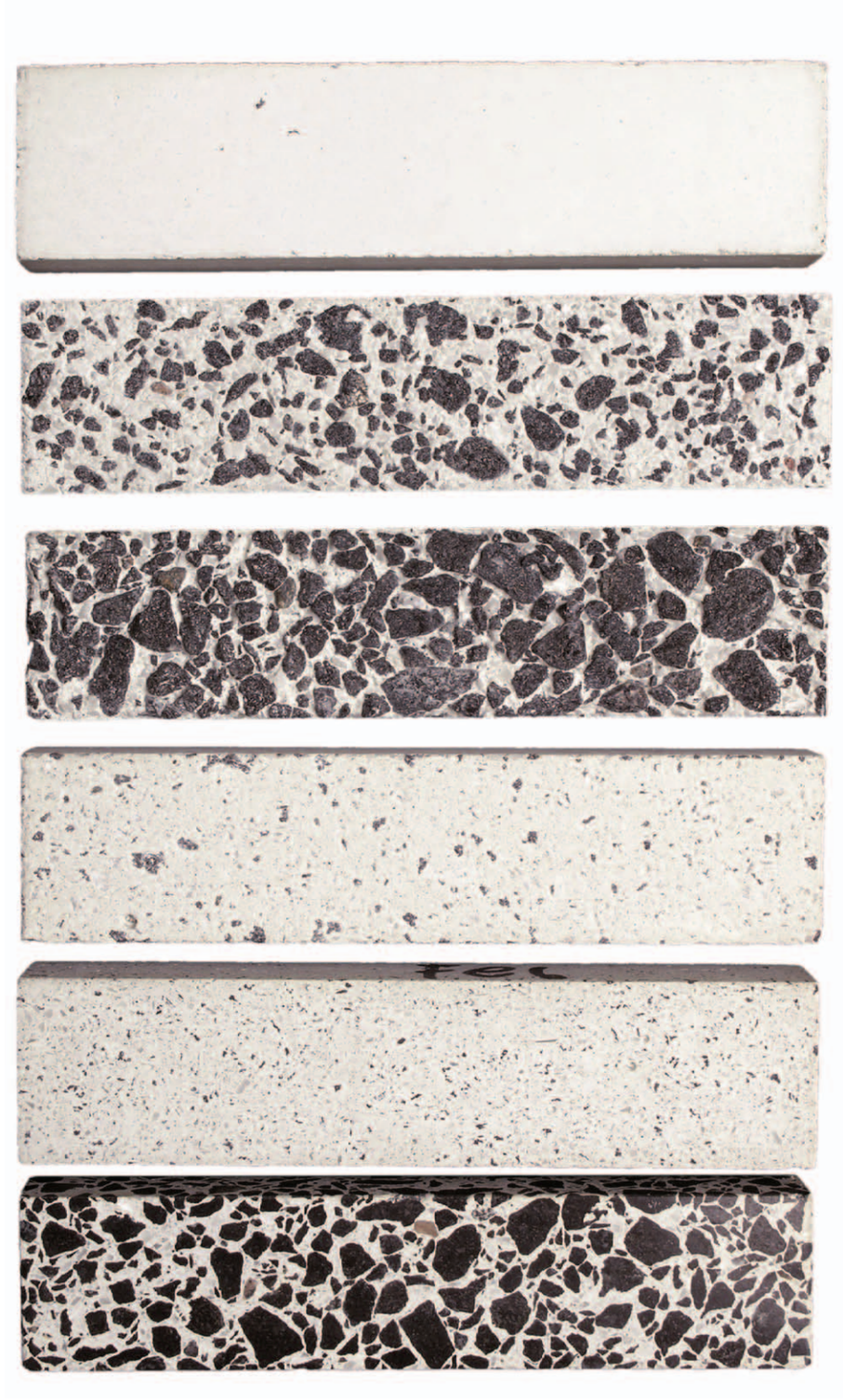
Hiottu

Maalattu



Lasuuri

Tiilipinta



Saman betonimassan ulkonäkö muuttuu voimakkaasti eri pintakäsittelyillä.
(Ylhäältä) käsittelemätön, hienopesty, pesty, hiekkapuhallettu, happokäsitelty (patinoitu), hiottu.

Värilliset betonipinnat

- *Väribetonipinnat*
  Väribetonin massa läpivärjätään kiviaineksen ja pigmenttien avulla. Sideaineena on usein valkosementti.

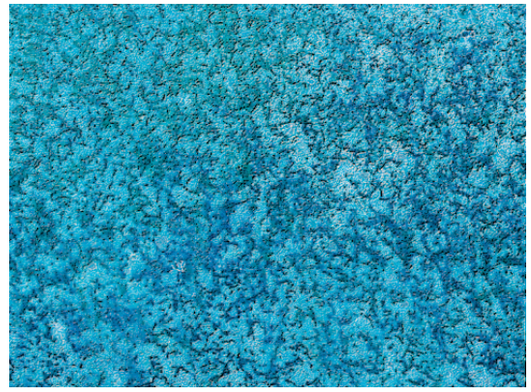
  Väribetonin sävyyn vaikuttavat paitsi samat seikat kuin puhdasvalupinnoilla yleensä (katso luku 3, Puhdasvalupinnan väri), myös pigmentin laatu ja sen annostus sekä kovettumislämpötila ja kosteustila, jossa betoni tulee olemaan.

  Väribetonilla on tarkat valmistusvaatimukset. Betonin väri voidaan arvioida luotettavasti vasta noin kuukauden iässä.

- *Pintavärjätyt betonipinnat*
  Lasuuribetoni on läpikuultava, kemiallisesti joko rauta- tai kuparin vaikutuksesta värjätty betonipinta. Värisävyt vaihtelevat ohrasta ruskeaan ja turkoosista siniseen.

  Sininen betoni ns. kuparibetoni valmistetaan lisäämällä betonimassan joukkoon kuparijauhetta. Kovettumisen jälkeen betoni käsitellään ammoniumkloridiliuoksella.

  Ruskeaksi kemiallisesti värjätty betoni valmistetaan imeyttämällä betoniin kemikaaleja, jotka reagoivat betonin sisältämän sementin kanssa muodostaen



Kuparibetoni

veteen liukenemattomia väriyhdisteitä. Kiviaines ei värjäydy. Sementtiliima voidaan poistaa hiomalla, jolloin kiviainesta paljastuu. Käsittely voidaan tehdä myös valmiisiin betonipintoihin.

- *Maalatut betonipinnat*
  Läpikuultavilla tai peittävillä betonimaaleilla maalatut pinnat. Lasuurimaalatut (vrt. eri kuin lasuuribetoni) ovat läpikuultavia.

Itsepuhdistuvat pinnat

Itsepuhdistuvan betonin sementtiin on lisätty fotokatalyyttiä, mikä ultraviolettivalossa kiihdyttää betonin pinnalle tulevien orgaanisten aineiden hajoamista.

Väribetonia, materiaaleina valkoinen kiviaines ja valkosementti sekä punaista pigmenttiä (vasemmalta) 0%, 0,25%, 0,5%, 1% ja 3%.

Laatuluokitus

Laatutekijät		Vaatimukset			
		Luokka AA	Luokka A	Luokka B	Luokka C [1]
Nystermä					
suurin korkeus	mm	1	3	6	6
suurin leveys	mm	2	9	20	20
suurin määrä	kpl/m²	10	20	40	40
Syvennys					
suurin syvyys	mm	2	4	7	7
suurin leveys	mm	4	9	15	15
suurin määrä	kpl/m²	10	20	40	40
Hammastus	mm	0,5	2	5	5
Valupurse tai valuhaava muottisauman kohdalla					
suurin korkeus tai syvyys	mm	1	2	4	4
suurin leveys	mm	2	3	6	6
suurin määrä (koskee myös korjattua saumaa)	% muotti-saumojen pituudesta	5	20	30	30
Vaakasuorassa valettujen pintojen huokoset, Ø ≥ 2 mm				Ø ≥ 5 mm	Ø ≥ 5 mm
suurin läpimitta ja syvyys	mm	5	8	10	10
suurin kokonaismäärä	kpl/m²	20	40	80	160
Pystysuorassa valettujen pintojen huokoset, Ø ≥ 2 mm				Ø ≥ 5 mm	Ø ≥ 5 mm
suurin läpimitta ja syvyys	mm	7	10	12	12
suurin kokonaismäärä	kpl/m²	40	60	100	200
Vaakasuorassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)					
suurin koko	m²	ei sallita	0,1	0,3	0,6
suurin määrä	kpl/100m²	ei sallita	1	2	4
Pystysuorassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)					
suurin koko	m²	ei sallita	0,2	0,3	0,6
suurin määrä	kpl/100m²	ei sallita	2	2	4
Pinnan käyryys ja aaltoilu					
suurin mittapoikkeama	mm/1,5m	2	5	8	8
Uran tai ulkoneman hammastus jatkokohdassa	mm	1	1	-	-
Uran tai ulkoneman käyryys ja aaltoilu					
suurin mittapoikkeama	mm/1,5m	1,5	2	-	-
Värivaihtelu					
harmaat pinnat	luokat	A	B	-	-
valkobetonipinnat	(kohta 10)	AA	A	-	-
muut väribetonipinnat		A	B	-	-

[1] Heikointa C luokan vaatimusta käytetään yleensä vain näkymättömiin jääville pinnoille (esim. perustukset ja alaslaskettujen kattojen betonipinnat).

Esimerkki luokituksesta: Muottia vasten valetut elementtipinnat

5. Betonirakennus

Rungon suunnittelun perusteet

Runkotyypin valinta

Rakennuksen käyttötarkoitus, toimintojen ja tilojen suunnittelu sekä rakennustaiteelliset tavoitteet (esteettisyys) vaikuttavat oleellisesti runkotyypin valintaan ja mitoitukseen.

Turvallisuuteen kuuluu, että rakennus kestää kuormitusta ja vanhenemista ja on paloturvallinen.

Terveellisyyteen kuuluvat ääneneristys, lämmön- ja kosteudenkestävyys, sisäilman puhtaus jne.

Taloudellisuus tarkoittaa investointi- ja käyttökustannusten huomioon ottamista. Tunnuslukuina käytetään usein €/m² tai €/m³.

Kuormien siirtyminen

Kuormitus on vaihteleva yhdistelmä rakenteiden omapainoa, hyötykuormaa ja luonnonkuormaa. Kuormat tulee siirtää perustuksille.

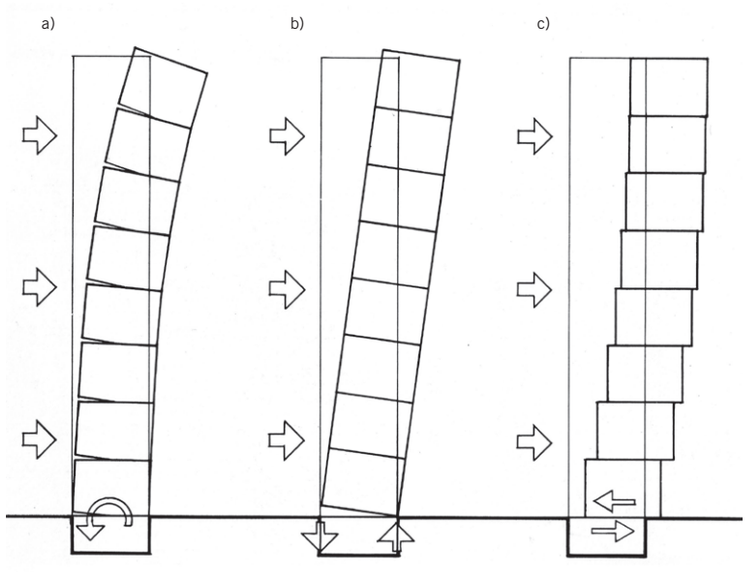
Kantavat rakenteet sijoitetaan selkeästi, esim. pilarit suoriin riveihin ja päällekkäin eri kerroksissa. Suuri jänneväli kasvattaa vaakarakenteita ja kustannuksia, mutta parantaa pohjaratkaisujen muunneltavuutta.

Jäykistys

Paikallavalettu monoliittinen runko voidaan jäykistää sisäisesti raudoituksen avulla. Elementtirunko taas jäykistetään liitosten tai erillisten jäykistävien rakenteiden avulla.

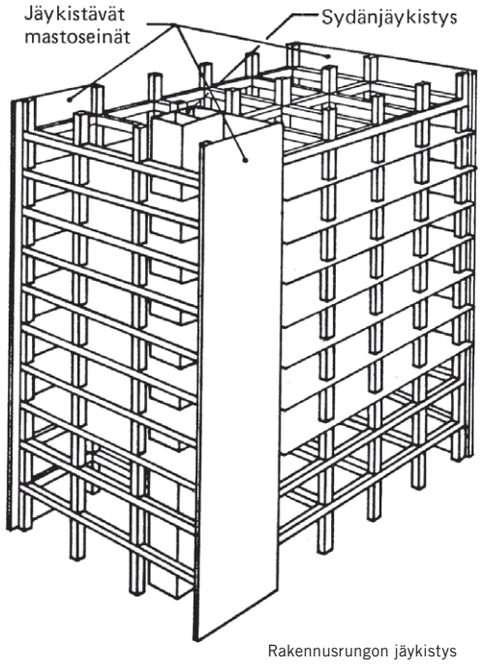
Jäykistävät rakenteet voivat olla osa runkoa, esim. porrashuoneen seinät, osa ulkoseinistä, huoneistojen väliset seinät jne.

Rakennusrungon jäykistystapoja
- laatat, seinät, jäykistysristikot, vinot tangot tai sauvat
- mastojäykistys, kehäjäykistys, sydänjäykistys, levyjäykistys

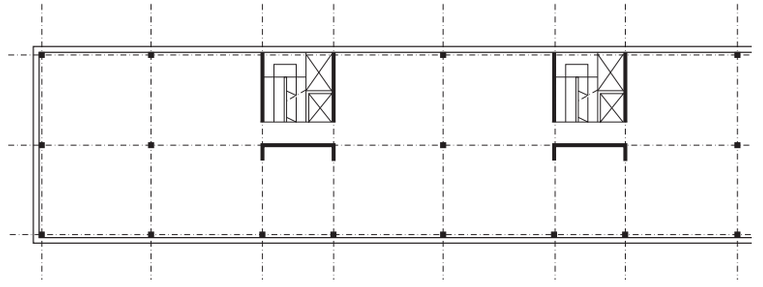


Rakennuksen sivusiirtymä a) taivutuksesta, b) kaatumisesta, c) leikkauksesta.

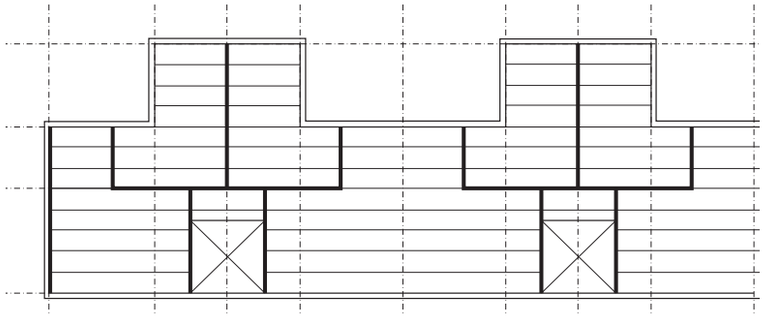
Jäykistävää porrashuonetta liukuvaletaan



Rakennusrungon jäykistys



Pilari-laattarungon jäykistys



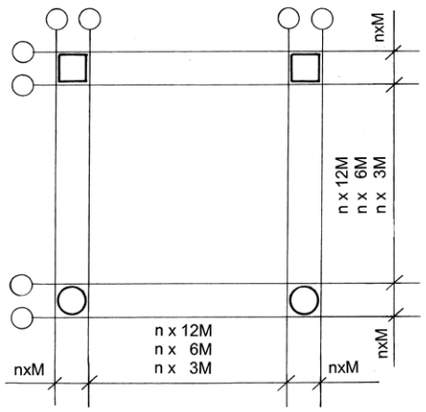
Asuinrakennus, jäykistävien seinien sijainti

Mitoitus

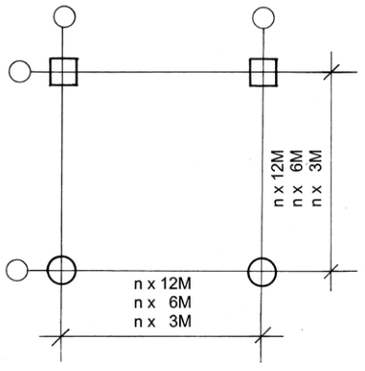
Kerroskorkeus on suunniteltava siten, että tarvittavat putkien, johtojen ja kanavien reitit mahtuvat. Myös kantaville rakenteille, alakatoille ja lattiarakenteille varataan tilaa, niin että huonekorkeus on riittävä.

Asuinkerrostalossa kerroskorkeus on vähintään 30M (3000 mm).

Pilareiden ja palkkien poikkileikkausmitat ovat 0,1 metrin (100 mm) kerrannaisia. Kokonaismitasta vähennetään 20 mm, joten valmistusmitta on esimerkiksi 280x280 mm. Pilarien pituus vaihtelee 2,5 metristä 20–25 metriin.



Pilarien sijoitus moduliverkkoon
vyöhykeperiaatteen mukaan

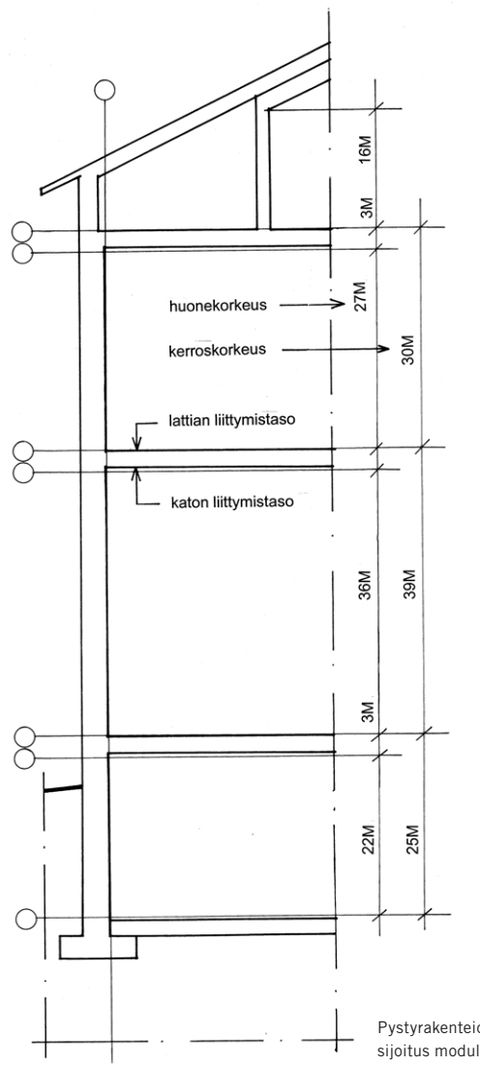


Pilarien sijoitus moduliverkkoon
keskeisperiaatteen mukaan

Moduliverkko

Modulisuus tarkoittaa yhtenäistä mittajärjestelmää (M=10 cm). Moduliset rakenteet ja rakennustarvikkeet voidaan valmistaa muualla ja liittää toisiinsa työmaalla sellaisenaan. Mitta sisältää myös sovitusvaran, joten rakenteen todellinen mitta on modulia hieman pienempi.

Runkorakenteiden perusmoduli voi olla esimerkiksi 12M ja liittyvien rakenteiden 3M. Kantavat rakenteet sijoitetaan moduliverkkoon keskeis-, vyöhyke- tai viereisperiaatteen mukaisesti.

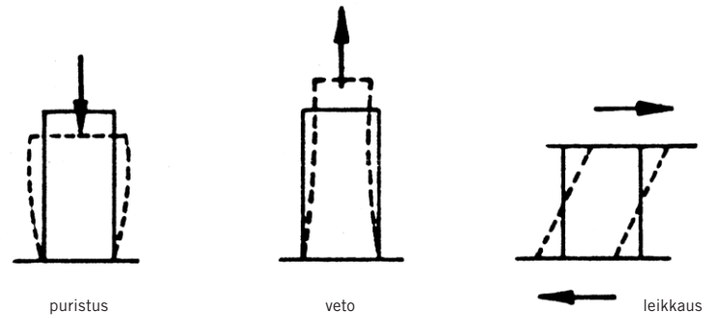


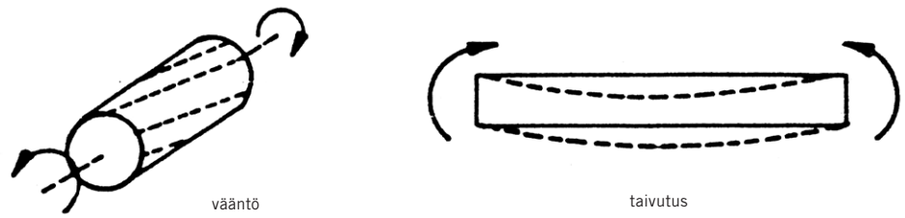
Pystyrakenteiden
sijoitus modulisesti

Perusrasitukset

Rakennesuunnittelija ottaa huomioon rungon mitoituksessa hyötykuormat, rakenteiden omapainon, luonnonkuormat, pakkovoimat ja katastrofikuormat.

Perusrasitukset





Rakenteiden luokitus

Kantavien rakenteiden luokitus:
- rakenneluokka 1 (vaativat rakenteet)
- rakenneluokka 2 (tavanomaiset rakenteet)
- rakenneluokka 3 (yksinkertaiset pikkutyöt, omatoimirakentaminen)

Rakenneluokka on ilmaistu betonin lujuusluokan jälkeen tehtävällä merkinnällä, esim. K30-2. Uuden luokituksen mukaan rakenneluokat korvautuvat seuraamisluokilla: CC1 vastaa luokkaa 3, CC2 kakkosta ja CC3 rakenneluokkaa 1.

Jos rakennuksen runko jää näkyviin, sen pinnoille voi asettaa ulkonäkövaatimuksia.

Rakenneluokat korvataan toteutusluokilla vuoden 2012 alusta.

Rakennusrungon osat

Rakennusrungon osat voivat olla paikallavalettuja tai esivalmistettuja. Raudoitus voi olla myös jännitetty.

Palkit jaetaan valmistustekniikan, käyttötarkoituksen ja muotojen perusteella kolmeen ryhmään:
1) normaalit teräsbetoniset tai jännitetyt suorakaide-, leuka- ja ristipalkit
2) jännitetyt matalat leukapalkit
3) jännitetyt HI- ja I-palkit

Yleisimmät laattatyypit ovat massiivinen laatta, ontelolaatta sekä TT- ja HTT-laatta. Muita laattatyyppejä ovat kasetti-, liitto-, kuori- ja kaksoiskuorilaatta.

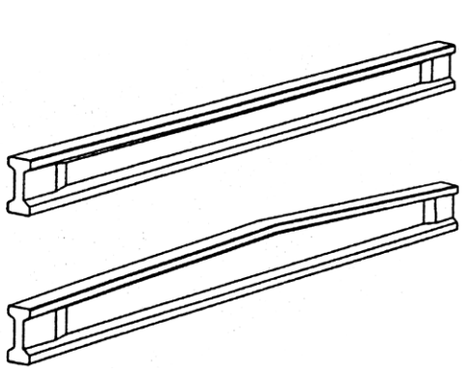
Pilareiden tavallisimmat poikkileikkausmuodot ovat neliö, suorakaide ja ympyrä.

Palkit kannatetaan joko pilariulokkeiden tai erillisten liitososien, ns. piilokonsolien avulla. Pilarit ovat joko kerroskorkeita tai useamman kerroksen korkuisia. Rakennus voidaan jäykistää mastopilarein.

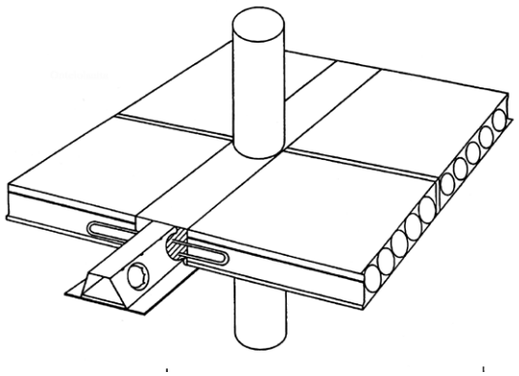
Muita kantavia rakenneosia ovat kehät, kaaret ja kuorirakenteet (paikallavalu tai elementti).

Liittorakenteet (liittopilarit, liittopalkit, liittolaatat) ovat esivalmistettujen betoni- tai teräsrakenteiden ja paikallavalettujen betonirakenteiden yhdistelmiä, jotka muodostavat yhdessä toimivan kokonaisuuden.

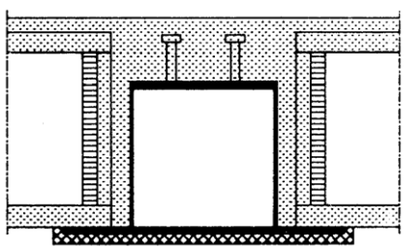
Palkit



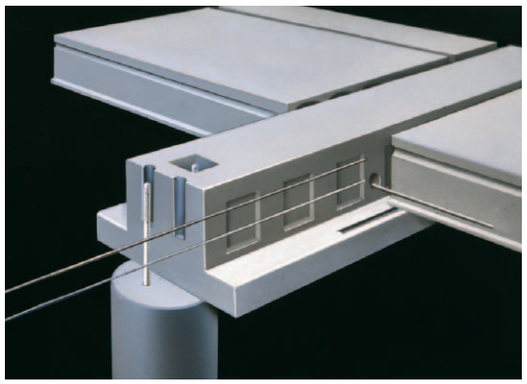
I-palkki ja HI-palkki



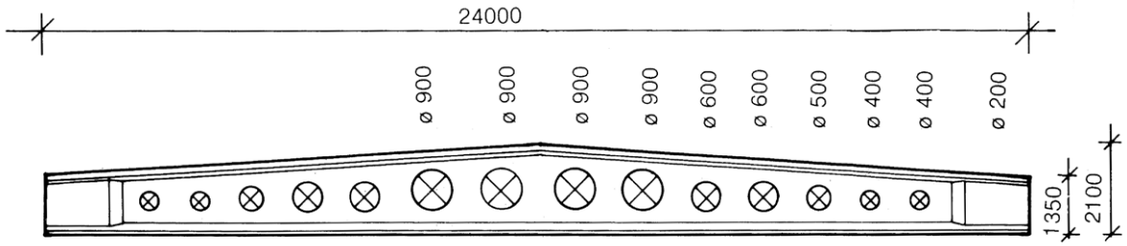
Delta-palkki ja ontelolaatasto



HQ-palkin sijainti betonirakenteessa

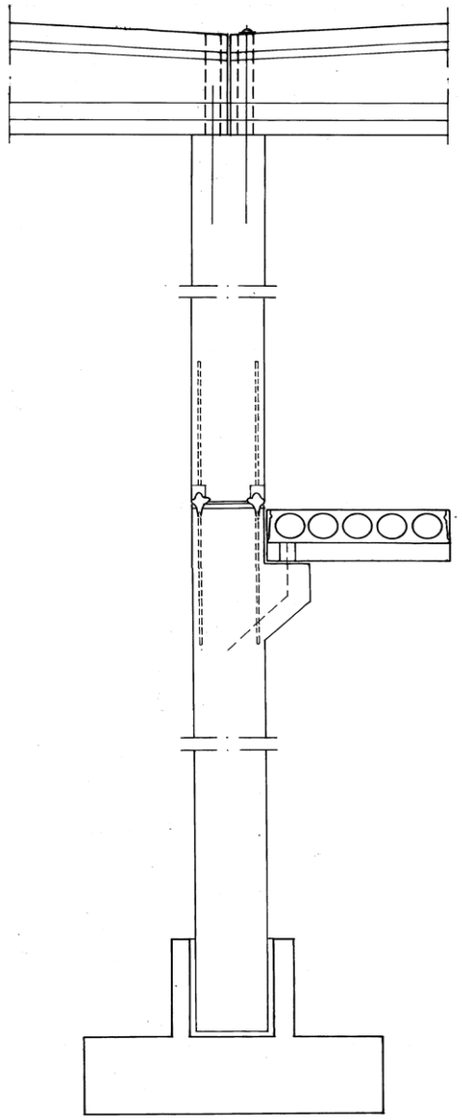


Matala jännitetty leukapalkki

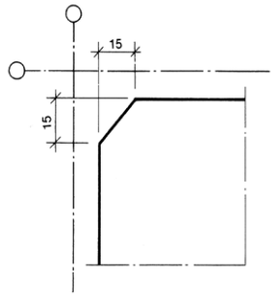


Palkkia voi rei'ittää. Isommat reiät on rakennesuunnittelijan aina tarkistettava.

Pilarit



Pilarissa voi olla ulokkeita

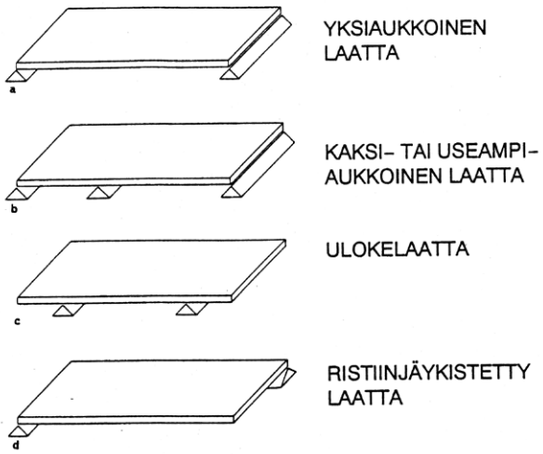


Pilarin reunaviiste ja viereinen sijoitus moduliverkkoon

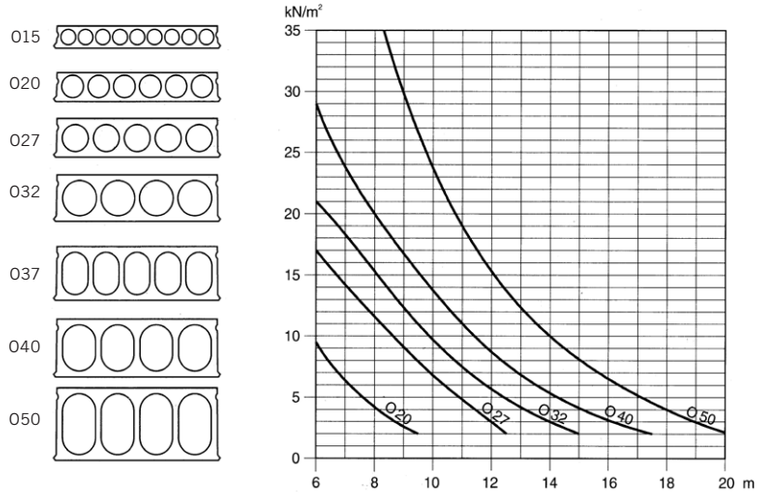
Pilareita maassa

Pilareita lastataan

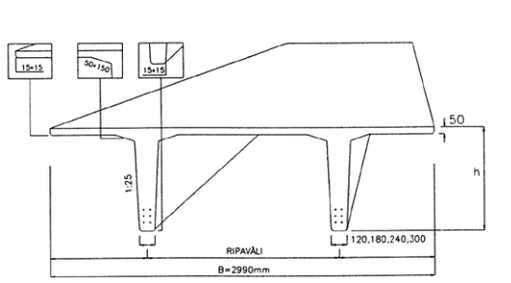
Laatat



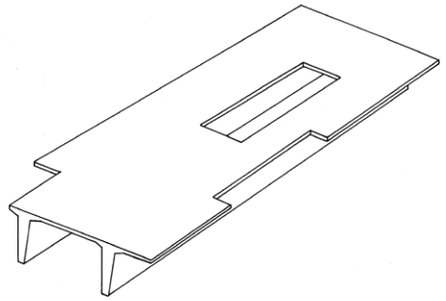
Laattojen periaatteet



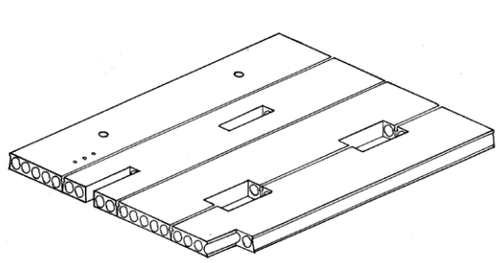
Ontelolaattojen käyttöalue



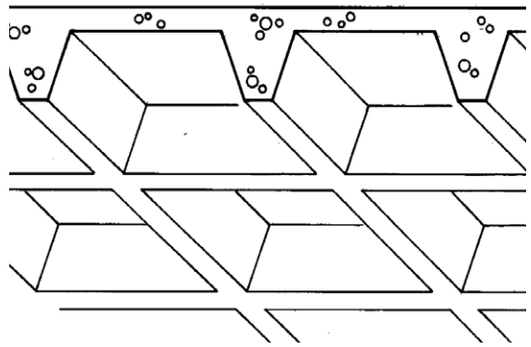
TT-laatta



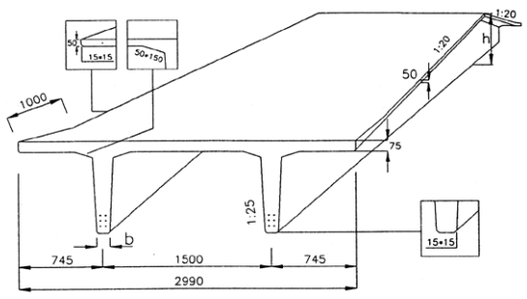
TT-laattaa voi reijittää



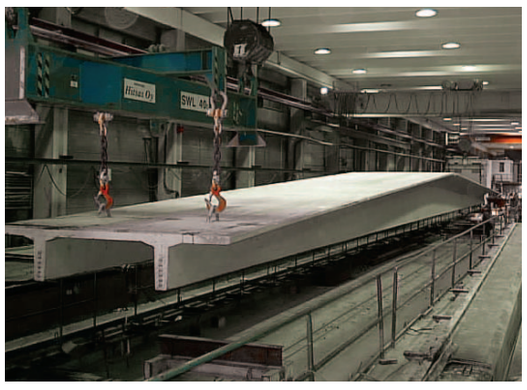
Ontelolaattoja voi reijittää



Arinalaattta valetaan paikalla kupumuottien avulla

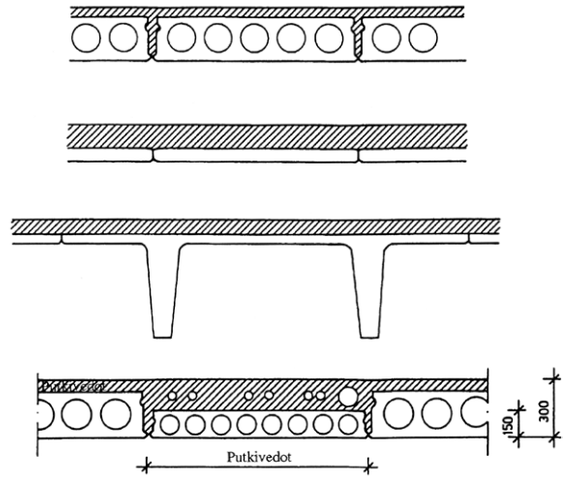


HTT-laatta

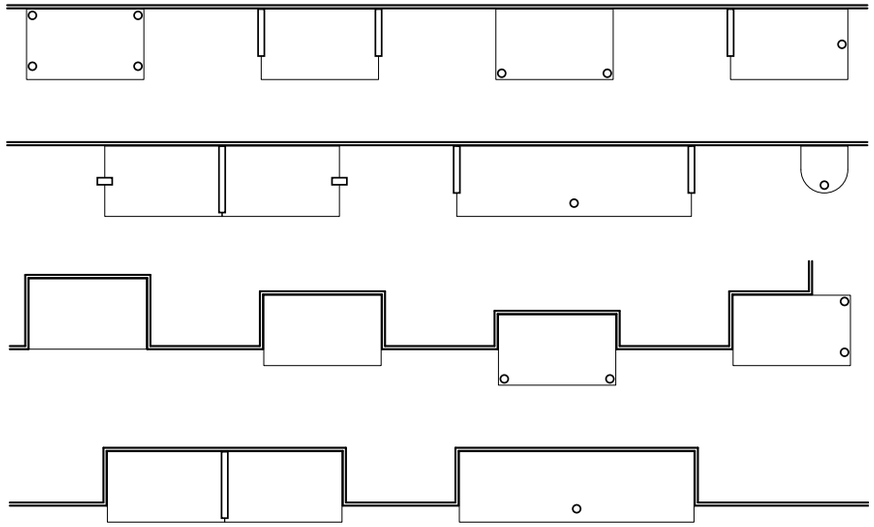


HTT-laatta tehtaassa

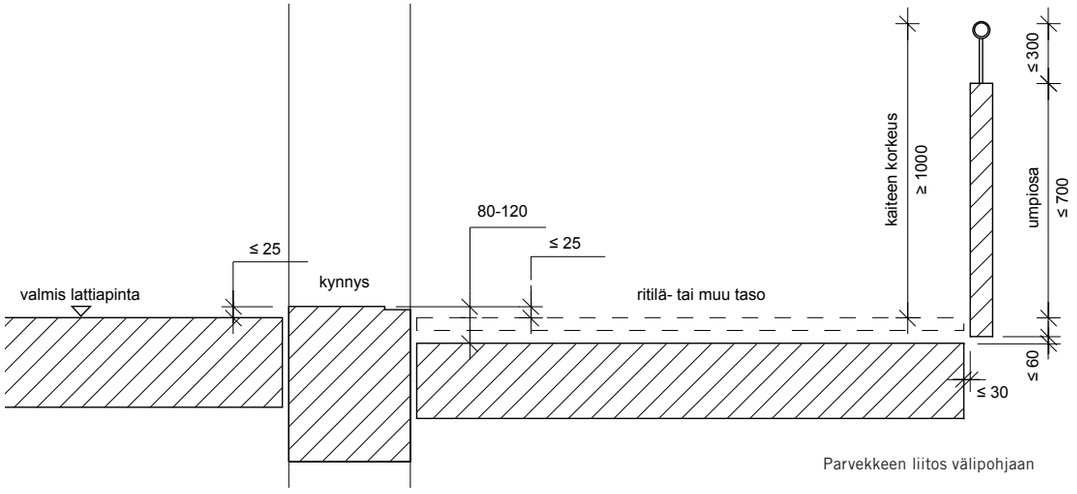
Liittolaatta on elementtien ja paikallavalun yhdistelmä. Ylhäältä: ontelolaattoja, kuorilaattoja ja TT-laattoja. Alinna märkätilojen lattiarakenne, johon voi upottaa putkivetoja.



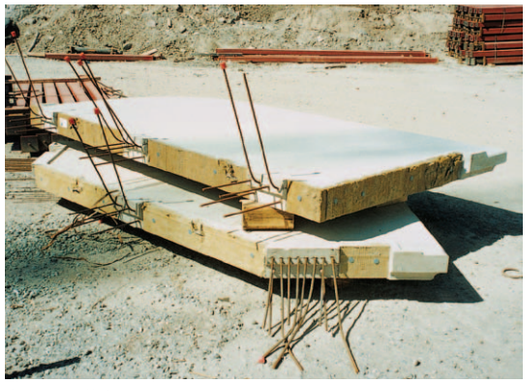
Parvekkeet



Parveketyyppejä

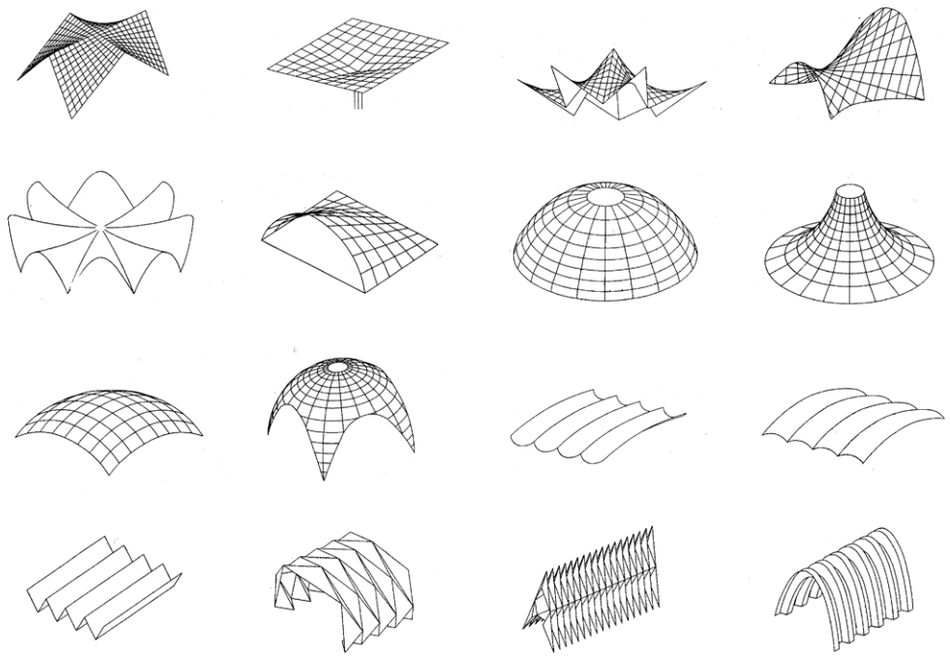


Parvekkeen liitos välipohjaan

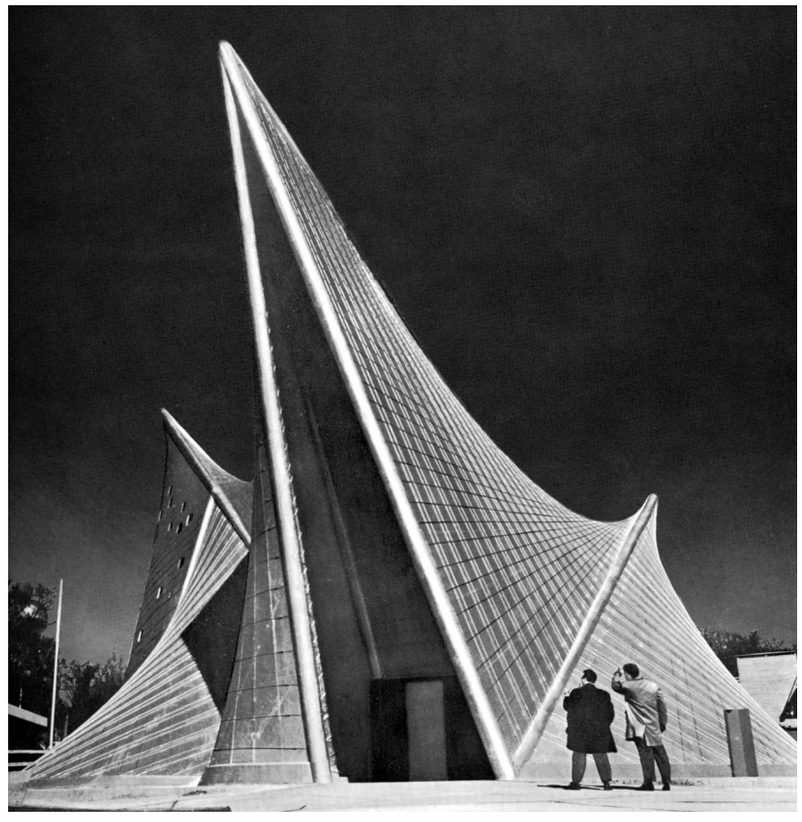


Parvekelaattoja maassa

Kehä- ja kuorirakenteet



Betonista voi tehdä suuria ja näyttäviä kuorirakenteita valettavuutensa ansiosta. Rakennetta kevennetään ohentamalla sitä ylöspäin.



Le Corbusier: Philips -paviljonki, Brüsselin maailmannäyttely 1958. Teräsbetonisten tukien varaan on jännitetty teräskaapeleita verkoksi. Kateaineena on hiekkaa vasten valettuja betonilaattoja.

Rakennusrunko

Tavanomaisia runkojärjestelmiä
- pilari-palkki-laatta
- pilari-laatta
- seinä-laatta

Harvinaisempia runkojärjestelmiä
- solurunko (tilaelementti)
- kehä
- kuori
- poimurakenne

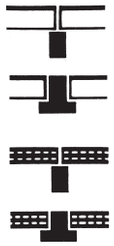
Rakennustekniikan mukaan voidaan jaotella
- elementtirunko
- paikallavalettu runko
- liittorunko
- erikoiset rungot (lasi, tiili ym)

Paikallavaluun soveltuvat hyvin
- pilari-laatta
- jälkijännitetyt rakenteet
- yhdistelmärakenteet

Paikallavaletulla pilari-laattarungolla voidaan aikaansaada palkittomia, altapäin tasaisia välipohjia, joiden alapintaan voidaan vapaasti sijoittaa teknisiä järjestelmiä. Paikallavalettua välipohjaa voi aukottaa suhteellisen vapaasti ja se sallii ulokkeiden tekemisen. Monimuotoisuus on paikallarakentamisen ominaisuus.

Elementtirunkorakenteiden etuja ovat hyvä mittatarkkuus, mahdollisuus käyttää korkeampia betoniluujuuksia sekä teollisen valmistuksen mukanaan tuoma nopeus ja edullisuus sekä hyvä pintojen laatu.

Elementtirunko

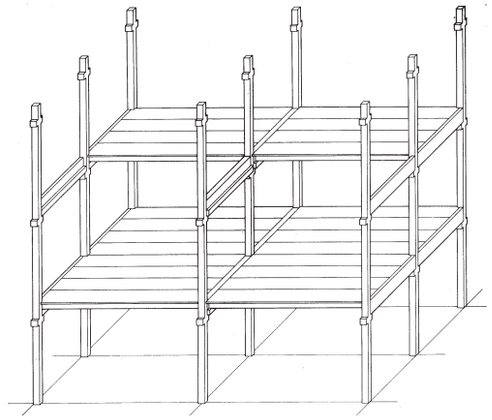


TT-laatta, suorakaidepalkki

TT-laatta, leukapalkki

Ontelolaatta, suorakaidepalkki

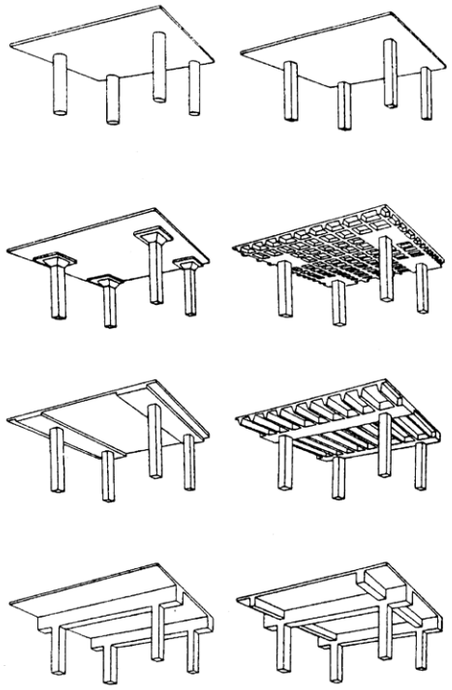
Ontelolaatta, leukapalkki



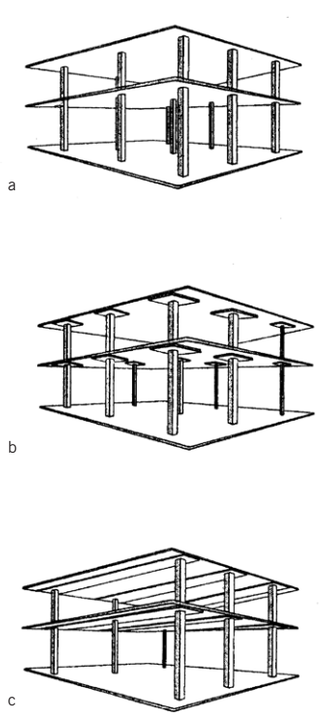
Teollisuushallin runko

Toimistorakennuksen runko

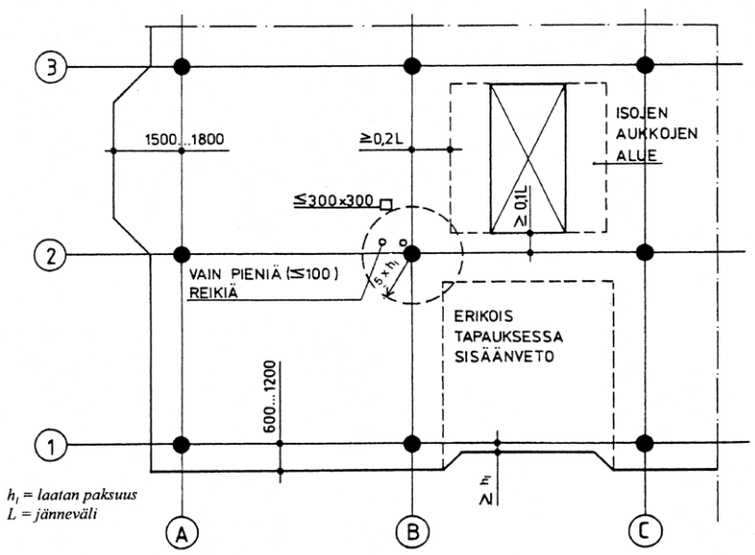
Paikallavalettu runko



Paikallavalettuja pilari-laattarunkoja



Pilarilaattarunkoja
a) tasavahva pilarilaatta
b) pilarilaatta sienivahvistuksin
c) palkkikaistoin vahvistettu pilarilaatta



Paikallavalettuun rakenteeseen voi tehdä aukkoja ja ulokkeita.

Perustaminen

Perustustyypit jaetaan matala- ja syväperustuksiin. Matalaperustukset jäävät routarajan yläpuolelle ja niitä ovat ryömintätilainen sekä maanvarainen alapohja. Syväperustukset ulotetaan routarajan alapuolelle ja yleisimmät tyypit ovat peruspilarit, sokkelipalkit ja peruspilarit sekä perusmuurit.

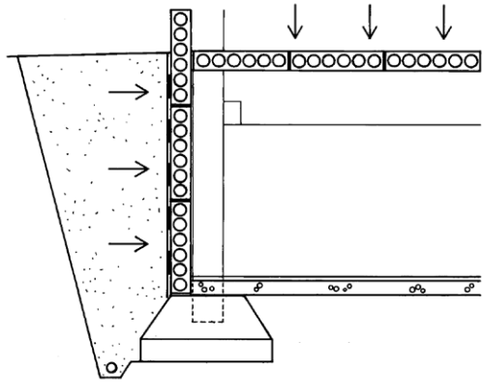
Perusmuurien ja -pilarien valmistustapoja ovat paikallavalu muotteihin, muuraus harkoista tai elementtirakenne. Elementtiperustus kootaan esivalmistetuista osista.

Paalut tehdään yleisimmin betonista. Tavallisesti paalut juntataan maahan. Suihkupaalu valmistetaan suoraan maahan ilman muottia.

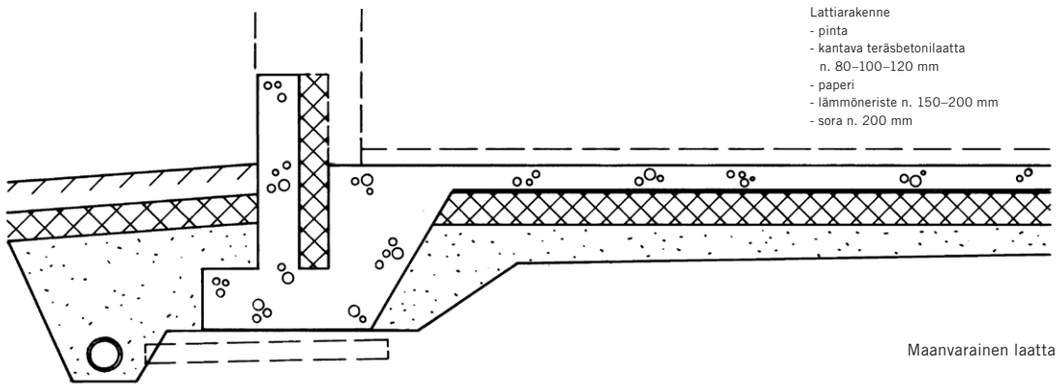
Maa- ja vesipaine otetaan huomioon kellarin seinärakenteessa. Perustuskuoppa voidaan myös tukea erillisellä patoseinällä. Painelaatta taas tehdään kellarin sisäpuolelle vastustamaan pohjaveden nostetta ja pitämään vesieristyksiä paikoillaan.

Sokkelielementti

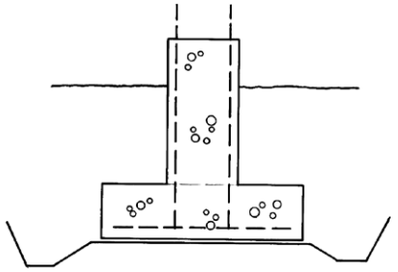
Paalut

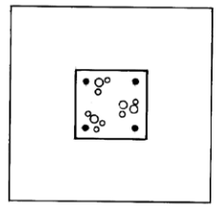


Maapaineseinä voi olla samaa rakennetta kuin kantava vaakarakenne.

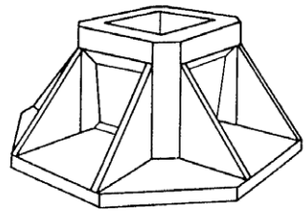


Maanvarainen laatta

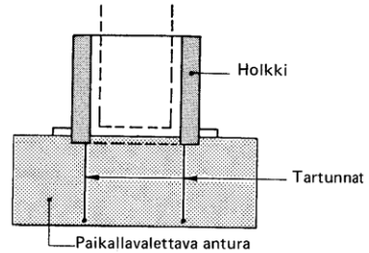




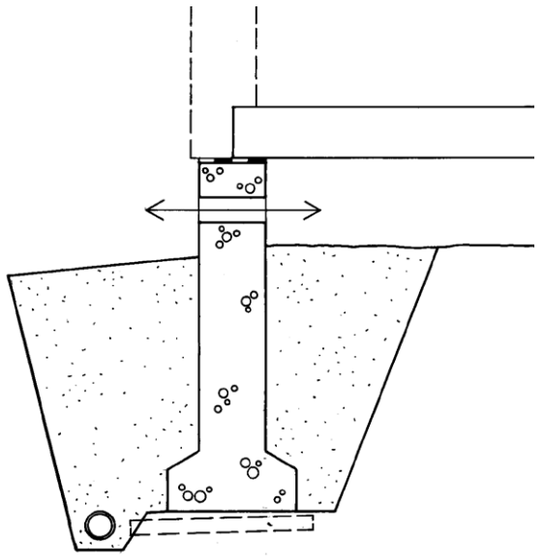
Perustuspilari



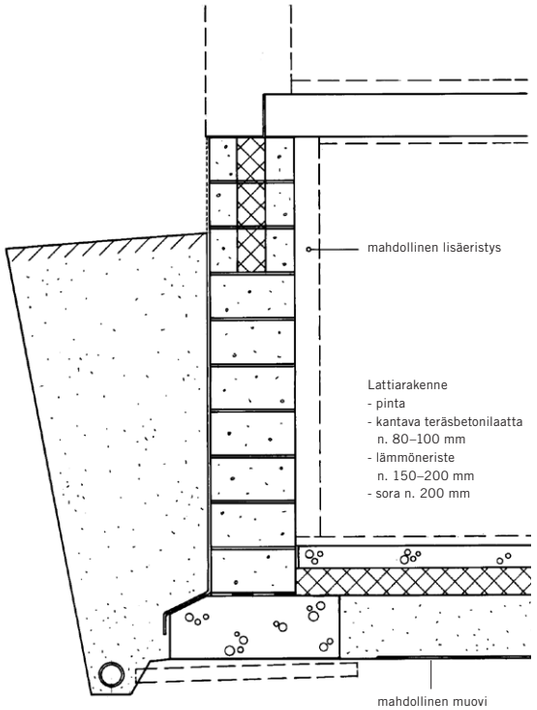
Pilarin anturaelementti



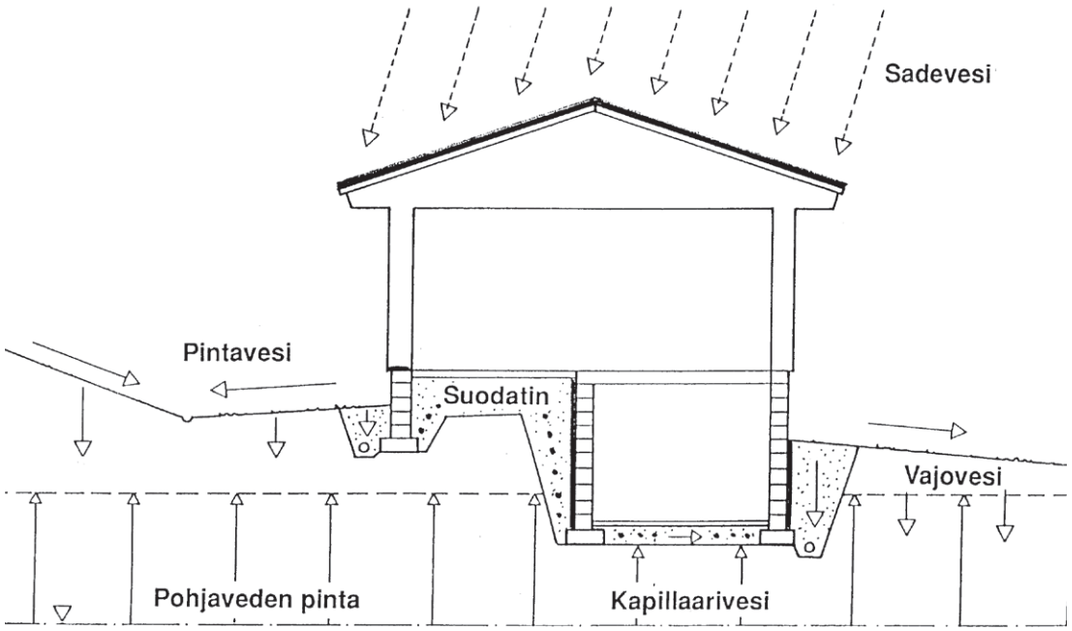
Pilarin holkkielementti



Ryömintätilainen tuuletettu perustus
- ryömintätila pidetään kuivana
- tiivis lämmöneristetty lattiarakenne
- sokkelin suositeltava korkeus 0,5–1 m



Kellarillinen perustus



Rakennuksen kosteusrasituksia

6. Betonilattiat

Betonilattiat

Yleistä

Betonilattia on osa rakennusta, usein sen alapohja. Suurena pintana lattia näkyy ja vaikuttaa rakennuksen arkkitehtuuriin.

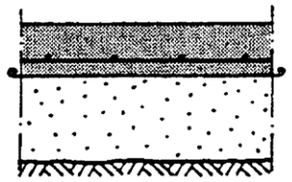
Lattiaan kohdistuvia rasituksia ovat kuormituksen vaihtelut (esim. pyöräkuormat), betonin kuivumiskutistuminen, lämpötilojen vaihtelut, kuluminen, kemialliset aineet jne. Käyttäjälle tärkeitä ovat myös pinnan ominaisuudet, kuten valonheijastuskyky, väri ja sileysaste, sekä turvallisuus kuten kitka- ja palo-ominaisuudet. Siivottavuus ja huollettavuus vaikuttavat käyttökuluihin.

Lattiarakenne

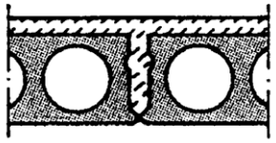
Lattian laatutekijöitä ovat lujuus, tasaisuus ja kulutuskestävyys. Pintalaattaa kannattelevien alusrakenteiden tulee olla tasaiset ja kestää painumatta.

Käyttötarkoitus määrää lattiarakenteen. Se voi olla maanvarainen, pintabetonilattia tai kelluva rakenne. Lattiaan voidaan myös upottaa tekniikkaa kuten lattialämmitystä.

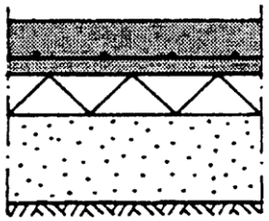
Lattiarakenne valitaan siten, että lattia kantaa vaurioitumatta sille tulevat kuormat. Lattia irrotetaan tarvittaessa irrotuskaistojen avulla pystyrakenteista mm. akustisista ja kosteussyistä.



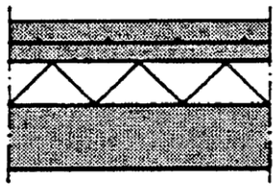
1.



3.



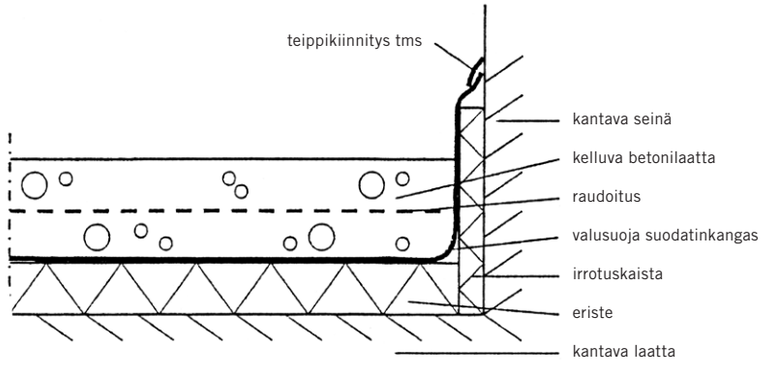
2.



4.

Perustyypit:

1. Maanvarainen laatta sora-alustalla
2. Lämpöeristetty maanvarainen laatta sora-alustalla
3. Pintabetonilaatta joko kantavan paikallavaletun laatan tai elementtirakenteen päällä
4. Kelluva lattia kantavan laattarakenteen päällä



Kelluva lattia erotetaan kantavista rakenteista

Lattiabetonimassoja

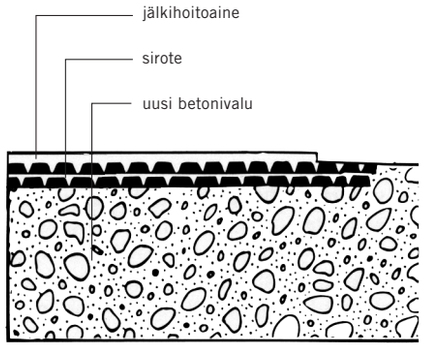
Betonilattiaan tarkoitetun betonimassan koostumus valitaan siten, että kutistuma ei kasva liian suureksi. Tämä tarkoittaa suurta raekokoa ja jäykähköä massaa.

Kuitubetoni vähentää kutistumaa ja halkeilua. Teräskuidut voivat korvata laatan verkkoraudoituksen.

Väribetoni värjätään kiviaineksen ja pigmentin avulla. Tasavärinen massa kuluu huomaamattomasti.

Kovabetoni valmistetaan valikoidusta kiviaineksesta kulutuskestävyyttä vaativiin kohteisiin.

Muovibetoni sisältää betonin tiiviyttä ja kemiallista kestävyyttä parantavaa polymeeridispersiota.



Sirotelattian periaate

Lattian valaminen

Lattiapinnan korko määritetään, samoin mahdolliset lattiakaivojen paikat ja pintakaadot. Raudoitusverkot asennetaan oikeaan korkeusasemaan korokkeiden varaan. Reunanirrotuskaistat estävät pintavalun kosteutta imeytymästä muihin rakenteisiin.

Kuivumiskutistumaa ja pintalaatan käyristymää hallitaan laatan lujuuteen ja paksuuteen nähden riittävällä raudoituksella ja valamalla suuret lattiapinnat osissa, jotka erotetaan toisistaan ja muista rakenteista liikuntasaumoin. Teräskuitubetoni mahdollistaa laajat kertavalut, laserohjatut levittimet ja saumattoman lopputuloksen. Liikuntasaumat voidaan sahata lattiaan myös kohta kovettumisen jälkeen.

Valun ja tärytyksen jälkeen pinta hierretään (puuhierto, teräshierto). Jälkihoito varmistaa, että kaikki sementti sitoutuu eikä pinnasta tule pölyävä.

Imubetoni tarkoittaa lattian vahvistamista siten, että heti valun ja tärytyksen jälkeen liika vesi imetään alipaineella pois.

Sirotepinta valmistetaan levittämällä värillistä sirotetta tuoreen betonin pintaan Sirote hierretään osaksi betonirakennetta vahvistamaan sen pintaa. Värivaikutelman tasaisuuteen vaikuttavat perusmassan väri ja sen sävyvivahteet sekä sirotteiden levittymisen tasaisuus.

Lattiaa valetaan

Liikuntasaumaa sahataan

Sementtipolymeeripinnoitetta levitetään.

Hionta ja suojakäsittelyaineet lisäävät lattian kovuutta ja kiiltoa.

Kovabetonipinta on tasavärinen.

Kemiallisesti värjätty (patinoitu) ruskea lattia.

Kovettunut lattiapinta

Hierretty ja kovettunut betonipinta (perusbetoni) ei useimmiten sovellu sellaisenaan käyttöön lattiaksi. Käyttöpinnaksi hiottuna se on mosaiikkibetonia. Hiottu pinta paljastaa kiviaineksen ja antaa kivimäisen vaikutelman. Pinta voidaan patinoida värikkääksi ennen hiomista.

Pinnoitus parantaa lattian kestävyyttä ja puhtaanapitoa. Pinnoitettava betonipinta puhdistetaan sementtiliimasta ja tarvittaessa karhennetaan tai tasoitetaan.

Kosteusvaurioiden välttämiseksi betonilattioiden annetaan kuivua tai niitä kuivatetaan riittävästi ennen pinnoittamista, ja tilanne varmistetaan kosteusmittauksin. Pinnoitemateriaalit sekä liimat ja laastit päästävät betonista haihtuvaa kosteutta eri tavoin lävitseen; samoin niiden oma kosteudensietokyky vaihtelee. Esim. puun mikrobivaurioituminen voi alkaa, jos sen oma suhteellinen kosteus on yli 75% RH.

Pölynsidonta-aineet (impregnointi) eivät tarvitse pohjustusta eivätkä muodosta kalvoa, vaan ne imeytyvät betonin pintaan jättäen sen alkuperäisen värin ja tekstuurin näkyviin. Silikaatti-impregnointi tunkeutuu syvemmälle ja on kestävämpi kuin silaani- tai siloksaanipohjaiset aineet.

Maalit ja lakat muodostavat kalvon ja ne riittävät kohtuullisiin rasituksiin. Vaativammissa kohteissa käytetään itsesiliäviä tai hierrettäviä massapinnoitteita. Niitä ovat mm kovabetonipintaus joko sellaisenaan tai hiottuna, sekä epoksi- tai sementtipohjaiset massat. Erikoismassoista esim. sähköä johtava massa voidaan maadoittaa, ja elastinen massa silottaa hyvin halkeamia.

Kelluva puuparketti eristää askeläääniä paremmin kuin alustaansa liimattu. Muovi, kumi ja linoleumi ovat tiiviitä materiaaleja jotka liimataan alustaansa. Keraamiset laatat kiinnitetään laastilla ja saumataan; kosteissa tiloissa kiinnitysalustana on pintoihin sivelty yhtenäinen vedeneristyskerros.

Kuparijauhetta sisältävä pinnoite on hierretty ja käsitelty kemiallisesti.

Mattahiotut mustat mosaiikkibetonilaatat. KoneBuilding, Arkkitehtitoimisto Sarc Oy

7. Julkisivut

Yleistä julkisivuista

Betonia alettiin käyttää julkisivuissa ja muissa näkyvissä pinnoissa suuremmassa mittakaavassa 1950-luvulla. Ensisijaisena syynä tähän olivat kustannukset.

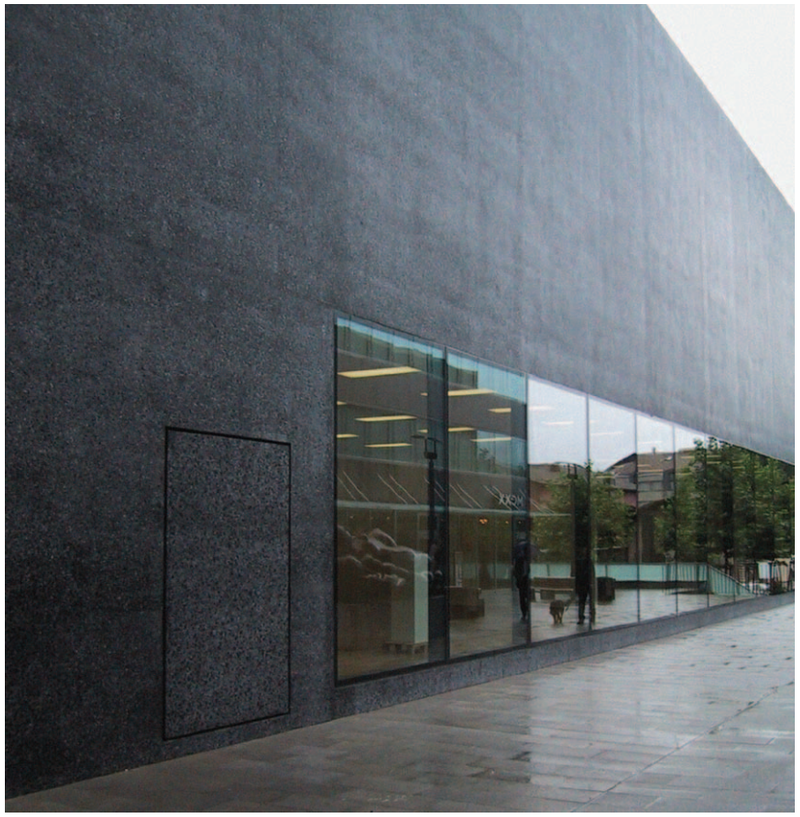
Julkisivuun kohdistuvia rasituksia ovat mm:
- omapaino, tuuli, iskut
- saasteet, pakkanen
- lämpötilan muutokset, sade

Julkisivujen rakenteessa otetaan huomioon betonin säilyvyysvaatimukset, esim. pakkasenkestävyys. Tiiviin pintarakenteen taakse tehdään nykyisin joko tuuletusuritus tai ilmarako, joka tuulettaa niin ulkoa kuin huoneenkin puolelta mahdollisesti tulevaa kosteutta pois.

Paikallavalettu julkisivu

Suomessakin on tehty jonkin verran paikallavalettuja julkisivuja ulkomaisten esimerkkien innoittamana. Oma tyylisuuntansa 1900-luvun puolivälissä oli ns betonibrutalismi, joka käytti valupinnan karua kauneutta arkkitehtonisena ilmaisukeinona.

Lämmitettävän rakennuksen julkisivua ei voi Suomessa valaa massiivisena, vaan muuri on esim. halkaistava lämmöneristekerroksella. Betonipinnan laadunhallinta on myös vaikeampaa paikalla kuin elementtitehtaassa.



Paikallavalettu julkisivu

Lichtenstein Art Gallery,
Morger & Degelo, 2000

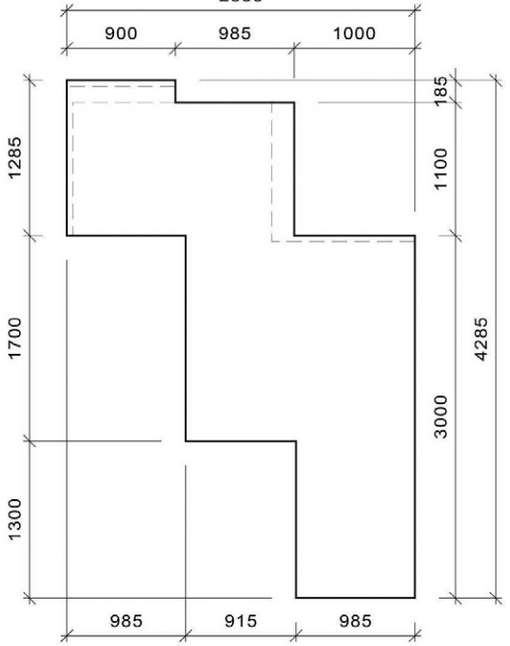
Elementtijulkisivut

Mielikuva elementtijulkisivusta perustuu usein vielä 1960–70-lukujen taloudelliseen massarakentamiseen. Nykytekniikalla julkisivuelementtejä voi varioida lukemattomin eri tavoin niin koon, muodon kuin pinnankin kannalta.

Saumat kuuluvat elementtijulkisivuun. Saumojen hallinta on tärkeää, koska niiden pienikin epätarkkuus saattaa näkyä häiritsevästi.

Saumat voidaan ottaa näkyväksi osaksi julkisivun arkkitehtonista jäsentelyä ja täydentää sitä tarvittaessa valesaumoin.

Saumojen antamaa vaikutelmaa voi myös häivyttää eri tavoin. Saumojen lukumäärä vähenee, jos käytetään suurempia elementtejä. Saumat voidaan ”piilottaa” rakennuksen sisäkulmiin, parvekeseinämien tai syöksytorvien ym taakse, kahden rajapinnan väliin (tasoerot, materiaalit, pintastruktuurit, värit) tai osaksi valesaumaa tai julkisivun voimakasta profilointikuviota (harkkomaisuus, raidat tms). Täysin saumaton rapattu elementtijulkisivu koostuu elementeistä, joiden erityinen saumaratkaisu mahdollistaa saumakohdan ehjänä pysymisen ja ylirappauksen.



Itsekantavat kuorielementit, maalattu pinta. Julkisivuissa on käytetty yhtä betonielementtityyppiä ja sen peilikuvaa.

Säterinrinteen asuinkerrostalot, Espoo
Arkkitehtitoimisto Brunow & Maunula 2002

Julkisivuelementit

Julkisivurakenteita ovat sandwich-elementit, kuorielementit, yhdistelmärakenteet ja parveke-elementit. Uudet julkisivurakenteet mahdollistavat mm elementtien vapaan aukotuksen ja saumojen sijoittelun sekä reliefimäiset ratkaisut syvyyssuunnassa.

Sandwich-elementtejä on kaksi perustyyppiä: perinteinen normaaliraudoitettu sekä esijännitetty ontelolaattaelementti (teollisuushalleissa).

Sandwich-elementin sisä- ja ulkokuori valetaan toisiinsa kiinni tehtaalla. Uritettu lämmöneriste tuulettaa rakennetta kuorien välissä. Sisä- ja ulkokuori toimivat kiinteästi yhdessä. Sandwich-elementit kiinnitetään rakennusrunkoon yleensä juotosvalujen avulla. Muita mahdollisuuksia ovat pultti- tai hitsausliitos.

Kuorielementti eli eriytetty julkisivurakenne rakennetaan vaiheittain. Ensin rakennetaan seinän sisälevy. Se voi olla betonia tai muuta materiaalia ja myös kantava. Lämmöneristys asennetaan työmaalla sisälevyn päälle tai se kiinnitetään jo tehtaalla sisäkuoreen. Lopuksi kiinnitetään ulkokuori runkoon. Vaihtoehtoisesti elementit voidaan asentaa itsekantavina päällekkäin ja tukea ne perustuksiin. Kuorielementin ideana on erottaa toiminnallisesti säärasituksille altis julkisivun uloin kerros sisäpuolisesta. Saumajaottelu ei ole sidoksissa sisäkuoren saumoihin tai rakennuksen laatastoihin, jolloin ulkokuori voi koostua pienistä osista tai olla kaksikolmekin kerrosta korkea elementti. Ulkokuori on myös helppo vaihtaa jälkeenpäin.

Yhdistelmäjulkisivuissa asennetaan ensin joko ulko- tai sisäkuorielementit. Kuorien materiaali ja rakenne voivat poiketa toisistaan ja olla myös jotakin muuta ainetta kuin betonia.

Sisäkuorielementit ovat osa eriytettyä julkisivua tai yhdistelmäjulkisivua. Lämmöneriste kiinnitetään niihin tehtaalla tai työmaalla.

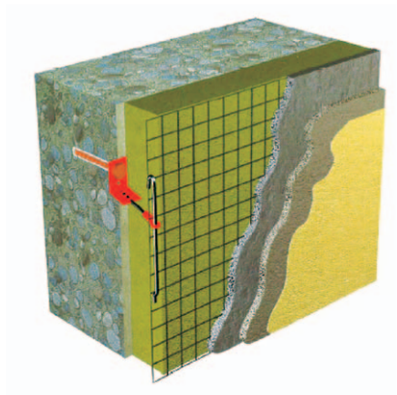
Tehdasrapattu saumaton julkisivuelementti koostuu sisäkuoresta ja sen päälle kiinnitetystä lämmöneristeestä, joka pohjarapataan tehtaalla. Näin elementti on suojassa sateelta, kunnes saumat ja pinta rapataan työmaalla. Rappaus voidaan toteuttaa noin 20 mm paksuna, jolloin se on verkotettu metalliverkolla ja kiinnittyy sisäkuoreen mekaanisesti mineraalivillan läpi. Ohutrappauksena eli noin 5–7 mm paksuisena toteutettavassa eristerappauksessa lämmöneriste (luja mineraalivilla tai solumuovi) kiinnittyy sisäkuoreen suoraan betonivalussa. Lasikuituverkolla vahvistettu ohutrappaus kiinnittyy lämmöneristeeseen tartunnalla eli ilman mekaanisia kiinnikkeitä

Kuorielementit (pääosin itsekantavia, osa ripustettuja). Lakkamuottia vasten valettu sileä valkobetoni, osassa oksidoitu kellertävä pinta. Kiinteistö Oy Biomedicum Helsinki, Gullichsen-Vormala Arkkitehdit Ky 2001

Rapatut ja maalatut sandwich-elementit.
Kiinteistö Oy Paciuksenkatu 21, Helsinki. Arkkitehtitoimisto Siitonen 2002

Luonnonkivilaattoja voidaan kiinnittää betonijulkisivuun liimatartunnan tai mekaanisen tappikiinnityksen avulla. Vapaamittainen kivilaatta tarkoittaa tasamittaista vaakajakoa, johon erikokoiset kivilaatat lisätään puskusaumalla.

Erikoisjulkisivuja ovat mm betonitaustainen kaksoislasijulkisivu, lasikuitubetoniset elementit sekä esijännitetyt hallirakennusten betonijulkisivut.



Saumattomaksi rapattu elementtijulkisivurakenne.

Elementtisaumat

Julkisivuelementtien väliset saumat ovat ulkokuoren liikuntasaumoja. Saumatyyppejä ovat mm avosauma, nauhasauma, elastinen kittisauma, puristettu kumiprofiilisauma ja listasauma. Saumattomaksi rapattu elementtijulkisivu vaatii saumojen verkottamisen ja täyttämisen erityisellä pohjarappauslaastilla, jotta elementtien liikkuminen ei halkaisisi rappausta.

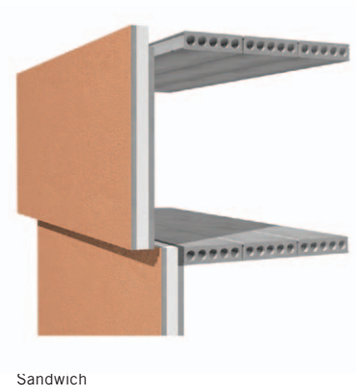
Elementin reunan muotoilu täsmentää saumaa. Viistoaminen saa sauman näyttämään leveämmältä ja ”lyijykynäpyöristys” (r = 3 mm) kapeammalta. Viistetty sauma kestää myös paremmin säärasituksia. Teräviä saumoja voidaan tehdä vain hiottuihin pintoihin.

Jos muotin särmä vuotaa, betonin koostumus on sauman vieressä erilainen kuin muualla ja näkyy ajan myötä korostuvana värierona.

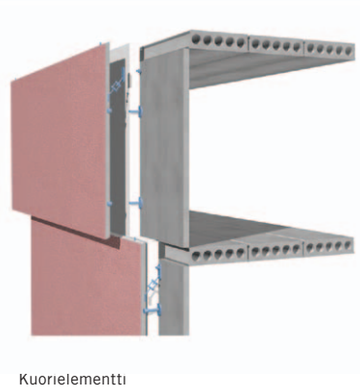
Elementtien asennuksessa saumoista tehdään tasalevyisiä ja elementtien hammastuksia pyritään välttämään.

Saumoihin asennetaan tuuletusputket tai kotelot, joiden kautta ulkokuoren taakse mahdollisesti kertyvä kosteus pääsee tuulettumaan pois.

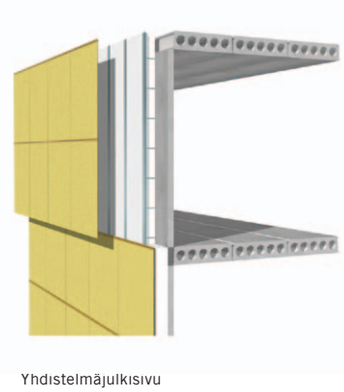
Julkisivuelementit



Sandwich
- betoniulkokuori > 70 mm
- tuuletusurin varustettu mineraalivilla 240 mm
- betonisisäkuori > 80 mm (ei-kantava) tai > 150 mm (kantava)



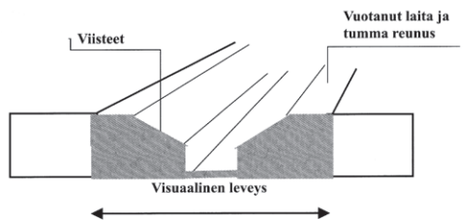
Kuorielementti
- betoniulkokuori 50–90 mm (ripustettu rakenne) tai 90–120 mm (itsekantava rakenne)
- tuuletusväli 30–50 mm
- tuulensuoja 3–50 mm
- lämmöneristys 150–200 mm
- betonisisäkuori 120–150 mm

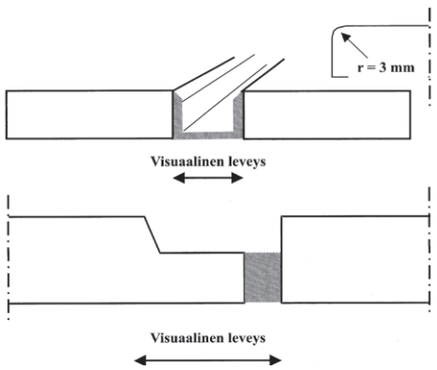


Yhdistelmäjulkisivu
- julkisivumateriaali 0,5–500 mm
- tuuletusväli > 30 mm
- tuulensuoja 3–50 mm
- lämmöneristys 150–200 mm
- betonisisäkuori 120–150 mm

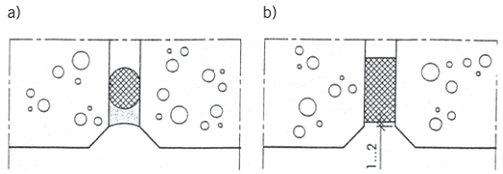
Saumamassalla saumatun julkisivun saumojen leveyden ohjeelliset suunnitteluarvot

Elementin sivun leveys/korkeus (mm)	Sauman suunnitteluleveys (mm)
< 3000	10
3000 5500 (6000)	15
5500 (6000) – 7000 (7200)	20
7000 (7200) – 9000	25
> 9000	30

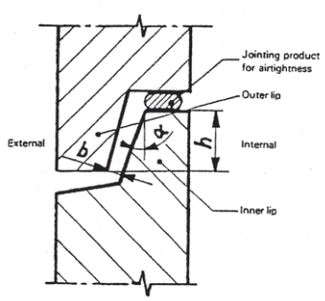




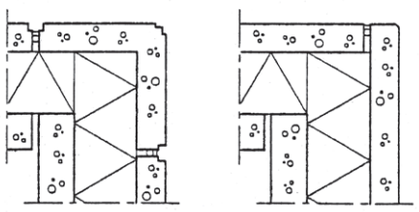
Sauman visuaalinen vaikutelma



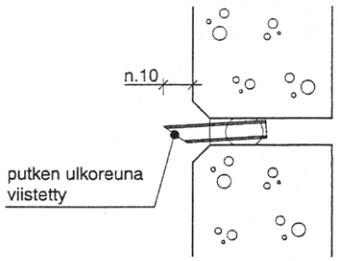
Elementtisaumoja
a) saumamassa ja pohjanauha, b) saumanauha



Standardin ISO 7728-1985 mukainen vaakasauma



Elementtirakennuksen nurkkadetaljeja



Sauman tuuletusputki päästää kosteuden pois

8. Muut betonituotteet

Muut betonituotteet

Betonin erinomaiset ominaisuudet kuten valettavuus, lujuus, kosteuden sieto ja kyky kovettua veden alla ovat yleistäneet sen kaikenlaisessa maa- ja vesirakentamisessa. Betonista tehdään mm siltoja, teitä, ratapölkkyjä, tukimuureja, laituri- ja siilorakenteita sekä kestäviä teollisuuden rakenteita.

Koska betonista ei liukene haitallisia aineita, se soveltuu hyvin myös putkien, vesisäiliöiden ja kaivonrenkaiden materiaaliksi.

Talonrakennuksessa betonia on käytetty jo kauan harkkoina ja tiilinä. Harkkojen ilmaonkalot keventävät painavaa harkkoa ja parantavat hiukan betonin lämmöneristävyyttä. Harkko voidaan myös halkaista kiinteällä lämmöneristeellä. Takavuosina omatoimirakentajat valoivat itse pieniä betonitiiliä, joista muurattiin ns. rakoseiniä talousrakennuksiin. Betonikattotiilet on kehitelty vaihtoehdoksi savesta poltetuille kattotiilille. Valtaosa Suomessa käytettävistä kattotiilistä onkin betonikattotiiliä.

Täydentävät rakennusosat kuten betoniportaat toteutetaan tehtaassa elementtirakenteisina tai paikallavalaen työmaalla.

Betoniset ympäristötuotteet

Rakennettu ympäristö koostuu paitsi rakennuksista, myös niiden rajaamista tiloista ja niitä yhdistävistä väylistä ja alueista. Yhä useammin nämä välitilat ja alueet on viimeistelty betonisin ympäristötuottein.

Betonisilla ympäristötuotteilla luodaan kulutuspintaa, rajoja ja maamerkkejä. Ne ohjaavat ja jäsentävät oleskelua ja liikennettä, osoittamalla eri toiminnoille omat alueensa väri- ja materiaalieroin, tai muotoilevat maastoa luiskin, portain ja reunakivin. Perustaso on rakennetun ympäristön kuudes julkisivu.

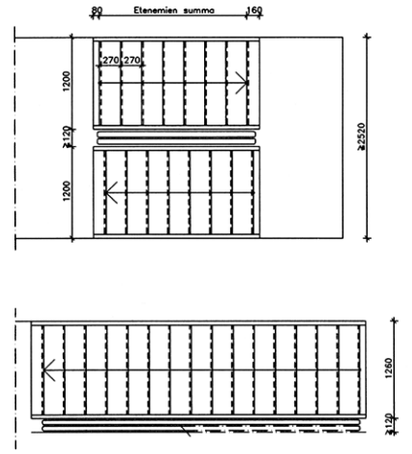
Betonikiville ja -laatoille ovat tyypillisiä erilaiset ladontakuviot, jotka on helppo purkaa ja koota uudelleen. Päällystekivien paksuudet 60, 80 ja 100 mm. Raskas ajoneuvoliikenne vaatii vähintään 80 mm paksun päällystekiven.

Betonikivet valmistetaan koneellisesti maakosteasta betonimassasta puristustäryttämällä. Betonikiven reuna voi olla suora tai kaareva. Reunaprofilointi lukitsee kivet toisiinsa ja parantaa päällysteen kantokykyä. Nurmikivi päästää ruohon kasvamaan lävitseen

Porvoon Aleksanterinkadun silta,Arkkitehtitoimisto Mikko Kaira Oy 2004

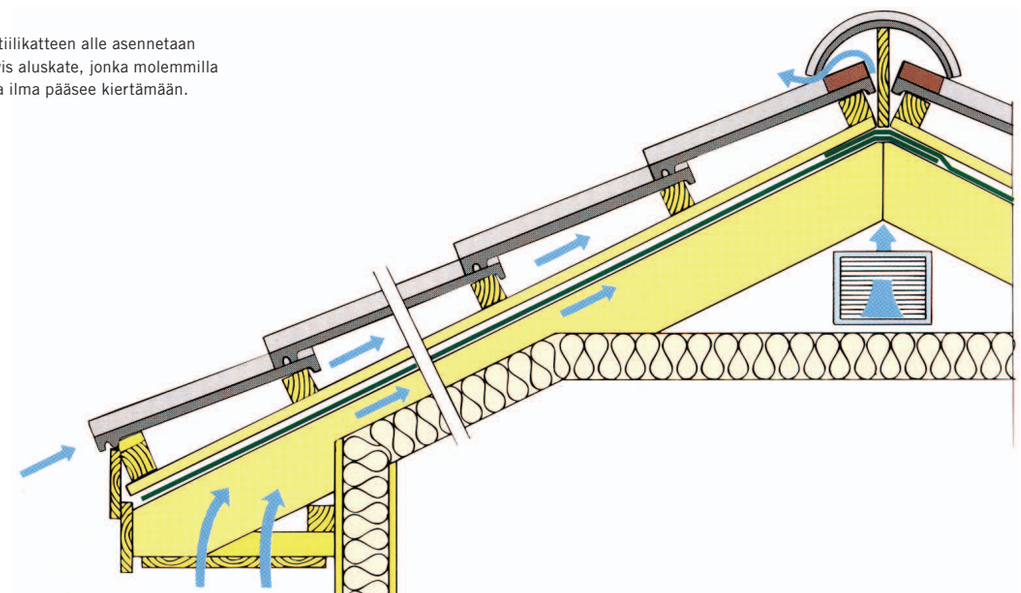
Elementtiporras nostetaan paikoilleen

Kattotiilien asennus



Kaksi- ja yksivartinen sivupalkillinen umpiporras

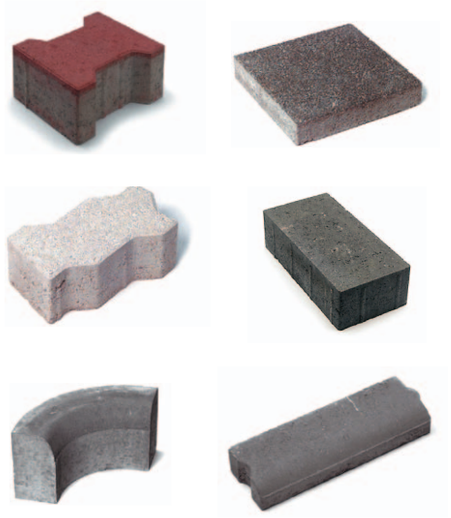
Betonitiilikatteen alle asennetaan vesitiivis aluskate, jonka molemmilla puolilla ilma pääsee kiertämään.



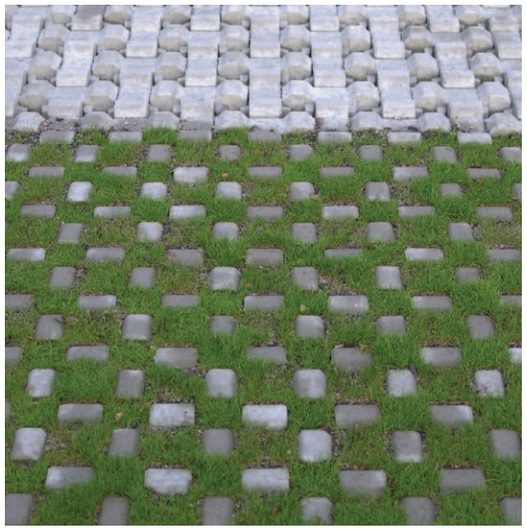
ja kestää myös pysäköintialueilla. Vinot reikäkivet ja -laatat soveltuvat mm. luiskiin ja eroosioalueille.

Perinteiset betonilaatat ovat yleensä neliömäisiä; muut muodot suunnitellaan niin että ladontakuvio on jatkuva. Muurikivet ovat laattamaisia sileä- tai lohkoreunaisia betonikiviä, joita voidaan latoa muuriksi ilman erillistä tuentaa enintään yhden metrin korkuiseksi. Matalia reunakiviä käytetään korokkeiden ja viheralueiden rajaamiseen ja pintavesien ohjaukseen; tyypeiltään ne ovat upotettavia, liimattavia tai naulattavia. Muita ympäristötuotteita ovat vesikourut, portaat ja erilaiset kalusteet sekä erikoistuotteet kuten viheraltaat, istutusastiat, liikenne-esteet ja pollarit.

Betonisten ympäristötuotteiden tavanomaisia värejä ovat harmaa sekä pigmenteillä värjätyt punainen, ruskea ja keltainen. Läpivärjäys parantaa värin kulutuskestävyyttä. Pinta on tavallisesti käsittelemätön muottipinta, hiekkapuhallettu tai pesty. Astetta suuremmissa pinnoissa kuten laatoissa ovat mahdollisia mm. uritetut kuviot.



Betonikiviä



Vihernoppakiveys

Betonikiveys

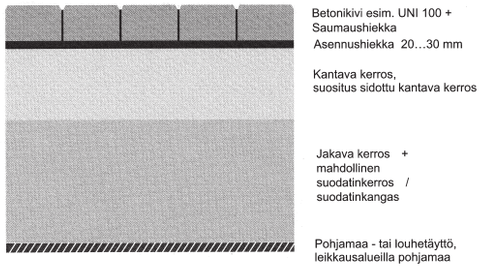
Päällysteiden asennus ja rakentaminen

Päällysteiden eräs tärkeä ulottuvuus on valumavesien ohjaus joko imeyttäen tai ohjaten muualle. Kuivatussuunnitelmassa määritellään alueen tasaukset, kallistukset, kourut jne.

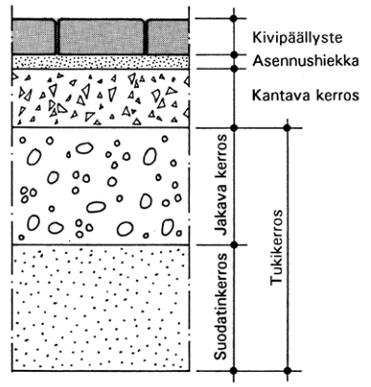
Betonikiveyksen alapuolisten kerrosten mitoitus määräytyy pohjamaan ja tulevan kuormituksen perusteella. Kantavuus mitataan kantavan kerroksen päältä ja sille asetetaan tavoitearvo. Betonikivet asennetaan tiivistämättömän asennushiekan (80 mm) päälle joko käsin tai koneellisesti. Saumaushiekka levitetään saumoihin (2–4 mm) ja pinta tiivistetään täryttämällä.

Maanalaiset tekniset verkostot otetaan huomioon siten, että ne voidaan huoltaa ja pinnat paikata ennalleen.

Koneladonta.



Kiveysrakenne raskaaseen kuormitukseen.



Pihakiveyksen perustaminen

Katuympäristöä näkövammaisille Hollannissa.

Enrico Miralles: kadunkaluste Barcelonassa.

Skeittipuisto Micropolis, Helsinki 2006.

9. Ikääntyminen, vaurioituminen ja korjaus

Betonipinnan vauriot ja ikääntyminen

Vauriot ja muodonmuutokset

Julkisivuun kohdistuvat rasitukset voivat aiheuttaa betonin kutistumista, josta saattaa seurata pintarakenteen pituudenmuutoksia tai käyristymistä.

Halkeamia voi syntyä valmistuksen ja asennuksen aikaisista nostoista, siirroista ja kolhuista. Käytön aikana halkeamia voi tulla törmäyksistä, lämpö- ja kosteusliikkeista, ylikuormituksesta jne sekä betoniterästen korroosiosta ja betonin rapautumisesta.

Raudoitteiden korroosio

Raudoitus ruostuu, jos betonipeite on liian ohut tai se irtoaa esim. iskun tai halkeilun seurauksena.

Karbonatisoituminen tarkoittaa sitä, että betoni menettää alkalisuuttaan ilman hiilidioksidin vaikutuksesta. Kun karbonatisoituminen saavuttaa raudoituksen, se alkaa ruostua ja laajeta, jolloin betoni lohkeaa.

Kloridikorroosio ruostuttaa rautaa ja voi alkaa tiesuolan tai meriveden vaikutuksesta.

Muita betonin ikääntymisilmiöitä

Uuttoilmiössä vesi liuottaa betonin sisältämää kalsiumhydroksidia, joka näkyy betonin pinnalle kerääntyvinä kalkkisaostumina.

Ioninvaihtoreaktiossa kalsiumhydroksidi reagoi ilman epäpuhtauksien kanssa (neutraalisuolat, hapot, hiilidioksiidi).

Alkalireaktio tarkoittaa sitä, että piipitoinen kiviaines (lasi) reagoi sementin kanssa ja betoni paisuu.

Pakkasvauriot on käsitelty luvussa 2, kohdassa Betonin ominaisuudet.

Ettringiittireaktio on nykyään harvinainen vaurio. Se on liian korkeassa kovettumislämpötilassa syntyvä betonin kiderakenne, joka vuosien myötä kasvaa ja lopulta lohkaisee betonin pinnasta palan irti.

Asuintalon aita Helsingissä vuodelta 1961

Ikääntynyt betonipinta. Le Corbusier: La Tourette

Sään aiheuttamat vauriot

Sileävalupinnassa näkyy vain pastapinta (sementtikivipinta) ja hiukan pienempiä kiviaineshiukkasia. Huokoisen näkyvän pastakerroksen paksuus on vain noin 0,05 mm, joten se ei ole mekaanisesti eikä kemiallisesti kestävä.

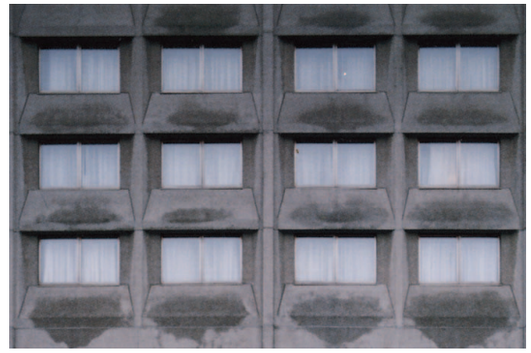
Pintaa pitkin valuva hapan sadevesi liuottaa ja huuhtoo pastapinnan kokonaan pois noin 10–20 vuodessa, paljastaen yhä enemmän kiviainesta. Alkuperäinen vaikutelma säilyy paremmin, jos kiviaineksen ja pastan väri ovat lähellä toisiaan.

Betoniin imeytyvä sadevesi saa sen näyttämään tummemmalta. Paikalliset valumavedet hakevat uomansa ja liuottavat pintaan puhtaampia raitoja. Suojaisat pinnat jäävät likaisiksi. Kaikki nämä ominaisuudet on otettava huomioon suunnittelussa. Räystäät ja pellitykset kuuluvat Suomen oloissa rakenteelliseen suojaukseen.

Valkoinen homeen näköinen härme johtuu pastan reaktiotuotteista, jotka kulkeutuvat pintaa kohden. Ensimmäisen vuoden jälkeen reaktiot hidastuvat, mutta eivät lopu koskaan kokonaan. Härmettä voidaan yrittää poistaa laimeilla happoliuoksilla. Elementit tulisi puhdistaa jo tehtaalla. Puhdistuksen onnistuminen työmaalla on epävarmaa ja tulos on yleensä kirjava.

Uusi betonipinta on emäksinen. Sammalet, jäkälät ja levät alkavat kasvaa, kun pinnan pH-arvo on alentunut niille otolliseksi. Kasvusto voi edesauttaa pakkasrapautumia tai syövyttää pintaa. Jos kasvustosta on rakenteellista tai esteettistä haittaa, se voidaan harjata pois sekä käsitellä pinta emäksisellä aineella ja impregnointi-aineella. Muuten kaunis kasvusto kuuluu patinaan joka kertoo rakenteen iästä.

Patinalla (vrt. eri asia kuin patinointi pintakäsittelynä) ymmärretään yleensä ohutta pintakerrosta, pinnan- tai värinmuunnosta, joka ajan mittaan kehittyy itse materiaalista esim. hapettumalla tai kulumalla, aiheuttamatta vaurioita. Patinointi tarkoittaa patinoitumisen nopeuttamista kemiallisesti. Lika taas yleensä on pintaan satunnaisesti tarttunutta muuta, rumaksi koettua materiaalia.



Betonin kastuminen tummentaa pintaa.

Rakennusten kosteusongelmat ja kosteuden hallinta

Betonirakenteen kosteudenkestävyys sinänsä on yleensä erinomainen. Betonirakenteen liiallinen kosteuspitoisuus voi näkyä esimerkiksi tummentumina, päällysmateriaalin kupruilemisena tai maalin hilseilynä, tai rakennuksessa voi tuntua ikään kuin kellarin haju. Otollinen kosteus ja lämpötila voivat herättää itiöt ja elättää homekasvustoja. Kosteus voi aiheuttaa kemiallisia reaktioita, jolloin jotkut betonia peittävät rakennusmateriaalit kuten liimat ja laastit alkavat hajota ja päästää huoneilmaan haitallisia aineita.

Betonista ei haihdu huoneilmaan haitallisia aineita. Rakennusmateriaaleista tutkitaan nykyisin kokonaisemissio, ammoniakki ja formaldehydi. Betonien emissioarvot eli huoneilmaan haihtuvien aineksien määrät jäävät yleensä noin kymmenesosaan päästöjen 1-luokan raja-arvoista. Betonin lisäaineilla ei ole myöskään havaittu merkittävää vaikutusta päästöihin.

Kosteusvaurioiden korjaamisen tärkein tavoite on ongelman aiheuttajan eli kosteuslähteen poistaminen.

Betonirakenteiden korkean kosteuspitoisuuden voi aiheuttaa:
- betoniin rakennusvaiheessa imeytynyt vesi (sadevesi, kastelu)
- rakenteen puutteellinen kuivatus tai liian lyhyt kuivatusaika
- rakennuksen käytöstä johtuva ylimääräinen kosteus (vesivahingot)
- betoniin maaperästä imeytynyt kosteus

Betoni sisältää aina vettä. Osa vedestä sitoutuu kemiallisesti sementin hydratoituessa, osa fysikaalisesti betonin huokosrakenteeseen. Loput alkuperäisestä vedestä on rakennuskosteutta, jonka pitää päästä haihtumaan betonista. Tämä vesimäärä voi olla jopa kymmeniä litroja yhdessä kuutiometrissä betonia. Pinnoitusmateriaalista riippuu, kuinka kosteana betonin saa pinnoittaa.

Notkistaminen lisäainein vähentää veden tarvetta. Tiivis betoni kuivuu hitaammin, mutta se myös kastuu hitaammin. Paksut rakenteet kuivuvat kauan. Kuivumista voi nopeuttaa lämmittämällä tai käyttämällä esim. imubetonointia tai nopeasti kuivuvaa betonia, jossa on kuivumista nopeuttavia lisäaineita ja vain vähän vettä.

Betoni kuivuu nopeimmin uutena. Sementin hydratoituessa betonin huokosrakenne muuttuu. Kapillaarihuokosten tilavuus pienenee hydrataation edetessä ja betonista tulee tiiviimpää, jolloin veden siirtyminen hidastuu. Tämä on syynä siihen, että vanha betoni kuivuu huomattavasti hitaammin esim. vesivahingon jälkeen. Betonin läpäisevyyttä voi kasvattaa lisäämällä kiviaineksen osuutta tai huokoistamalla.

Betonin kuivumista voi nopeuttaa:
- valitsemalla mahdollisimman suuri raekoko ja jäykkä massa
- valitsemalla nopeasti kuivuva betonilaatu
- nostamalla betonin lämpötilaa
- estämällä betonin kastuminen
- hiomalla betonin pinta auki
- välttämällä paksuja yhteen suuntaan kuivuvia rakenteita
- luomalla hyvät kuivumisolot

Kosteudenhallintasuunnitelma tulee tehdä jo rakennushankkeen alussa, varsinkin jos rakentamisaikataulu on tiukka.

Työmaalla rakennustarvikkeet suojataan liialta kosteudelta. Betonin jälkihoitoon käytetään mieluummin muovikalvoa kuin kastelua. Rakenteita kuivatetaan riittävän kauan ennen niiden päällystämistä. Kuivumista seurataan kosteusmittauksin.

Rakenteet pyritään myös suunnittelemaan ja rakentamaan siten, että veden pääsy niihin estyy ja niissä oleva kosteus johtuu tai tuulettuu pois.

Betonipinnan korjaaminen

Vaurioiden tutkiminen

Ennen korjausta selvitetään vaurion syy, käyttöikätavoite, huoltotarve ja korjaustavan vaikutus koko rakenteen toimintaan, ulkonäköön ja arkkitehtuuriin.

Kuntoarvio on silmämääräinen vauriokartoitus. Kuntotutkimuksessa rakenteesta tehdään mittauksia ja irrotetaan näytteitä, jotka tutkitaan laboratoriossa.

Betonirakenteesta voidaan tutkia esim. karbonatisoitumissyvyys, raudoitteiden peitepaksuudet, raudoitteiden potentiaali ja betonin kloridipitoisuus. Rapautumisen tutkimuskeinoja ovat pinnan vasarointi sekä ohuthie- ja pintahietutkimus. Myös betonin vetolujuus, pintakäsittely ja kosteuspitoisuus voidaan mitata tai määrittää.

Korjaustekniikat

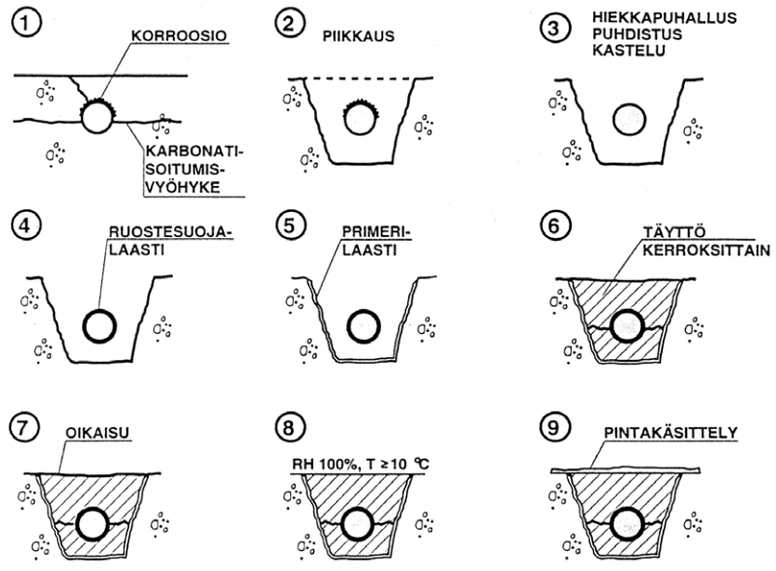
Betonipinnat esikäsitellään niin että ne täyttävät valitun korjaustavan vaatimukset alustana. Rapautunut tai muuten vaurioitunut betoni poistetaan. Vaurioituneen betonin poistamiseen käytetään piikkaamista, hiomista, jyrsintää ja leikkausta. Pintojen puhdistustapoja ovat erilaiset puhallukset ja pesut veden, hiekan tms kanssa. Sementtipohjaiset korjaukset tehdään yleensä kostutetulle pinnalle.

Betonin korjauksessa käytetään korjausmassoja sekä paikkausbetoneja ja -laasteja ja pinnoitteita. Korjaustekniikoita ovat mm betonointi, ruiskubetonointi ja injektointi. Paikkausmassan koostumus, väri ja pintakäsittely valitaan ympäröivää pintaa vastaavaksi. Sementtipohjaiset korjaukset tulee jälkihoitaa.

Korroosiovaurioiden laastipaikkauksessa ruostunut raudoitus paljastetaan, puhdistetaan ja ruostesuojataan. Betonin paikkaus vaatii useita työvaiheita ja laastikerroksia. Pystyrakenteiden paikkaukseen tarvitaan usein painemuotti.

Valukorjauksissa vaurioitunut betoni poistetaan ja vanha käyttökelpoinen raudoitus paljastetaan. Uusia tartuntoja lisätään tarpeen mukaan. Muotti täytetään ja tärytetään, kiinnittäen huomiota tartuntavyöhykkeen tiiviyteen ja paikkauksen mahdolliseen kuivumiskutistumaan.

Ruiskubetonointia käytetään laaja-alaisten matalien vaurioiden korjaamiseen tai rakenteiden vahvistamiseen. Kuivamenetelmässä hiekka-sementtiseos sekoittuu veteen vasta ruiskutussuuttimessa. Seos tarttuu pintaan iskeytymällä. Märkämenetelmässä käytetään notkeaa betonimassaa, mikä edellyttää suurimittakaavaista koneellisesti ohjattavaa ruiskutuskalustoa.



Laastipaikkauskorjauksen työvaiheet

Injektointi on halkeamien korjauskeino. Pienet halkeamat täytetään imeyttämällä niihin injektointiepoksia. Suurten halkeamien päälle levitetään muotiksi nopeastikovettuvaa massaa tai injektointimansetti. Injektointiepoksi tai -uretaani pumpataan muotin taakse pienten reikien kautta niin että halkeama täyttyy kauttaaltaan. Elastinen injektointiuretaani soveltuu liikuntasaumojen korjaukseen. Uretaanit paisuvat veden vaikutuksesta.

Kaatokorjaus tarkoittaa rakenteen yläpinnan uudelleenmuotoilua massan tai pintavalun avulla siten, että pinnalla virtaava vesi saadaan ohjautumaan haluttuihin suuntiin.

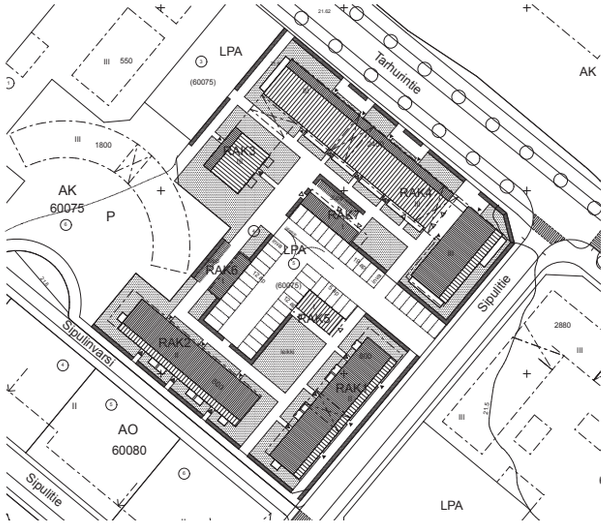
Rakenteen vahvistaminen tarkoittaa sen kantokyvyn lisäämistä. Vahvistettavan kohdan päälle lisätään raudoitteita, ja betonointi tehdään joko valamalla muottiin tai ruiskuttamalla. Manttelointi tarkoittaa pilarien tai seinien vahvistamista tällä tavoin yltympäriinsä. Toisinaan vahvistuksena voidaan käyttää pintaan liimattua teräslevyä tai hiilikuituosia, jolloin rakenteen paksuus ei muutu.

Katodinen suojaus, betonin uudelleenalkaloiminen ja sähkökemiallinen kloridienpoisto ovat erikoismenetelmiä, joissa käytetään heikkoa sähkövirtaa. Inhibiitit ovat metallien sähkökemiallista korroosiota hidastavia kemikaaleja.

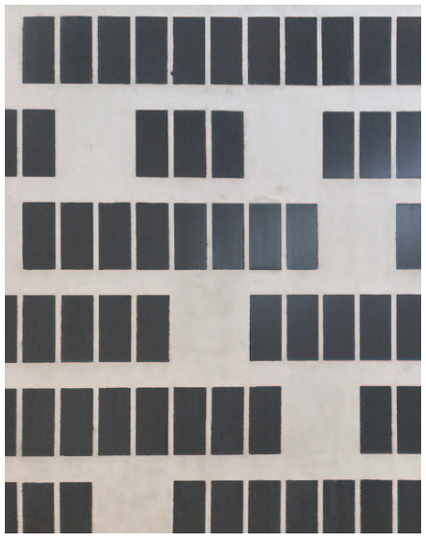
10. Esimerkki betonikerrostalosta

Asunto Oy Vantaan Sipulitie

Hiekkaharju, Vantaa. ARK-house arkkitehdit Oy / Pentti Kareoja ja Minna Soukka, 2009–2010.

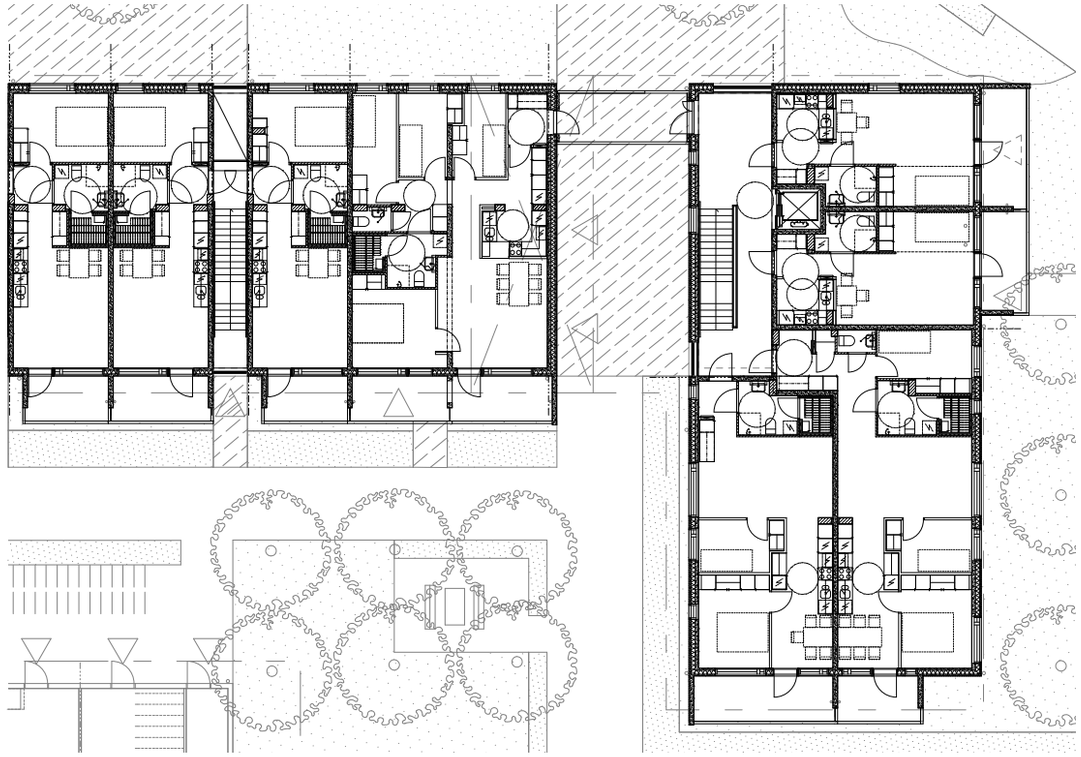


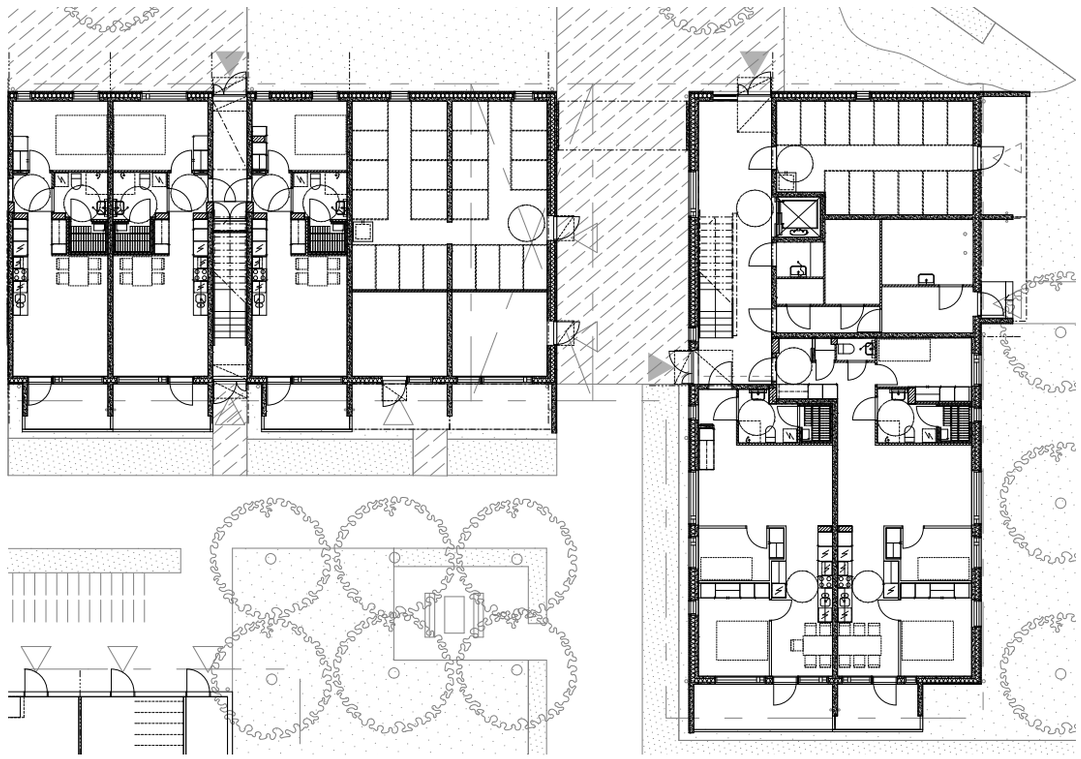
Asemapiirros

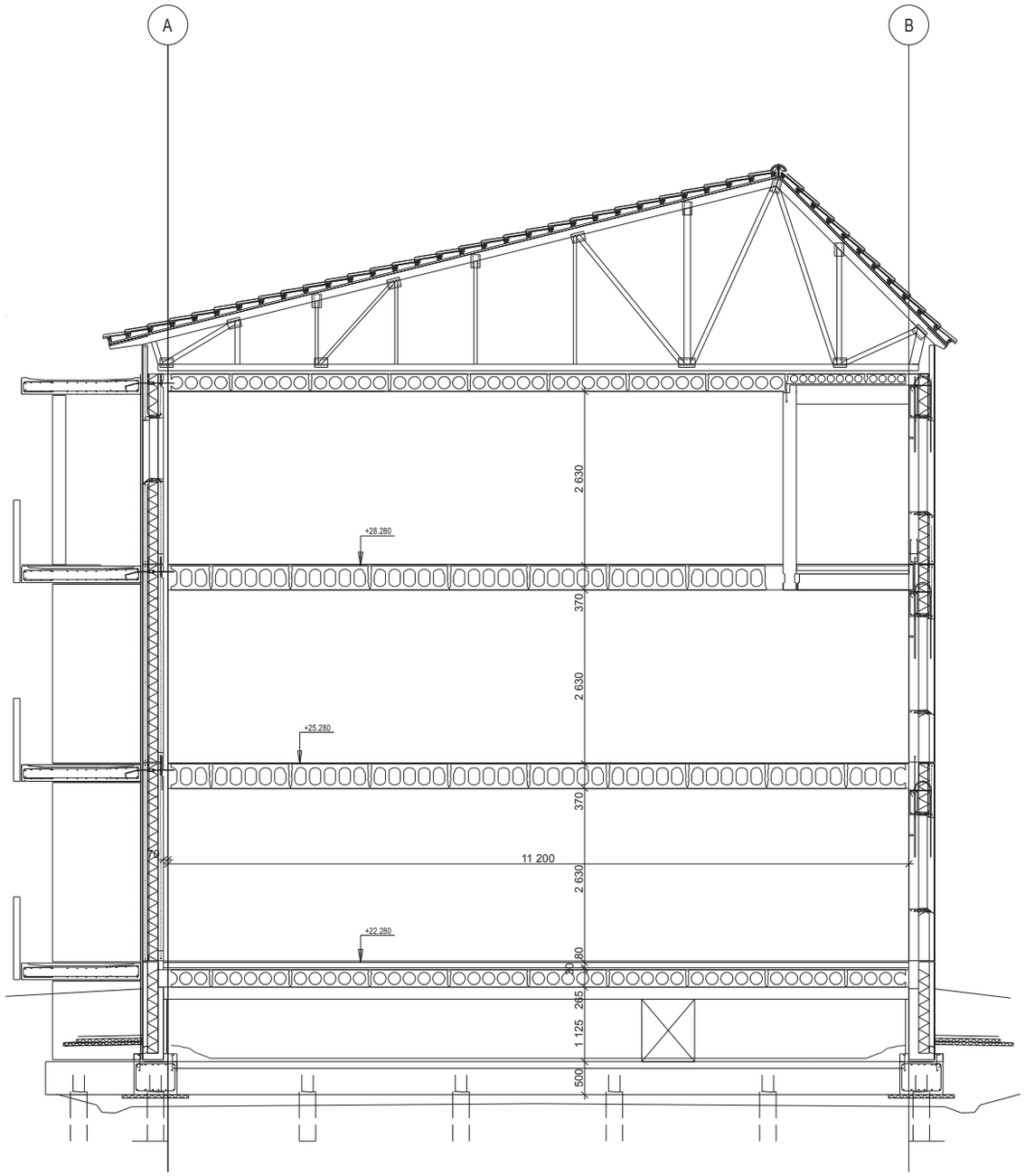

Julkisivussa on käytetty graafista betonia

Näkymä lännestä

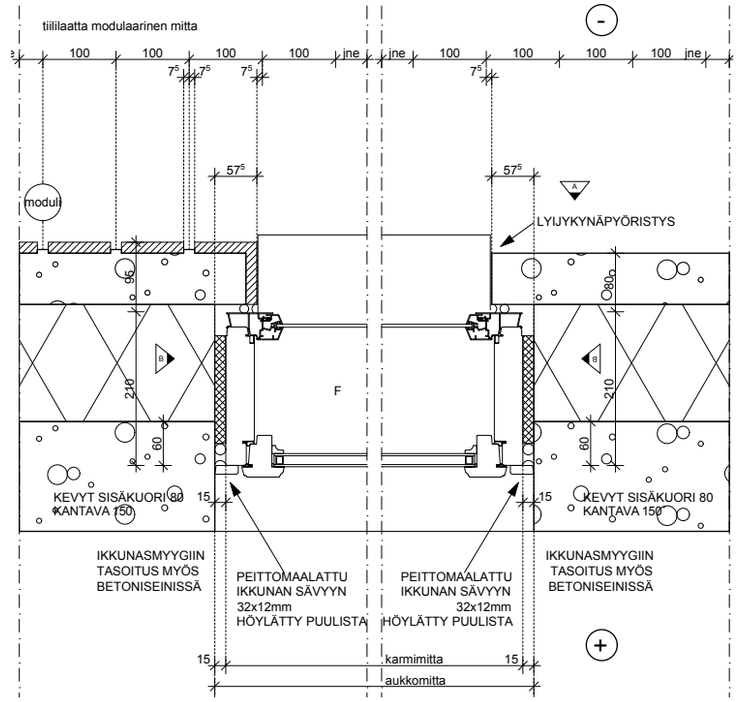
Julkisivuote 1/300


Pohjapiirrosote 1/300, 2. kerros

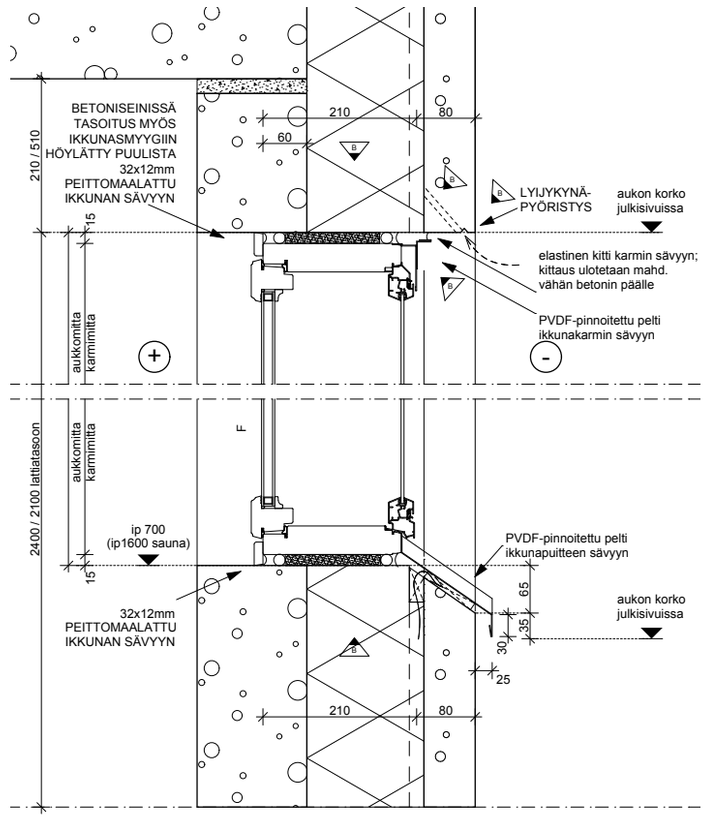

Pohjapiirrosote 1/300, 1. kerros



Leikkaus 1/100



Ikkunan liittyminen julkisivuun, vaakaleikkaus 1/10



Ikkunan liittyminen julkisivuun, pystyleikkaus 1/10

Lähteitä ja kirjallisuutta

Perusteoksia

Betonitekniikan oppikirja 2004, Suomen betoniyhdistys ry, 2005

Betonirakenteiden pinnat, luokitusohjeet BY 40. Suomen Betonitieto Oy 2003.

Muita teoksia

Concrete Construction manual. Birkhäuser, München, Ed.Detail, 2002.

Kronlöf, Anna (toim.): Ajatuksia betonista. Wanha Satama 3.1.–8.1.1997. Espoo: VTT Rakennustekniikka, 1996.

Hertzell, Tage: Betongens yta. AB Svensk Byggforskningsrådet, 1996.

Hertzell, Tage. Helgjutet. Svensk Byggtjänst, 2003.

Kivitalo. Kestävä kivitalo paikallarakentaen. Rakennustieto Oy 1998

Laitinen, Eero (toim.): Teollinen betonirakentaminen. Helsinki: TTKK ja Rakennustieto Oy, 1996.

Lumme, Pentti & Merikallio, Tarja: Betonin kosteuden hallinta. Kestävä kivitalo-projekti. Suomen Betonitieto Oy, 1997.

Uudet betonijulkisivut. Toim. Maritta Koivisto, Jouni Punkki, Arto Suikka, Sirkka Saarinen. Suomen Betonitieto Oy, 2001.

Betonijulkisivut 2007. Toim. Betonikeskus ry. Suomen Betonitieto Oy, 2007.

Betonin historiaa

Adam, Jean-Pierre: Roman Building, Materials & Techniques. B.T. Batsford Ltd, 1994.

Betoni Suomessa 1869–1960. BY Jyväskylä, 1991.

Tehdään betonista: Betoni suomalaisessa arkkitehtuurissa. Suomen betoniteollisuuden keskusjärjestö, 1989.

Tehdään elementeistä: suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. Betonitieto Oy / SBK-säätiö, 2009.

Cornell, Elias: Byggnadstekniken: metoder och idéer genom tiderna. Stockholm, Byggförlaget, 1979.

Kaila, Panu: Talotohtori. Porvoo, WSOY, 1997.

Mäkiö, Erkki ym: Kerrostalot 1960–1975. Rakennustieto Oy, 1994.

Ward-Perkins, John B. Milan: Roman Architecture. Electa 1979.

Suullisia tietoja: Aino Niskanen, professori, TKK

Muuta aineistoa

RT 82-10821 Betonielementtirakentaminen

RT 82-10814 Paikallavaletut betonirunkorakenteet

Lundsten, Bengt. Luentomoniste, TKK rakennusoppi

Betoni-lehdet

www.betoni.com

Kuvalähteet

Kansi Tadao Ando -pintaa / Rakennusoppi

5 Pantheonin sisätila / Arkkitehtuurin historia

6 Pantheon / Betoni 3/1995, 18
Pantheonin kupolimuotti / Betoni 3/1995, 17

7 Roomalainen valumuuri / Betoni 3/1995, 17

8 Eddystonen majakka / Rakennusoppi
Hennebique-järjestelmä / Nykänen 1913, 38
Le Corbusier: "Dom-I-no". / Rakennusoppi

9 Freyssinet: Ilmalaivan suojus / Rakennusoppi
Perret: Notre Dame / Arkkitehtuurin historia

10 Saarinen: Helsingin rautatieasema / Arkkitehtuurin historia
Välipohjatyyppejä 1930-luvulla / Junttila 1938, 72

11 Silvennoinen: Pihlajamäki / Arkkitehtuurin historia
Revell: Teollisuuskeskus / Rakennusoppi

12 BES-tutkimus, kantavat seinät -malli / BES-tutkimus 1970

13 Pesubetonin pintaa / Betonitieto

14 Betonin poikkileikkaus / Betonitieto
Sementtiuuni / Rakennusoppi
Sementin valmistuskaavio / Finnsementti Oy

15 Kalkkikiveä ja valkosementtiä / Finnsementti Oy

16 Hienopestyjä pintoja / Betonitieto
Lasimurskepinta / Rakennusoppi
Tiilimurskepinta / Betonitieto

17 Lujuuden riippuvuus vesisementtisuhteesta / Rakennusoppi

18 Vesisementtisuhteen merkitys / BY 201/1999, 56

20 Halkeamat tehokeinona / Rakennusoppi
Talvibetonointia / Betonitieto

21 Juureksia ja sienipilareita / Betonitieto

Senaatti-kiinteistöjen toimitalo, Helsinki. Arkkitehtuuritoimisto Heikkinen-Komonen Oy / kuva Jussi Tiainen

23 Valu seinämuottiin / Betonitieto

24 Kasettimuotti / BY 201/1999, 176
Seinän sahatavaramuotti / BY 201/1999, 174

25 Vakiopalkit ja muottilevyt / BY 201/1999, 179
Erilaisia pilarimuotteja / BY 201/1999, 181
Kaareva järjestelmämuotti / BY 201/1999, 177

26 Levypintainen pöytämuotti / BY 201/1999, 184
Vakiopalkit ja muottilevyt / BY 201/1999, 185
Paikalla tehty palkkimuotti / BY 201/1999, 186
Calatrava: Lyon-Satolas-asema / Betonitieto

27 Puun sahauspintoja / Rakennusoppi

28 Tavallisia muottipintoja / Betonitieto ja Rakennusoppi

29 Erikoisia muottipintoja / Betonitieto ja Rakennusoppi

30 Saumalista työsaumassa / BY 201/1999, 200
Valesaumat tehokeinona / Rakennusoppi
Pesty työsauma / BY 201/1999, 201

31 Lleidan yliopiston kirjasto / Betonitieto
Muottisiteen kartio / BY 40/2003, 28

32 Senaatti-kiinteistöjen porras. Arkkitehtuuritoimisto Heikkinen-Komonen / kuva Marko Huttunen
Puhdasvalupinta / Betonitieto

33 Kuppipinta / Rakennusoppi
Talo Hienovirta / Betonitieto

34 Palkin reijitys / BY 203 / 1995, 96
Teräsbetonipalkin periaate / Betonin käyttö 1967, 29
Harjateräs / Betonitieto
Paikallavalettavan välipohjan raudoitusta. / Arkkitehtitoimisto Sarc Oy

35 Palkin verkkohakaelementti / BY 203 / 1985, 123
Ristiin jälkijännitettävä laatta / Betonitieto
Ankkurivaijerien sijainti / BY 203 / 1985, 267

36 Liittolevyrakenne / Rakennusoppi
Kuorilaatta / BY 201/ 1999, 465
Liittopilareita / Teräsrakentaminen, 104
Kuoripilarin liitos välipohjaan / Rakennusoppi

37 Kuitubetonilaatta / Betonitieto
Kuitubetonituoli / Aalborg White

38 Valmisbetoniasema / Betonitieto
Valu ja tärytys / Betonitieto

39 Pudotus ja valusuppilo / BY 201/1999, 277

40 Kierreporras / Betonitieto, kuvat Mikko Summanen ja Marko Huttunen

41 Muottipintaa vasten valetun pinnan laatu / BY 40/2003, 35

42 Ruiskubetonointi / BY 201 / 1999, 486
Vedenalainen betonointi / BY 201 / 1999, 508
Imubetonointi / BY 201 / 1999, 414

43 Erikoisliukumuotti / BY 201 / 1999, 474
Liukuvalun suoritus / BY 201 / 1999, 477
Pietilä: Kalevan kirkko / Betonitieto

44 Paikallavaletut pinnat, laatuluokitus / BY 40/2003, 31

45 Elementtirunko / Betonitieto

46 Tavanomainen BES-asuntopohja / RT 82-10821, kuva 8
Kantavat seinät -laattarunko / RT 82-10821, kuva 6

47 Julkisivuelementtien valmistusta / Betonitieto
Ontelolaatan valukone / Betonitieto

48 Ruutuelementin raudoitus / BY 203 / 1985, 255

49 Elementtien asennusta / Betonitieto

51 Tuoreena käsiteltyjä pintoja / Betonitieto ja Rakennusoppi

52 Graafisen betonipinnan valmistus / kuva Samuli Naamanka

53 Graafinen betoni: www.graphicconcrete.com

54 Mustakiven korttelitalo. ARK-House Arkkitehdit Oy / Betonitieto

55 Kovettuneena käsiteltyjä pintoja / Betonitieto ja Rakennusoppi

56 Saman betonimassan eri pintakäsittelyt / Betonitieto

57 Kuparibetoni / Rakennusoppi
Väribetonin sävyjä / Betonitieto

58 Muottia vasten valetut elementtipinnat, laatuluokitus / BY 40/2003, 34

59 Toimistotalo Ratamestarinkatu 7, Helsinki. / Arkkitehtitoimisto Sarc Oy

60 Rakennuksen sivusiirtymä / Engel 1967, 258

61 Jäykistävä porrashuone / Arkkitehtitoimisto Sarc Oy
Rakennusrungon jäykistys / Valmisosarakentaminen G, 19
Pilari-laattarungon jäykistys / Rakennusoppi
Asuinrakennus, jäykistävät seinät / Rakennusoppi

62 Moduliverkko, vyöhykeperiaate / Rakennusoppi
Moduliverkko, keskeisperiaate / Rakennusoppi
Pystyrakenteiden sijoitus modulisesti / Rakennusoppi

63 Perusrasitukset / BY 203 / 1985, 35

64 I-palkki ja HI-palkki / BY 201 / 1995, 448
Deltapalkki / Valmisosarakentaminen I, 90
HQ-palkki / Teräsrakentaminen, 103
Matala jännitetty leukapalkki / Betonitieto

65 Palkkia voi reijittää / Runko-BES , kuva 6.6 (osa)
Pilarissa voi olla ulokkeita / Rakennusoppi
Pilarin reunaviiste / Rakennusoppi
Pilareita maassa / Betonitieto
Pilareita lastataan / Betonitieto

66 Laattojen periaatteet / Helamaa
TT-laatta / Valmisosarakentaminen H, 136
TT-laattaa voi reijittää / Rakennusoppi
HTT-laatta / Valmisosarakentaminen H, 136
HTT-laatta tehtaassa / Betonitieto

67 Ontelolaattojen käyttöalue / RT 82-10821, kuvat 42 (osa + täydennys) ja 43
Ontelolaattoja voi reijittää / Rakennusoppi
Arinalaatta / Rakennusoppi
Liittolaattoja / Valmisosarakentaminen I, 44

68 Parveketyyppejä / Valmisosarakentaminen J, 8
Parvekkeen liitos välipohjaan / Valmisosarakentaminen J, 16
Parvekelaattoja maassa / Betonitieto

69 Kaari- ja kuorirakenteita / Concrete Construction Manual, 152-153 (osa)
Le Corbusier: Philips-paviljonki / Rakennusoppi

70 Pilari-palkki-laattarunko / Runko-BES, kuva 4.158 (osa)
Teollisuushallin runko / Betonitieto
Toimistorakennuksen runko / Betonitieto

71 Paikallavalettuja pilari-laattarunkoja / Paikallavalurakentaminen 3, 20
Pilarilaattarunkoja / Paikallavalurakentaminen 3, 61
Paikallavaletun laatan aukotus / Paikallavalurakentaminen 3, 47

72 Sokkelielementti / Betonitieto
Maapaineseinä / Betonitieto
Paalutusta / Betonitieto
Maanvarainen laatta / Rakennusoppi

73 Pilarin anturaelementti ja holkkielementti / BY 203 / 1985, 256
Peruspilari / Rakennusoppi
Ryömintätilainen perustus / Rakennusoppi
Kellarillinen perustus / Rakennusoppi

74 Rakennuksen kosteusrasituksia / Optiroc Oy

75 Lattiantekoa / Betonitieto

76 Betonilattioiden perustyypit / BY 201 / 1999, 400
Kelluva lattia / BY 48, 16

77 Sirotelattian periaate / Master Builders Oy
Lattiaa valetaan / Betonitieto
Liikuntasaumaa sahataan / Master Builders Oy

78 Lattiakuvat / Betonitieto

79 Kuparipinnoite / Betonitieto
KoneBuilding, Arkkitehtitoimisto Sarc Oy / kuva Jussi Tiainen

81 Säterinrinne, parvekkeet / kuva Jussi Tiainen

82 Morger & Degelo: Lichtenstein Art Gallery / kuva Antti-Matti Siikala

83 Säterinrinteen asuinkerrostalot, Espoo. Arkkitehtitoimisto Brunow & Maunula / kuva Jussi Tiainen

84 Kiinteistö Oy Biomedicum Helsinki. Gullichsen-Vormala Arkkitehdit Ky / Betonitieto
Kiinteistö Oy Paciuksenkatu 21, Helsinki. Arkkitehtitoimisto Siitonen / Betonitieto

85 Parma-rappaus / Betonitieto
Sandwich, kuorielementti ja yhdistelmäjulkisivu / Betonijulkisivut 2007, 14

86 Sauman visuaalinen vaikutelma / Betoni 5/2001, 18
Saumojen suunnitteluleveydet / BY 40/2003, 14
Standardivaakasauma / Betoni 4/1997, 30
Elementtisaumoja / RT 82-10527, kuva 4
Elementtirakennuksen nurkkadetaljeja / RT 82-10766, kuva 14 (osa)
Sauman tuuletusputki / RT 82-10766, kuva 13 (osa)

87 Betonikiveys / Betonitieto

88 Porvoon Aleksanterinkadun silta. Arkkitehtitoimisto Mikko Kaira Oy / kuva Jussi Tiainen

89 Elementtiporras / Lemminkäinen
Kaksi- ja yksivartinen umpiporras / Valmisosarakentaminen H, 154
Kattotiilien asennus / LaFarge Tekkin Oy
Betonitiilikaton leikkaus / LaFarge Tekkin Oy

90 Betonikiviä / Lemminkäinen
Vihernoppakiveys / Betonitieto
Betonikiveys / Betonitieto

92 Skeittipuisto / Betonitieto

93 Ruostuva rauta laajenee / Rakennusoppi

94 Asuintalon aita / BY 40/2003, 126
Le Corbusier: La Tourette / Rakennusoppi

95 Kastunut julkisivu / Betonitieto
Betonin kastuminen / BY 40/2003, 129

97 Laastipaikkauskorjaus / BY 201 / 1999, 329

99–103 Asunto Oy Vantaan Sipulitie / ARK-house arkkitehdit Oy

Kuvaviitteiden selityksiä

Arkkitehtuurin historian kuvakokoelmat, TKK
Aalborg White. Aalborg Portland A/S, esite 2002

Arkkitehtuurin historian kuvakokoelmat, TKK

BES, tutkimus avoimen elementtijärjestelmän kehittämiseksi (toim. Matti Seppänen ja Teuvo Koivu). Suomen Betoniteollisuuden keskusjärjestö r.y. 1970

Betoni- ja luonnonkivituotteet päällysterakenteena. Suomen kuntatekniikan yhdistys, julkaisu 14. Betonitieto 1997

Betoni-lehden artikkelit 1995–2010

Betonin käyttö. Sementtiyhdistyksen teknillisen osaston julkaisuja XXX. Helsinki 1967

Betonijulkisivut. Betonikeskus ry ja Betonitieto Oy, 2007

Betonitieto = Suomen betonitieto Oy

BY 201 Betonitekniikan oppikirja. Suomen betoniyhdistys 1999

BY 203 Betonirakenteiden perusteiden oppikirja. Suomen betoniyhdistys 1985

BY 40/1995 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet. Suomen betoniyhdistys 1995

BY 40/2003 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet. Suomen betoniyhdistys 2003

BY 48/2002 Betoninen kelluva lattia. Suomen betoniyhdistys 2002

Concrete Construction Manual. Birkhäuser, München, Ed.Detail, 2002.

Engel, Heinrich: Tragsysteme Structure Systems 1967

Helamaa, Erkki: Rakennusopin luentomoniste, TTKK

Junttila, Aulis: Betonityön opas. Sementtiyhdistyksen julkaisuja XX. Helsinki 1938

Nykänen, Vietti: Pieni rautabetoniopas 1913

Paikallavalurakentaminen. Osa 3, paikallavalurakenteiden suunnittelu. RTT Rakennustuoteteollisuus 1995

Rakennusopin kuvakokoelmat, TKK

RT 82-10527 Kiviaineisten elementtijulkisivujen saumat

RT 82-10766 Betoniset julkisivurakenteet

RT 82-10814 Paikallavaletut betonirunkorakenteet

RT 82-10821 Betonielementtirunkorakenteet

Runko-BES. Julkaisu 4 Runko-BES runkojärjestelmä. Julkaisu 5 Rakenneosat. Julkaisu 6 Rakenneosien rei'itykset, tartunnat ja jälkikiinnitykset. SBK 1983

Teollinen betonirakentaminen (toim. Eero Laitinen), Rakennustieto 1996

Teräsrakentaminen (toim. Risto Saarni). Rakennustieto 1996

Valmisosarakentaminen II. Osa G Elementtirakennuksen jäykistys. Osa H Perustus- ja runkorakenteet. Osa i Liittorakenteet. Osa J Betonielementtiparvekkeet. RTT Rakennustuoteteollisuus 1995

Betoni - Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle

Tämä oppikirja on tarkoitettu käytettäväksi Aalto-yliopiston, Tampereen teknillisen yliopiston ja Oulun yliopiston arkkitehtuurin laitoksilla. Kirja korvaa luentomonisteet, joiden tiedot on päivitetty yhdessä Suomen betonitieto ry:n kanssa.

Kirja sisältää harjoitustöitä tukevia perusasioita. Tavoitteena on saavuttaa perustiedot betonirakenteiden suunnitteluun.