



Betoni rakennussuunnittelussa
Oppimateriaali rakennusarkkitehdeille

Anniina Grönholm

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Talonstrakennustekniikka

Anniina Grönholm
Betoni rakennussuunnittelussa
Oppimateriaali rakennusarkkitehdeille

Opinnäytetyö 92 sivua, joista liitteitä 8 sivua
Huhtikuu 2015

Opinnäytetyöni *Betoni rakennussuunnittelussa* käsittelee betonia materiaalina ja betonirakentamista rakennusarkkitehdeille suunnatun betonitekniikan kurssin puitteissa. Työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoululle oppimateriaaliksi.

Rakennusarkkitehdin koulutus valmistaa toimimaan rakennussuunnittelijana tai rakennetun ympäristön asiantuntijana. Rakennusarkkitehti tarvitsee arkkitehdin luovuutta ja visuaalisuutta, mutta myös insinöörin teknistä tietoa ja taitoa. Näitä molempia on yhdistetty työssäni ja painotettu rakennusarkkitehdeille sopivaksi.

Työssäni käsitellään betonin materiaalitekniisiä tietoja ja ominaisuuksia. Työssä on myös käsitelty betonirakentamista elementtirakentamisena ja paikallavalurakentamisena. Yleisimmät betonin käyttökohteet ja teräsbetonirakenteet on myös esitelty. Arkkitehtuurin kannalta tärkeitä betonin muotoja, pintoja ja värejä käsitellään työn loppupuolella. Olen kirjoittanut työhön kappaleet myös betonirakentamisen historiasta maailmalla ja Suomessa. Työn lopussa on käsitelty ympäristöasioita betonteollisuudessa ja pohdittu betonin tulevaisuudennäkymiä.

Olen hyödyntänyt työtä tehdessäni kirjallisia lähteitä ja asiantuntijoiden haastattelua. Olen myös tutkinut mistä näkökulmasta betonia olisi hyvä lähestyä rakennusarkkitehdeille oppimateriaalia tehtäessä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bachelor of Engineering
Construction Engineering

Anniina Grönholm
Concrete in Building Design
Educational Resources for Building Architects

Bachelor's thesis 92 pages, appendices 8 pages
April 2015

My thesis work *Concrete in Building Design* includes information about concrete's material technique and concrete in building architecture. Thesis work is done for Tampere University of Applied Sciences as an educational resource.

First chapters of thesis work includes the engineer part, such as material technique, concrete's features, most common usages and reinforced concrete. The rest of the work covers the architect part. For architects concrete is about shapes and shades. In thesis work there is chapters about coloured concrete, special concrete and the plasticity of concrete. There is also a part that tells about concrete's history and future. Environmental issues are a hot topic these days, so a few chapters are all about environmental awareness in concrete industry.

I have used mostly literary sources when doing my thesis work. I have also used some interviews from specialists. Thesis work is emphasized between architects and engineers needed knowledge. I have investigated what is important to know about concrete when working as an architect, and how much of that knowledge building architect needs. And what a building architect needs to know about concrete in engineer's point of view.

Key words: concrete, education resource, concrete building, building architect

SISÄLLYS

1	Johdanto.....	7
2	Betoni materiaalina.....	8
2.1	Ainesosat.....	9
2.1.1	Runkoaine	9
2.1.2	Sementti	11
2.1.3	Vesi	13
2.1.4	Seos- ja Lisäaineet.....	13
2.2	Suhteutus.....	14
3	Betonin ominaisuudet.....	15
3.1	Betonimassa	15
3.2	Betonin lujuus	15
3.3	Muodonmuutosominaisuudet.....	16
3.4	Pakkasenkestävyys.....	16
3.5	Biologiset rasitukset.....	16
3.6	Betonin säilyvyys ja käyttöikä.....	17
3.6.1	Taulukko rasitusluokista	19
3.7	Betonin kosteustekniikka	21
3.7.1	Betonirakenteen säilyvyys	22
3.7.2	Sisätilan betonipinnan vaikutus ilmanlaatuun.....	23
3.8	Betonin palotekninen toiminta.....	23
4	Teräsbetoni	26
4.1	Toimintaperiaate	26
4.2	Yleisimmät rakenteet	26
4.2.1	Pilari	26
4.2.2	Palkki	27
4.2.3	Laatta.....	27
4.2.4	Anturat.....	28
4.3	Raudoitukset	29
4.3.1	Raudoitustuotteet	29
4.3.2	Raudoitusten korroosio	29
5	Betoni suunnitelmissa.....	31
6	Yleisimmät käyttökohteet.....	32
6.1	Paikallavalurakentaminen	32
6.1.1	Muotit.....	35
6.2	Elementtirakentaminen	36
6.2.1	Elementit ja muottijärjestelmät	37

6.3	Muut betonituotteet.....	39
7	Betonin käsittely työmaalla.....	40
7.1	Haasteet.....	40
7.1.1	Betonityöt talvella.....	41
7.2	Työturvallisuus.....	42
8	Aikaa kestävä betonirakenne.....	43
8.1	Laadunvalvonta.....	43
8.2	Vaurioiden korjaaminen ja ennaltaehkäisy.....	44
9	Betonipinnat ja pinnoitteet.....	48
9.1	Pinnat.....	48
9.1.1	Muottia vasten valetut pinnat.....	48
9.1.2	Tuoreena käsitellyt pinnat.....	50
9.1.3	Kovettuneena käsitellyt pinnat.....	50
9.2	Pinnoitteet.....	52
9.3	Graafinen betoni.....	53
10	Erikoismassat.....	55
10.1	Väribetoni.....	55
10.2	Kuitubetoni.....	56
10.3	Muut betonimassat.....	59
11	Betonirakennusten muotokieli.....	60
11.1	Betonibrutalismi.....	61
11.2	Vuoden betonirakenne.....	64
12	Betoni ja kestävä kehitys.....	67
12.1	Ympäristön huomioiminen betoniteollisuudessa.....	67
12.2	Luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen.....	68
12.3	Vihreä betoni.....	70
12.4	Kierrätys.....	70
13	Betonin historiaa.....	72
13.1	Betoni maailmalla.....	72
13.2	Betoni Suomessa.....	75
14	Betonin tulevaisuus?.....	78
14.1	Ekologinen kehitys.....	78
14.2	Älykäs betoni.....	78
14.3	Teollisuuden ylijäämä.....	78
15	Pohdinta.....	80
	Lähteet.....	81
	Liitteet.....	86
	Liite 1: Betonin ilmamittaus.....	86

Liite 2. Erilaisia muottirakenteita	87
Liite 3. Betonipinta.....	89
Liite 4. Laboratoriotyöt	93

1 Johdanto

Tehtävänantoni oli kirjoittaa oppimateriaali hyödynnettäväksi rakennusarkkitehtien betonitekniikan kurssilla. Rakennusarkkitehdin koulutuksella työllistytään rakennussuunnittelijaksi tai asiantuntijaksi rakennetun ympäristön suunnittelussa. Koulutuksessa ei perehdytä rakenteisiin tai materiaaleihin yhtä perinpohjaisesti kuin insinöörikoulutuksessa. Rakennusarkkitehdin työ ei myöskään vastaa arkkitehdin työtä. Rakennusarkkitehti kuitenkin tarvitsee ymmärrystä molempien em. ammattikuntien maailmasta.

Työhöni olen pyrkinyt tuomaan huomioita sekä rakennuksien suunnittelusta, että betonista materiaalina. Ensimmäiset kappaleet perehdyttävät lukijan betoniin materiaalina ja sen käyttöön. Työn loppupuolella tutustutaan enemmän betoniin arkkitehtuurin välineenä. Nykyrakentamisessa luonnon huomioiminen on korostunut, joten betoniteollisuuden ympäristövaikutuksia on tuotu myös esille.

Opinnäytetyöni *Betoni rakennussuunnittelussa* käy läpi betonitekniikan perusasioita. Työssä käsitellään lyhyesti yleisimmät teräsbetonirakenteet ja erilaisia käyttökohteita betonille elementti- ja paikallavalurakentamisessa. Myös betonin ominaisuuksia on tuotu esille. Työn loppupuoli keskittyy betoniin materiaalina värien ja muotoilun kautta. Betonirakentamisen historia alkaa jo ennen ajanlaskun alkua, joten betonin historialle on oma kappale. Lopuksi olen tuonut esille mahdollisia tulevaisuuden näkymiä.

Rakennusarkkitehdin koulutuksessa painotukset betonin ominaisuuksia tarkasteltaessa, ovat erilaiset kuin rakennusinsinöörin koulutuksessa. Rakennusarkkitehdeille rakennuksen muoto ja väri korostuvat enemmän kuin insinööreille. Betonin muotoiltavuus ja värisävyt vaikuttavat ratkaisevasti rakennuksen ilmeeseen. Työssäni olen perehtynyt betonirakentamiseen myös eri näkökulmasta, kuin koulutukseni tarjoama insinöörinäkökulma. Olen tutkinut sitä, mitä arkkitehtonisesta näkökulmasta lähestyttäessä on tärkeää huomioida betonirakentamisessa.

Tutkimusmenetelminä tämän opinnäytetyön kokoamisessa olen hyödyntänyt pitkälti suomen ja englanninkielisiä kirjallisia lähteitä. Olen myös haastatellut asiantuntijoita. Olen tutustunut arkkitehtuuri-kirjallisuuteen, selvittääkseni mitä asioita arkkitehdit pitävät tärkeinä materiaaleista kerrottaessa.

2 Betoni materiaalina

Betoni on keinotekoinen kivi, joka saadaan aikaan liimaamalla toisiinsa erikokoisia kivi- ja hiekkoja. Liima muodostuu sementistä eli sidosaineesta ja vedestä. Betoni syntyy sementin, veden, runkoaineen ja mahdollisten seos- ja lisäaineiden muodostaman seoksen kovettumisreaktion seurauksena. Betonin osa-aineiden valinnalla ja niiden seossuhteiden määrittämisellä on tärkeä vaikutus betonin ominaisuuksiin ja soveltuvuuteen eri käyttökohteissa.



Kuva 1 Tuoretta betonimassaa

Sementti	270kg	Rauditus	80kg
Kiviaines	1850kg	Ilma	20l
Vesi	190kg		

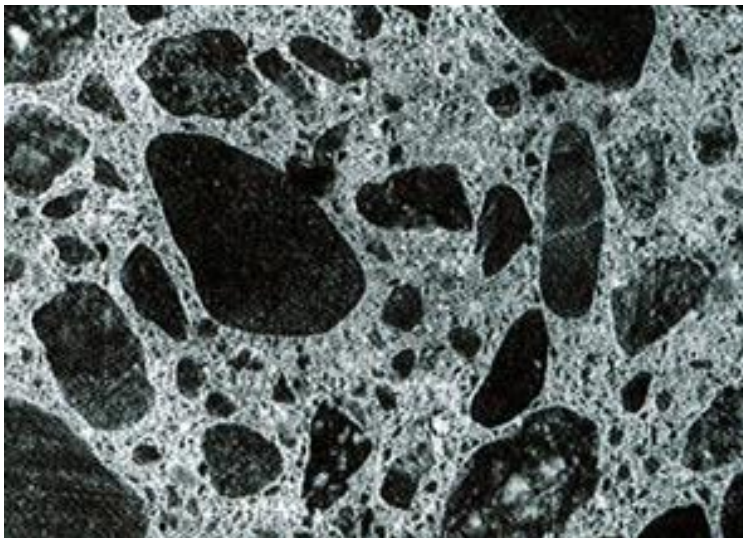
Kuva 2 Taulukko 1 Tavanomaisen raudoitettun betonikuution (1m³) sisältö suunnilleen: (Lähde: BY 201)

2.1 Ainesosat

2.1.1 Runkoaine

Runkoaineena voidaan periaatteessa käyttää mitä tahansa riittävän lujaa ja tiivistä, rakeista materiaalia, joka ei osallistu sementin reaktioihin eikä huononna betonin säilyvyyttä. Runkoaineen voi siis käyttää muitakin aineita, kuin kiviainesta, mutta pääsääntöisesti runkoaine syntyy yhdistelemällä eri kiviaineita, kuten filleriä, hiekkaa, soraa, sepeliä jne. Esimerkkejä muista runkoaineista ovat lasimurske tai tiilimurske. Lasi ja betoni tosin saattavat reagoida kosteassa (alkalireaktio), joten ulkotiloissa lasimurskeen soveltuvuus tulee erikseen selvittää. Tiilimursketta runkoaineena käytettäessä saadaan aikaan tiilen sävyistä pintaa. Betonin runkoaines tulee esiin betonin pinnan käsittelyllä.

Yleisin käytetty runkoaines on kiviainesta. Kiviaineksen tilavuusosuus betonin osiainesta on 65...80%. Kiviaines voi olla luonnonkiviainesta tai keinotekoisia kiviaineita. Luonnonkiviainesta voi käyttää luonnon muokkaamassa tilassa tai mekaanisesti murskattuna. Tavallisen kiviaineksen lisäksi luonnonkiviaines voi olla raskasta malmitoista kiviainesta tai esimerkiksi kevyttä vulkaanista kiviainesta. Suomessa käytetään useimmin mekaanisesti murskattua graniittipohjaista luonnonkiviainesta.



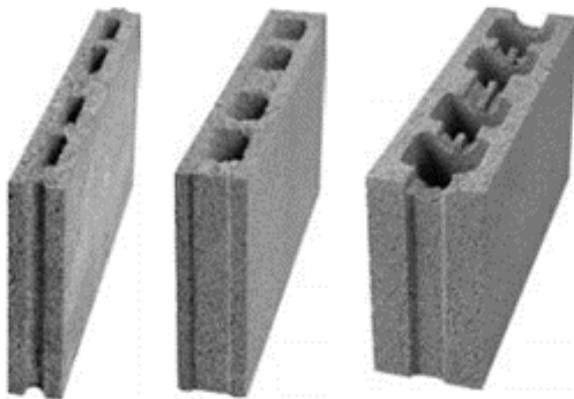
Kuva 3 Betonin poikkileikkaus lähde: Betoni, Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle

Esimerkkejä keinotekoisista kiviaineista ovat kevytsora ja kierrätysbetoni. Kevytsora on savesta polttamalla valmistettu kevyt ja huokoinen kiviaines jota käytetään kevytsorabetonien valmistukseen. Kevytsorabetoni eristää lämpöä tavallista betonia paremmin ja se

sopii esimerkiksi routaeristykseen, keveisiin täyttöihin tai kallistustöihin. Kevytsorabetonista luonnollisesti valmistetaan myös kevytsoraharkkoja.



Kuva 4 Lasimurskepinta lähde: Betoni, perustietoa arkkitehtiopiskelijalle



Kuva 5 Kevytsoraharkkoja lähde: Harkkokäsikirja, Betoniteollisuus Ry

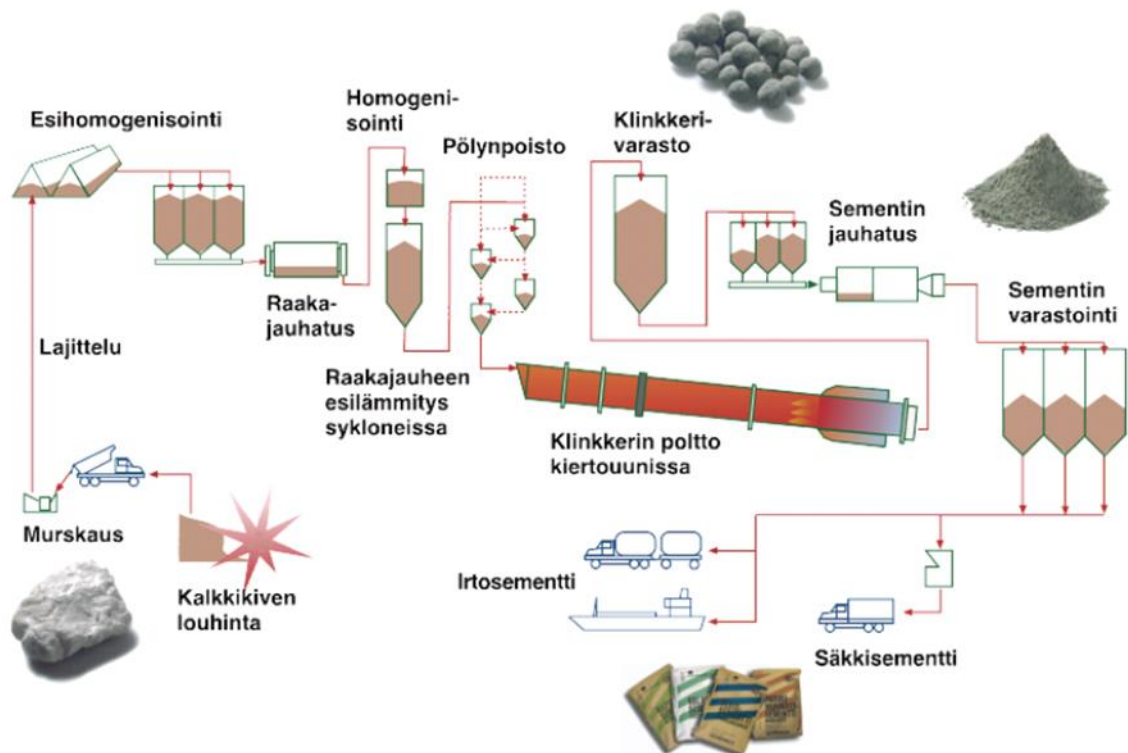
Betonin kiviaineksen on oltava käyttökohteeseensa soveltuvaa. Kiviaines ei saa olla rapautunutta tai sisältää aineita jotka huonontavat betonin ominaisuuksia. Runkoaineen merkittävimpiä ominaisuuksia on sen rakeisuus. Se tarkoittaa kiviainesten sisältämien erisuuruisten rakeiden jakaumaa. Raekokoja valitaan siten, että sementtiä tarvitsee käyttää mahdollisimman vähän. Kiviaineksen rakeisuus määritetään seulonnalla ja hienoainespitoisuus pesuseulonnalla. Myös kiviaineen kosteus vaikuttaa tehtävän betonin ominaisuuksiin.

Kiviaineksena käytettävän materiaalin on myös tärkeää olla mahdollisimman puhdasta. Aineksena käytettävä materiaali ei saa sisältää haitallisia määriä esimerkiksi orgaanisia aineita ns. humusaineita. Kiviaineksen seassa oleva sokeri hidastaa betonin kovettumis-

ta ja öljy runkoaineen seassa saattaa estää sementtiliiman muodostumisen. Kiviaines ei saa myöskään olla radioaktiivista (Suomessa haitallinen määrä radonia, mikä on harvinaista).

2.1.2 Sementti

Sementti on betonin ainesosa, joka mahdollistaa kemiallisen reaktion veden kanssa, mikä saa aikaan sementtiliiman kovettumisen sementtikiveksi. Sementtikiven tehtävä on sitoa runkoainesrakeet toisiinsa ja täyttää rakeiden väliin jäävä tyhjä tila. Sementin raaka-aineita ovat luonnon mineraalit kalkkikivi, kvartsi ja savi.



Kuva 6 Sementin valmistuskaavio lähde: *Betoni, perustietoa arkkitehtipiskelijälle*

Sementin valmistus alkaa kalkkikiven ja saven jauhamisella jauhoksi ja polttamalla rotaatiouunissa 1400oC (sintraantumispiste) lämpötilaan asti. Sintraantumispisteessä syntyy kemiallinen reaktio, jossa syntyy kalsiumyhdisteitä ja sementtiklinkkeriä. Reaktiossa poistuu vettä ja hiilidioksidia. Sula massa jäähdytetään 200oC asteeseen ja saatuun

klinkkeriin lisätään tarvittava määrä kipsiä ja seosaineita kuulamylyssä jauhamisen yhteydessä.

Eri sementtien valmistus erkanee jauhatusvaiheessa. Tavallisten sementtien valmistuksessa käytetään portlandklinkkeriä ja seosaineita. Sementtistandardi SFS-En 197-1 lajittelee sementit viiteen päälajiin ja edelleen alalajeihin. Standardissa määritellään sementtien koostumus ja laatuvaatimukset sekä vaatimustenmukaisuuden ehdot. Suomessa käytössä ovat seuraavat rakennussementit: Plussementti (CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N), Rapidsementti (CEM II/A-LL 42,5 R), Pikasementti (CEM I 52,5 R), SR-sementti (CEM I 42,5 N - SR3), ja Valkosementti (CEM I 52,5 R- SR5).

Betoni saavuttaa tavoitelujuutensa noin 28 vuorokauden kuluttua plussementtiä käytettäessä. Se sopii käytännössä kaikenlaiseen rakentamiseen. Rapidsementti, eli nopeasti kovettuva sementti on käytössä mm. lattiavaluissa ja talvibetonoinnissa. Rapidsementtiä käytettäessä tavoitelujuus voidaan saavuttaa jo 7 vuorokauden kuluttua. Rapidsementillä tehty betoni myös poikkeaa väriltään plussementillä valetusta. Pikasementtiä hyödyntää erityisesti elementtiteollisuus ja sitä käytetään myös esimerkiksi korkealujuusbetonien valmistuksessa. SR-sementti on normaalisti kovettuvaa Portland-sementtiä ja se soveltuu erityisesti sulfaattirasituksen alaisiin kohteisiin. Valkosementin käyttö takaa miltei puhtaanvalkoisen värin ja hyvät lujuusominaisuudet. Valkosementtiä käytetään mm. julkisivuelementtien valmistuksessa.

Muita sementtejä on reikien injektointia varten kehitetty injektointisementti, jolla on erittäin suuri hienous. Lisäksi Suomessa on käytössä muurauksen tarkoitettua muuraus-sementtiä ja aluminaattisementtejä, jota käytetään tulenkestävien laastien valmistuksessa. Aluminaattisementtejä ei saa käyttää kantavissa rakenteissa, sillä se muuttuu reaktiossa heikommiksi yhdisteiksi, kuin tavallinen sementti. Markkinoilla on myös värjättyjä sementtejä ja paisuvia sementtejä, mutta niitä ei valmisteta Suomessa, ja niiden käyttö on hyvin vähäistä.

Sementtiliiman muuttumisen sementtikiveksi voi erottaa kahdeksi vaiheeksi, sitoutumiseksi ja kovettumiseksi. Betoni on saatava kuljetettua työmaalle ja valettua ja tiivistettyä maksimissaan kahden tunnin sisällä valusta, jotta se saa sitoutua häiriintymättä. Kovettuminen jatkuu teoriassa niin kauan, kun materiaalissa on hydratoitumiseen osallistumiskykyistä vettä.

2.1.3 Vesi

Vesijohtoverkosta otettu vesi sekä juomakelpoinen luonnonvesi soveltuvat betonin valmistukseen. Vedessä mahdollisesti esiintyviä betonille haitallisia aineita ovat mm. humus ja hapot kuten sulfaatit, kloridit, rasvat & öljyt ja sokerit. Humuspitoisia suovesiä tai asumisjätteiden saastuttamia vesiä ei pidä käyttää betonissa ilman erillisiä tutkimuksia. Suomessa joissain tilanteissa voi käyttää myös merivettä sen alhaisen suolapitoisuuden vuoksi.

2.1.4 Seos- ja Lisäaineet

Betonin side ja runkoaineina voidaan käyttää erilaisia mineraalisia seosaineita. Lentotuhka, eli hienoksi jauhetun kivihiilen poltossa voimalaitoksessa syntyvä pozzolaani, joka erotetaan savukaasuista, on yksi yleisemmistä lisäseosaineista. Lentotuhka heikentää betonin varhaislujuutta, mutta parantaa hieman myöhäislujuuksia. Lentotuhkan käyttö betonissa tummentaa betonin värissävyä määrästä riippuen.

Masuunikuona on metalliteollisuudessa syntyvä sivutuote, jota käytetään betonissa seosaineena ja sementtiin sekoitettuna. Masuunikuonaa käytetään monissa sementeissä. Sitä hyödynnetään lähinnä massiivisten betonirakenteiden valuissa sillä sen lujittumisreaktio tuottaa vähemmän lämpöä. Masuunikuonan vedentarve on pieni, joten se notkistaa betonia.

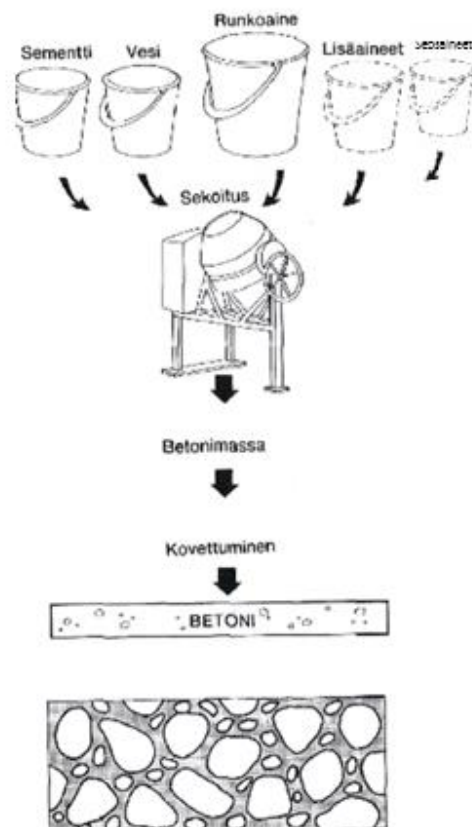
Silika on piiraudan ja alkuaine piin valmistuksessa syntyvä savukaasuista erottava, erittäin hienojakoinen pozzolaani. Vertailukohtana silika on hienojakoisempaa kuin tupakan savu. Silika lisää huomattavasti betonin lujuutta ja tiiveyttä.

Lisäaineilla voidaan säädellä betonimassan ominaisuuksia, suhteutuksen lisäksi. Lisäaineiden käytöllä pyritään yleensä parantamaan betonin teknisiä ominaisuuksia tai kilpailukykyä. Lisäaineita ovat notkistimet, nesteytin, huokostimet, muut pakkasenkestävyyttä parantavat aineet, kiihdyttimet, hidastimet, tiivistysaineet, injektointiaineet ja muut lisäaineet. Lisäaineiden määrä varsinaiseen betonimäärän nähden on hyvin pieni.

2.2 Suhteutus

Suhteutuksella tarkoitetaan betonin kiviaineksen, sementin ja veden seossuhteiden määrittämistä sekä kiviaineen rakeisuuden määrittämistä. Suhteutusta muuttamalla betonin ominaisuudet muuttuvat. Suomessa on käytössä kaksi suhteutusmenetelmää Nykäsen ja Vuorisen menetelmä. Nykäsen menetelmä on yleisin talonrakennuspuolella. Vuorisen menetelmää on kehitetty painottaen vaikeampia ympäristöolosuhteita.

Nykyään suhteutus tapahtuu tietokoneohjelmien avulla, mutta niiden ymmärtäminen edellyttää manuaalisen suhteutuksen osaamisen taidon ainakin tavallisen betonin osalta. Betonin vesisementtisuhde ei saa olla korkeampi kuin 0,55, jos rakenteelle on asetettu pakkasenkestävyys tai säilyvyysvaatimuksia. Betonin lujuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat sementin laatu ja määrä ja vesisementtisuhde. Vesisementtisuhteen kasvattaminen huonontaa betonin lujuutta, mutta tekee siitä helpommin valettavaa.



Kuva 7 Kuva 6 Betonin ainesosat lähdettä mukailten, lähde: BY205

3 Betonin ominaisuudet

3.1 Betonimassa

Betoni on plastisessa tilassa sitoutumiseen asti, joka tapahtuu noin 2..4 tuntia sekoituksesta +20oC lämpötilassa. Yksi betonimassan tärkeimmistä ominaisuuksista on sen työstettävyys, jota arvostellaan massan notkeudella. Ensimmäisten tuntien aikana tuore betonimassa menettää notkeuttaan ja kutistuu sekä pysty- että vaakasuunnassa.

Betonimassan pystysuuntaista kutistumista kutsutaan plastiseksi painumaksi. Plastinen painuma saattaa aiheuttaa halkeilua ja johtuu siitä että betonin kiviaines ja sementti painuvat alaspäin valetussa rakenteessa, jättäen pinnalleen vesikerroksen.

Plastisen kuivumisen aiheuttaa betonipinnan liian nopea kuivuminen ennen massan sitoutumista. Betonimassa kutistuu vaakatasossa, mikä aiheutuu veden haihtumisesta betonipinnasta muutaman tunnin sisällä valusta. Kun kiviainesrakeet ja sementtihiukkaset eivät pysty liikkumaan vapaasti alaspäin ja täyttämään haihtuvan veden jättämää tilaa valetussa rakenteessa, syntyy pintaan vetojännityksiä, jotka aiheuttavat halkeilua.

3.2 Betonin lujuus

Puristuslujuus on betonin tärkein ominaisuus, joka on betonilla materiaalina hyvä. Betoninormeissa puristuslujuuden luokitus perustuu kuutiolujuuteen, joka testataan käyttäen sivumitaltaan 150mm koekuutioita. Rakenteessa betonin lujuus on yläosassa heikompi, kuin alaosassa. Yläosan heikompaan lujuuteen vaikuttaa mm. muodonmuutokset ja rakenteen tiivistyminen paremmin alaosaan.

Betonin vetolujuus on n. 1/10 puristuslujuudesta. Vetolujuuden kestävyyttä betonirakenteissa pyritään parantamaan mm. raudoituksilla. Betonirakenteen halkeilu merkitsee betonin vetolujuuden ylittymistä.

3.3 Muodonmuutosominaisuudet

Kiinteä kappaletta kuormitettaessa sen muoto saattaa muuttua. Jos muoto ei palaa ennalleen puhutaan plastisesta muodonmuutoksesta. Jos kappale palaa ennalleen kyseessä on kimmainen muodonmuutos. Betonissa kuormituksesta johtuvat puristumat ovat usein pieniä ja näkyvät välillisesti esimerkiksi rakenteiden taipumina.

Kuormitetun materiaalin ajasta riippuvaa muodonmuutosta kutsutaan virumaksi. Betonin erilaisten muodonmuutosten suuruus on riippuvainen monesta tekijästä, kuten jännitystasosta, betonin lujuudesta, betonin koostumuksesta, testausolosuhteista, betonin iästä ja kuormitusolosuhteista. Viruman vaikutus kokonaismuodonmuutokseen on huomattava ja sitä esiintyy kaikkien jännitystapausten yhteydessä. Betonin kutistuma riippuu useasta tekijästä, mm. betonin kuivumisesta ja sementin hydrataatiosta. Kutistuma aiheuttaa vetojännityksiä betonissa, mikä ilmenee ei toivottuina halkeamina betonipinnassa.

3.4 Pakkaskestävyys

Betonin huokosten sisältämän veden jäätyminen aiheuttaa betonipinnan rapautumista. Betonin pakkaskestävyyttä parannetaan suojahuokoistamalla. Huokokset ovat täynnä ilmaa ja antavat jäätyvälle vedelle tilaa laajeta. Merivedessä olevat suolat tai jään ja lumen sulatuksessa käytettävä tiesuola lisäävät betonin pakkasrasitusta.

Betonin suojahuokosten määrää voidaan mitata betonimassalla tehtävällä ilmamittauksella. Betonilla on ns. vedelläkyllästysaste, joka kuvaa sitä osuutta betonin kokonaistilavuudesta, joka on täytynyt vedellä. Jos betonissa on paljon suojahuokosia, on sen vedelläkyllästysaste käytännössä pieni. Liitteessä 1 esitetään betonimassan ilmamittaus.

3.5 Biologiset rasitukset

Biologisilla rasituksilla tarkoitetaan organismeja tai mikro-organismeja, jotka ovat vaikuttaneet betonin vaurioitumiseen. Kasvillisuus esimerkiksi levät, sammaleet tai juuret voivat aiheuttaa mekaanista vaurioitumista tunkeutuessaan betonirakenteeseen. Yleisesti kasvillisuuden aiheuttamat vauriot vaikuttavat lähinnä betonipinnan ulkonäköön.

Merkittävintä betonien biologista räsitusta esiintyy jätevesiputkissa. Jätevesien rikkiyhdisteet saattavat muodostaa lietteen kanssa rikkivetyä, joka voi muuntua rikkihapoksi aiheuttaen biologista korroosioita jätevesiputkissa. Tätä voi ehkäistä jo suunnitteluvaiheessa mm. riittäväillä kallistuksilla ja tuuletuksella.



Kuva 8 Biologista räsitusta Italiassa

3.6 Betonin säilyvyys ja käyttöikä

Suunnitellulla käyttöiällä tarkoitetaan rakennukselle/rakennuksen osalle määriteltyä käyttöiän vaatimusta. Betonirakenteet suunnitellaan ja valmistetaan 50-200 vuoden käyttöiälle. Säilyvyyden suurimmat uhat ovat fysikaaliset rasitukset, kemialliset rasitukset sekä teräsbetonirakenteissa raudoituksen korroosio. Fysikaalisilla rasituksilla tarkoitetaan eroosiota, kulumista, halkeilua ja pakkasrapautumista. Kemiallisia rasituksia taas aiheuttavat hapot ja sulfaatit.

Betonin karbonatisoituminen mahdollistaa raudoituksen korroosion. Karbonatisoitumisessa hiilidioksidi reagoi betonin kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia. Tämä aiheuttaa betonin emäksisyyden laskemisen, jolloin betoni ei suojaa enää raudoitusta ruostumiselta. Teräs alkaa laajeta ruostuessaan, mikä murtaa betonirakenteen.

Betonin ikään vaikuttavia tekijöitä ovat mm. lujuusluokka, vesi-sideainesuhte, sementin määrä ja laatu, lisäaineet, raudoituksen betonipeitteen paksuus, raudoitteen laatu ja edel-

lä mainitut rasitukset. Sisätilojen betonirakenteita voidaan pitää erittäin pitkäikäisinä, sillä normaaleissa sisätiloissa ei käytännössä ole mitään vauriomekanismia, joka pääsisi vaikuttamaan betoniin.

Suunnittelijan (S) ja betonin valmistajan (B) tehtävät tavanomaisten betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelussa.

Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokka	Suunnittelukäyttöikä	Lujuusluokka	Betonipeite	Halkeamien maksimi-leveys	Kivianneksen ylä-nimellisraja	Sementtityyppi	Vesi-sementtisuhte	Betonin ilmamäärä	Testausmenetelmä	Pakkasenkestävyys
X0	S	S	S	S	S	S	B	B ¹			
XC	S	S	S	S	S	S	B	B ¹			
XD	S	S	S	S	S	S	B (S) ²	S			
XS	S	S	S	S	S	S	B (S) ²	S			
XF	S	S	S	S	S	S	B (S) ²	B	B	B	B
XA	S	S	S	S	S	S	B (S) ²	B			

- ¹⁾ X0- ja XC-luokissa betonille ei aseteta vaatimusta vesi-sementtisuhteelle, mutta valmistajan on tiedettävä ja pyynnöstä asiakkaalle ilmoitettava vesi-sementtisuhteen tavoitearvo myös näissä rasitusluokissa.
- ²⁾ Vaativissa kohteissa on suositeltavaa, että suunnittelija ja betonin valmistaja yhdessä valitsevat käytettävät sementtityypit.

Kuva 9 Taulukko 2 Suunnittelijan tehtävät lähde: BY 51

Betonin käyttöikää voidaan lisätä muutamalla betonin suhteutusta kutakin käyttötarkoitusta vastaavaksi, esimerkiksi pakkasenkestävä betoni. Karbonatisoitumista voidaan hidastaa suhteuttamalla betoni mahdollisimman tiiviiksi ja estää halkeilu hyvällä jälkihoidolla. Myös betonipinnan paksuus ulkoreunasta raudoitukseen, vaikuttaa oleellisesti siihen milloin karbonatisoitumisaste saavuttaa raudoituksen. Betonipinnan eroosioita ja kulumista voidaan ehkäistä erilaisilla maaleilla ja pinnoitteilla. Kemiallista kestävyyttä on pyritty lisäämään mm. lisäseosaineiden esimerkiksi lateksin käytöllä

Betonille on määritelty rasitusluokat helpottamaan oikein betonilaadun määrittämistä rakennuskohteeseen. Rasitusluokat määritellään rakenteille ympäristön ja olosuhteiden

mukaan. Ylimoitettuja rasisitusluokkia on hyvä välttää, sillä ylimoitettut rakenteet ovat kalliita ja niiden valmistus voi olla hyvin haastavaa.

3.6.1 Taulukko rasisitusluokista

Ympäristöolosuhteiden mukaisesti (Lähde BY50)

Luokka	Ympäristön kuvaus	Informatiivisia esimerkkejä rasisitusluokkien esiintymisestä
1 Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä		
X0	Raudoittamaton tai metalliosia sisältämätön betoni: Kaikkiin ympäristöihin lukuun ottamatta niitä, joissa esiintyy jäätymis-sulatus- tai kulutusrasitusta tai kemiallista rasisitusta Raudoitettu tai metallia sisältävä betoni: Hyvin kuiva	Betoni sisätiloissa, jossa ilman kosteus on hyvin alhainen. Kuivat lämmitetyt sisätilat
2 Karbonatisoitumisen vaikutuksesta aiheutuva korrosio		
Jos raudoitusta tai muita metalliosia sisältävä betoni on alttiina ilmalle ja kosteudelle, rasisitus luokitellaan seuraavasti: HUOM. Kosteusolosuhteet tarkoittavat raudoitusta tai muuta betonissa olevaa metalliosaa betonikerroksen kosteutta, mutta monissa tapauksissa betonikerroksen kosteuden voidaan katsoa vastaavan ympäristön kosteutta. Tällöin ympäristön luokittelu voi riittää. Näin ei välttämättä ole, jos betonin ja sen ympäristön välillä on kosteussulku.		
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä	Sisätilat, joissa on alhainen kosteuspitoisuus. Jatkuvasti vedenpinnan alla olevat rakenteet. Kylpyhuoneet, porraskäytävät, vedenpinnan alaiset rakenteet. Kerrosellisen seinärakenteen sisäkuori Siltojen vedenalaiset osat
XC2	Märkä, harvoin kuiva	Pitkiä aikoja veden kanssa kosketuksissa olevat rakenteiden osat. Useimmat perustukset. Siltojen perustukset, siirtymälaatat

Kuva 10 Taulukko 3 osa 1

XC3	Kohtalaisen kostea	Betoni sisätiloissa, joissa kohtalainen tai korkea ilman kosteus. Ulkona olevat osittain tai kokonaan sateelta suojatut rakenteet. Sateelta suojatut julkisivut, muut pystysuorat ulkona olevat, sateelta suojattujen rakenteiden pinnat. Pysäköintitasojen laatat. Uimahallit, saunat, suurkeittiöt, monet teollisuusrakennukset. Siltojen sateelta suojatut päällysrakenteen osat kuten kansilaatan alapinnat ja palkit, sateelta suojatut pilarit, tukimuurit ja maa- ja välituet.
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Betonipinta kosketuksissa veden kanssa, eikä kuulu ympäristöluokkaan XC2. Parvekelaatat, sateelle alttiit julkisivut, sokkelit. Siltojen sateelle alttiit osat kuten reunapalkit, maatukien sivupinnat, tukimuurit, pilarit.

3 Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korrosio

Jos raudoitusta tai muita metalliosia sisältävä betoni on kosketuksissa veden kanssa, joka sisältää muista lähteistä kuin merivedestä peräisin olevia klorideja (kloridilähde voi olla myös jäänpoistoaine), rasitus luokitellaan seuraavasti:

HUOM. Katso myös tämän taulukon kohtaa 2 kosteusolosuhteiden osalta.

XD1	Kohtalaisen kostea	Betonia rasittavat ilmavirran mukana tulevat suolat Meluseinät tien vieressä Uimahallien sisätilat
XD2	Märkä, harvoin kuiva	Betonia rasittavat klorideja sisältävät teollisuusvedet Uima-altaat
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Suoloja sisältäville roiskeille tai suolaukselle alttiit osat. Pysäköintitasot, lämmitetyt autotallit. Siltojen tiesuoloille alttiit osat kuten reunapalkit, siirtymälaatat, betonikaiteet, suolasumulle alttiit siltapilarit ja väli- ja maatuet.

4 Meriveden kloridien aiheuttama korrosio

Jos raudoitusta tai muita metalliosia sisältävä betoni on alttiina klorideille, jotka ovat peräisin merivedestä tai ilman kuljettamasta merivedestä peräisin olevasta suolasta, rasitus luokitellaan seuraavasti:

XS1	Kosketuksissa ilman kuljet-taman suolan kanssa mutta ei suorassa kosketuksessa meriveteen	Rakenteet avomeren rannalla
XS2	Pysyvästi veden alla	Merirakenteiden ja siltojen merivedenalaiset osat
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyö-hykkeellä	Merirakenteiden ja siltojen meriveden vaihtelu- ja roiskevaikutuksille alttiit osat kuten välituet

5 Jäätymis-/sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä

Jos betoni on märkä ja siihen kohdistuu kosteuden lisäksi merkittäviä jäätymis-sulamisrasituksia, rasitus luokitellaan seuraavasti:

XF1	Kohtalainen vedellä kyllästy-minen ilman jäänsulatusainei-ta	Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonipinnat Julkisivut, sokkelit. Suolaamattomien teiden siltojen osat kuten kansilaatta, palkit, maa- ja välituet.
-----	--------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Kuva 11 Taulukko 3 osa 2

XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet	Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonipinnat, jotka ovat alttiina jäätymiselle ja ilman kuljettamalle jäänsulatusaineille. Meluseinät ja sokkelit tien vieressä. Suolattavien teiden siltojen osat kuten päällysrakenteen palkit ja kansilaatat, maa- ja välituet.
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat Parvekkeet, sillapilarit ja muut rakenteet sisävesien vesirajassa, patorakenteet, makean veden altaat. Suolaamattomien teiden siltojen osat kuten reunapalkit, siirtymälaatat, pilarimaiset välituet, rengaskehäsiltojen peruslaatat ja vesistösiltojen suojaamattomat vedenvaihtelualueen rakenteet.
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi	Suoralle jäänsulatusaineroiskeelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat ja jäänsulatusaineille alttiit teiden siltojen kannet. Pysäköintitasot, päällysteet, autotallit. Suolattavien teiden siltojen reunapalkit, siirtymälaatat, betonikaiteet, rengaskehän peruslaatat. Välituet, kun sillan alittavaa tietä suolataan. Meressä olevan sillan suojaamattomat rakenteet tasolta NW-1 ylöspäin.

6 Kemiaallinen rasitus

Jos betoniin kohdistuu taulukon 3.2 mukainen luonnon maaperästä ja pohjavedestä aiheutuva kemiallinen rasitus, rasitus luokitellaan alla olevalla tavalla Meriveden luokittelu riippuu maantieteellisestä sijainnista, joten luokittelu on suoritettava betonin käyttöpaikan mukaisesti.

HUOM. Seuraavissa tapauksissa voi olla tarpeen suorittaa erityisselvitys oikeiden ympäristöolosuhteiden määrittämiseksi:

- ollaan taulukon 3.2 rajojen ulkopuolella
- muiden aggressiivisten kemikaalien läsnä ollessa
- kemiallisesti saastuneessa maassa
- vedessä, jossa on suuri veden virtausnopeus ja taulukon 3.2 mukaisia kemikaaleja voidaan tarvita erillinen selvitys betonin ominaisuuksien määrittämiseksi

XA1	Taulukon 3.2 mukainen vähän aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Osa maatalousrakenteista
XA2	Taulukon 3.2 mukainen kohtalaisen aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Puukuivaamot, savupiippujen yläosat
XA3	Taulukon 3.2 mukainen hyvin aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Maatalousrakenteet, jotka ovat alttiina urealle, maidolle tai lannoitteille

Kuva 12 Taulukko 3 osa 3

3.7 Betonin kosteustekniikka

Kapillaarinen nousu on merkityksellinen huomioitava asia betonin kosteusteknisessä toiminnassa vanhoja rakenteita tarkasteltaessa. Kapillaarinen nousu tarkoittaa veden nousua betonin huokosissa. Betonin laadusta riippuen vesi voi nousta rakenteessa useita kymmeniä senttimetrejä. Veden nousua rakenteissa estetään tekemällä kosteuden kul-

keutumisen katkaisevia kapillaarikatkoja, esimerkiksi sokkelirakenteiden ja julkisivuelementtien väliin asennettavalla kermikaistalla.

Kapillaarista kosteuden siirtymistä tapahtuu jonkin verran myös vaakasuunnassa, esimerkiksi kellarien maanvastaisissa seinärakenteissa. Betonirakenteen kosteus voi nousta myös ilmankosteuden välityksellä. Esimerkiksi alapohjarakenteessa pohjalaatan kosteuspuiteisuus saattaa nousta kapillaarisen kosteuden nousun seurauksena. Pohjalaatan ja pintalaatan väliin asennettava styreenieriste katkaisee kapillaarisen nousun, mutta eristetilän ilmankosteus saattaa olla niin korkea, että se vaikuttaa pintalaatan kosteuspuiteisuuden siten, että pintalaatan päälle asennettu muovipäällyste voi vaurioitua.

3.7.1 Betonirakenteen säilyvyys

Betonirakenteen vaurioituminen tapahtuu pääsääntöisesti pakkasrapautumisena ja karbonatisoitumisen seurauksena tapahtuvana raudotteiden korroosiona. Pakkasrapautumiseen vaikuttaa kiihdyttävänä tekijänä betonin kosteuspuiteisuus. Ulkorakenteet, erityisesti ulokepalkit, ovat altteimpia sääolosuhteista aiheutuneille rasituksille. Betonirakenteelle haitallisia olosuhteita ovat myös esimerkiksi maatalousrakennukset, suuren kemiallisen rasituksen vuoksi.

Betonipintojen kestävyys huomioidaan jo betonilaatua valittaessa. Pintojen säilyvyyttä voidaan parantaa valitsemalla tiiviimpää ja pakkasta paremmin sietävää betonia. Laadun oikea valinta edesauttaa rakenteen säilyvyyttä, kuin myös betonin huolellinen käsittely rakennusvaiheessa. Betonipintojen säilyvyyteen vaikuttaa olennaisesti myös talonrakennustekniikka. Esimerkiksi pitkällä räystäällä suojataan siniä sadevedeltä. Betonisen ulkopinnan säilyvyyttä voidaan parantaa pintakäsittelyllä. Käsittely voidaan toteuttaa erilaisilla menetelmillä, esimerkiksi kalvoa muodostamattomilla ns. impregnointiaineilla (imeytyvät) tai paksukalvoisilla maaleilla. Pinta voidaan käsitellä myös halkeamia silloittavalla, ohutrappaustyylisellä pinnoitteella.

Betonirakenteita tutkitaan mm. aistinvaraisin menetelmin, katsomalla ja koputtelemalla. Näytteet rakenteesta otetaan yleensä poranäytteinä siten, että betonipinnasta porataan lieriö timanttiporanterällä. Laboratoriossa rakenteen kuntoa voidaan määrittää betonin karbonatisoitumissyvyyden selvittämällä tai ohuthienäytteillä. Ohuthienäytteessä näytepalasta leikataan ohut siivu, jota tarkastellaan mikroskoopilla. Tutkimus perustuu tut-

kijan kokemukseen ja näytteestä voidaan selvittää esimerkiksi onko betonin jälkihoito onnistunut tai onko kemiallisissa reaktioissa mennyt kaikki suunnitellun mukaisesti.

3.7.2 Sisätilan betonipinnan vaikutus ilmanlaatuun

Merkittävimpiä vaikutustapoja on kaksi. Ensimmäinen on betonipintojen kastuminen, joka voi vaurioittaa ympäröiviä rakenteita tai päällystemateriaaleja. Kastunut betonipinta huonetiloissa aiheuttaa myös tiloihin "märän betonin hajua". Itsessään betonin kastuminen ei pääsääntöisesti vaurioita rakenteita, koska betonirakenteet kestävät vaihtelevaa kosteuspitoisuutta.

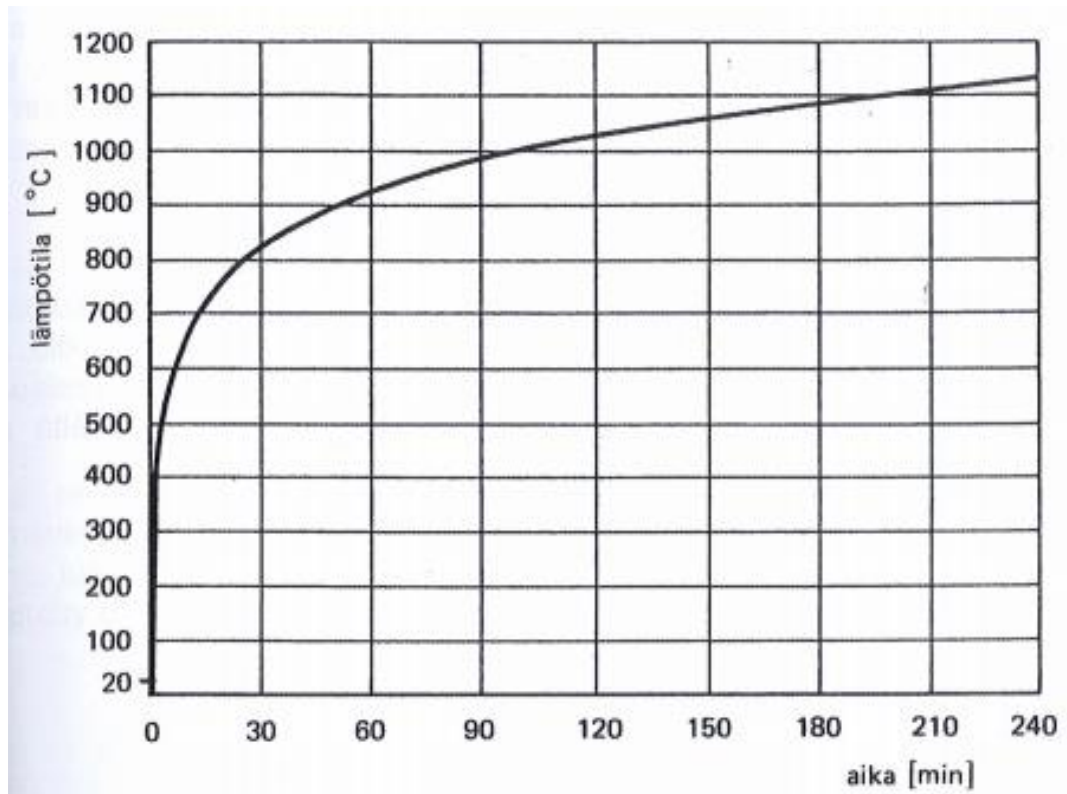
Kuitenkin ulommaiseen pintaan tai pintamateriaaleihin saattaa pitkällisen kosteusrasituksen seurauksena muodostua mikrobikasvua. Kasvu ei kuitenkaan, betonin emäksisyyden vuoksi, ulotu materiaaliin syväälle. Kasvu on mahdollista vain uloimpaan pintaan kiinnittyneessä huonepölyssä tai orgaanista materiaalia sisältävässä tasoitteessa, joka tarjoaa soveltuvan kasvualustan mikrobeille, mikäli kosteus on riittävää.

Toinen vaikutustapa on käsittelemättömien betonipintojen pölyäminen. Huoneilmassa sementti- ja kiviaineshiukkaset heikentävät sisäilman laatua. Huonetiloissa sijaitsevat betonipinnat, myös alakattojen yläpuolisilta osin, tulisi pinnoittaa tämän estämiseksi.

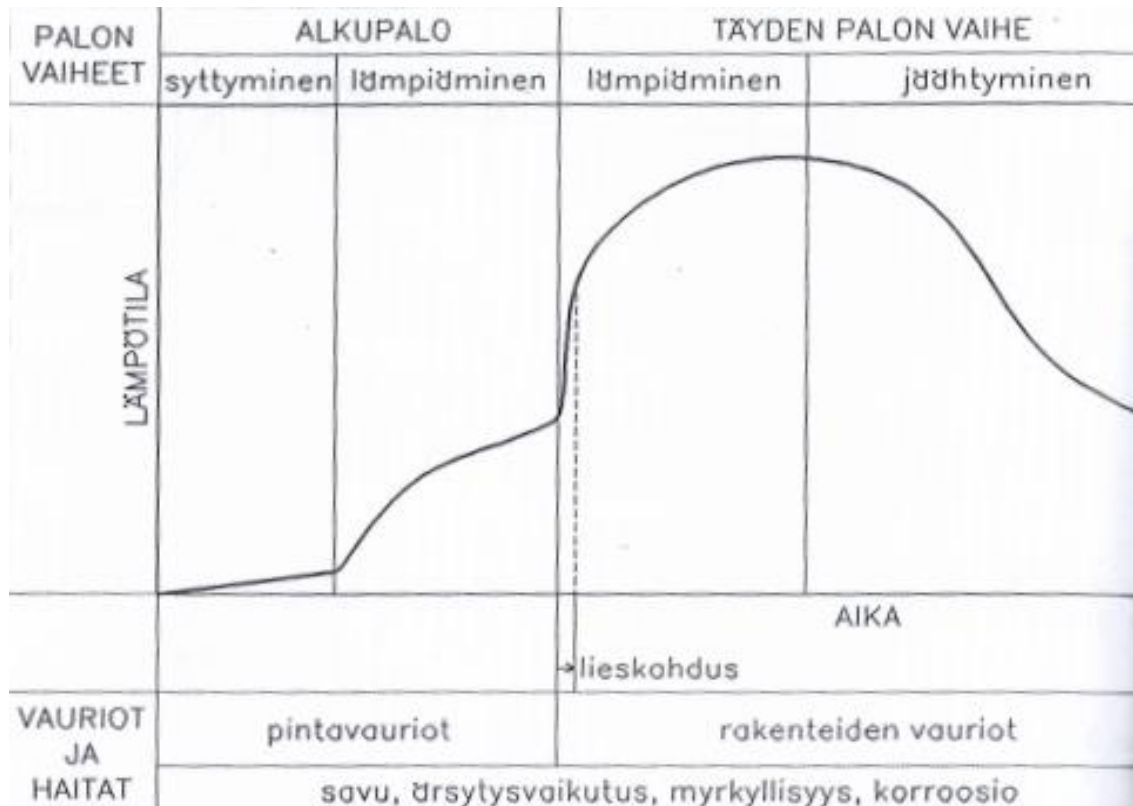
Viimevuosina on mediassa ollut jonkin verran keskustelua betonin lisäaineista ja niiden vaikutuksesta huoneilman terveellisyyteen. Pääsääntöisesti vaikutus on vähäistä, mutta esimerkiksi Venäjällä on rakennettu kerrostaloja, jotka eivät sovellu asunnoiksi niiden betonirakenteiden sisältämien ammoniakkipitoisuuksien vuoksi.

3.8 Betonin palotekninen toiminta

Betonin käyttäytymistä tulipalotilanteessa arvioitaessa on yleensä tarkasteltava koko teräsbetonirakennetta. Todellisen tulipalon kestoon ja lämpötilakehitykseen vaikuttavat mm. palokuorma, ilmanvaihto ja palotilan koko & muoto. Rakenteen käyttäytymiseen tulipalossa vaikuttavat myös materiaaliominaisuudet ja rakenneosien muotoilu, mitat ja liitokset.



Kuva 13 Kuvaaja 1: Palotilan aika-lämpöyhteys standarditulipalossa, kun alkulämpötila on +20°C Lähde: BY201



Kuva 14 Kuvaaja 2: Palon kehittyminen vaiheittain sekä esimerkkejä erilaisista vaurioista ja haitoista eri vaiheiden aikana, lähde: BY 201

Lyhytaikainen korkea kuumuus ei vaikuta betonirakenteen kapasiteettiin merkittävästi, ellei rakenteessa tapahdu räjähdysmäistä lohkeilua. Betonin sisäosa lämpiää hitaasti, mutta tulipalon kestäessä pidempään kuumuus ehtii vaikuttamaan myös rakenteen sisäosiin, mikä voi aiheuttaa raudoitteiden ja betonin lujuuden heikkenemistä ja johtaa kantokyvyn menetykseen.

Suuren lämpökapasiteettinsa johdosta betonia käytetään mm. teräsrakenteiden palonsuojusmateriaalina. Betonin ja teräksen lämpölaajenemiskerroin on suunnilleen samansuuruinen, joten niiden muodostama rakenne toimii lämpötilan muutoksista huolimatta. Korkeissa lämpötiloissa betoni ei syty tuleen, ei levitä tulipaloa eikä haihduta myrkyllisiä kaasuja.

Betonin lujuus heikkenee lämpötilan kohotessa. Se on otettava huomioon betonin paloteknisessä mitoituksessa. Betonin palonkestoaikaa voidaan määrittää esimerkiksi taulukoihin perustuvalla mitoituksella tai laskennallisella mitoituksella standardipalokäyrästöjä hyödyntäen.

4 Teräsbetoni

Teräsbetonirakenteella tarkoitetaan rakennetta, jossa teräs ja betoni vain yhdessä toimimalla kestävät rakenteelle tulevat rasitukset. Teräsraudoitusta käytetään vahvistamaan betonirakenteen veto- ja leikkauslujuutta. Teräsbetonirakenne on huomattavasti pelkäästä betonista koostuvaa rakennetta yleisempi.

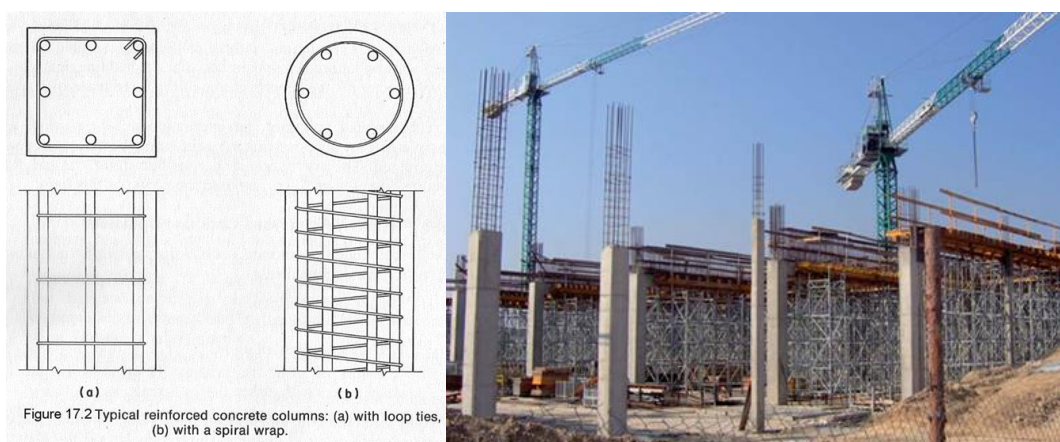
4.1 Toimintaperiaate

Teräsbetonirakennetta hyödynnetään yleensä taivutetuissa ja puristetuissa rakenteissa. Taivutetuissa rakenteissa ja rakenteissa, jotka saavat puristuksen lisäksi runsaasti taivutusta, raudoitusta käytetään vastaanottamaan ensisijaisesti vetojännityksiä.

4.2 Yleisimmät rakenteet

4.2.1 Pilari

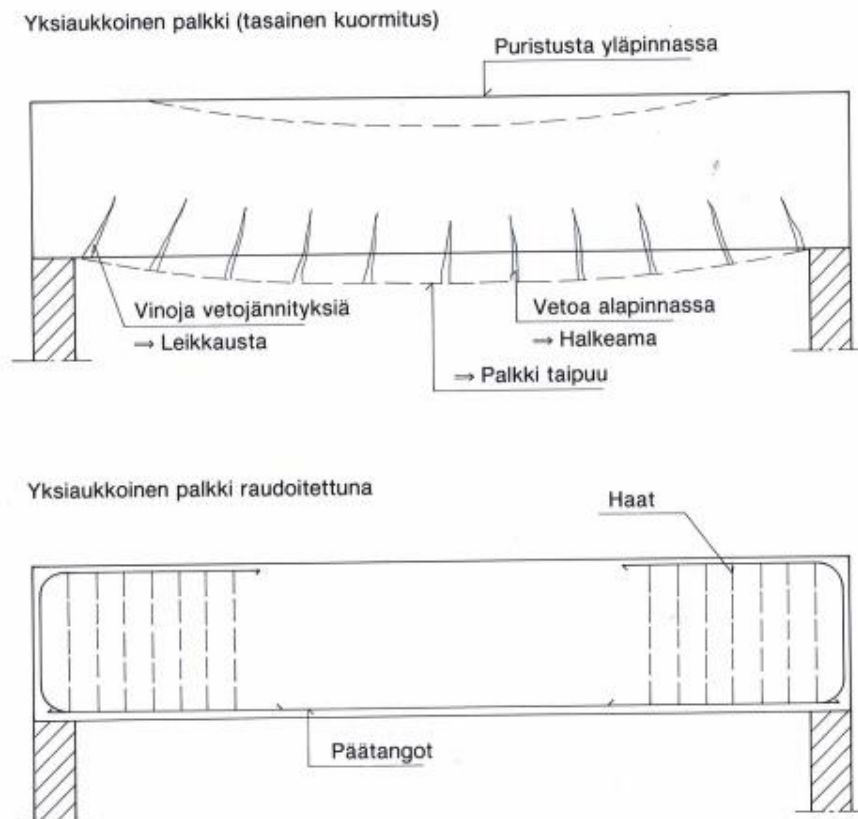
Pilari siirtää yläpuolisia kuormia alapuolisille rakenteille, samoin kuin seinäkin. Pilari raudoitetaan pystytangoilla joita kiertävät umpihaat. Hakojen päätehtävänä on estää pilarin nurjahtaminen.



Kuva 15 Pilarin raudoitukset, lähde: padastructure Kuva 16 Pilareita työmaalla lähde: ulmaconstruction

4.2.2 Palkki

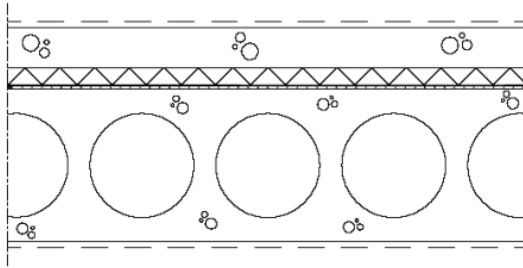
Palkin pituussuuntainen raudoitus on taivutuksesta aiheutuvaa vetojännitystä varten. Hakaraudoitukset palkissa ovat ottamassa leikkausrasituksia tai takamaassa betonin ja pituussuuntaisen raudoituksen yhteistoiminnan.



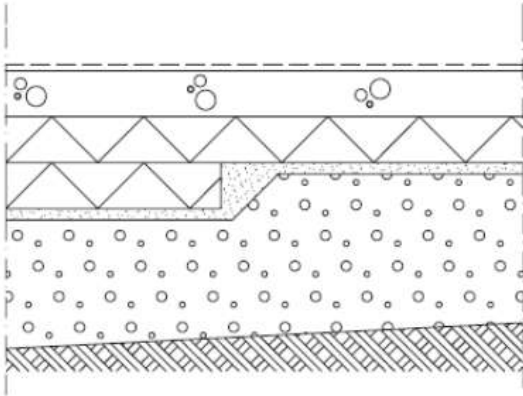
Kuva 17 Palkin raudoitusesimerkki, lähde: BY206

4.2.3 Laatta

Teräsbetoni-laattoja on olemassa esimerkiksi maanvastaisina rakenteina ja kerrosten välisinä laattoina. Laattojen raudoituseriaatteisiin vaikuttaa laattaan sijoitus rakennuksessa ja sille suunniteltu kantavuus. Laatan toimiva pituussuuntainen raudoitus on sijoitettu vetopuolelle. Laatta voi olla myös ns. ristiinkantava, jolloin raudoituksen päätangot ovat kantavia molempiin suuntiin. Laattatyyppejä on erialaisia, esimerkiksi massiivilaatta, pilarilaatta ja kuorilaatta. Liittolaatta on rakenne, jossa alapinnan raudoitus on korvattu esimerkiksi profiloidulla teräslevyllä.



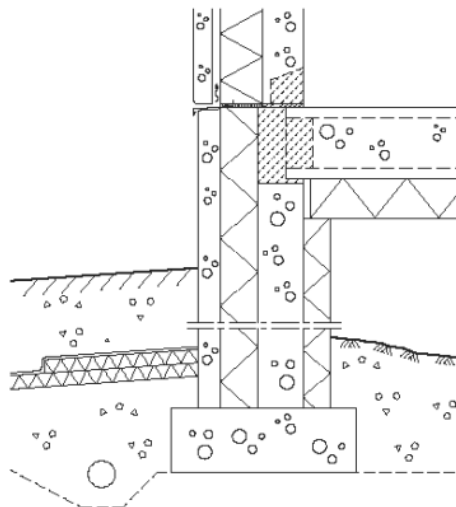
Kuva 18 Ontelolaatta välipohja, lähde: RT Cad



Kuva 19 Maanvarainen laatta, lähde: RT Cad

4.2.4 Anturat

Anturat siirtävät rakennuksen kuormat maahan tai paaluille. Ne pyritään tekemään suorakaiteen muotoisiksi raudoittamisen helpottamiseksi. Anturoiden raudoituksessa tärkeää huomioitavaa on mm. riittävä betonipeite.



Kuva 20 Esimerkki Antura-sokkeli leikkauksesta, läde: RT Cad

4.3 Raudoitukset

Teräsbetonin raudoitukset on valmistettu teräksestä, joka on raudan ja hiilen seos. Teräksen hiilipitoisuus on alle 1,7% ja se sisältää myös pieniä määriä muita alkuaineita, kuten mangaania, piitä, fosforia ja rikkiä. Teräs valmistetaan runsaasti hiiltä sisältävästä raakaraudasta melottamalla, eli poistamalla siitä hiiltä. Sulatteen puhalletaan happea, jolloin ylimääräinen hiili palaa ja ylimääräinen osa muista alkuaineista sitoutuu kuonaan.

4.3.1 Raudoitustuotteet

Suomessa käytössä olevat betoniterästuotteet lajitellaan joko pinnan, muodon tai valmistusmenetelmän mukaan. Pinnan muodon mukaan tankoja voidaan lajitella sileisiin tankoihin ja harjatankoihin. Valmistusmenetelmän mukaan jaotellaessa tangot lajitellaan kuumavalssattuihin, kylmämuokattuihin ja kylmävalssattuihin teräksiin. Tankojen ja verkkojen lisäksi on myös muita teräsvalmisisia esimerkiksi tartuntalevyjä.

Yleisimmät käytettävät betoniterästuotteet ovat A500HW, hitsattava kuumavalssattu harjatanko, ja B500K kylmämuokattu harjatanko. Tuotteen tunnuksessa merkinnät tarkoittavat: A=kuumavalssattu, B=kylmämuokattu, numero(esim.500)=teräksen myötöraja, H=harjatanko, W=hitsattava, K=kylmämuokattu harjatanko.

Betoniraudoituksissa käytetään tankojen lisäksi rauditusverkkoja, jotka toimitetaan työmaalle levyinä. Verkkoja on varastoverkkoja ja erikoisverkkoja. Varastoverkkojen tyyppimerkintä 6-150, kertoo verkon tankokoon olevan 6mm ja jakovälin 150mm. Betoniterästankojen yleisimmät halkaisijat ovat 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25 ja 32mm.

4.3.2 Raudoitusten korrosio

Teräs ruostuu kosteassa ilmatilassa. Ruostuminen on sähkökemiallinen tapahtuma, jossa rauta pyrkii muuttumaan takaisin niiksi yhdisteiksi, joina sitä luonnossa esiintyy. Teräsbetonirakenteissa betoni antaa raudoitukselle suojan ruostumista vastaan. Tämä ruostumista ehkäisevä vaikutus johtuu betonin emäksisyydestä.

Korroosiolle välttämättömien aineiden kuten veden, hapen ja kloridien pääseminen raudoitukseen asti hidastuu betonipeitteen myötä. Betoni suojaa raudoitusta sitä tehokkaammin, mitä tiiviimpää se on. Raudoitusta suojaavassa betonipeitteessä olevat halkeamat voivat edesauttaa raudoituksen korroosiota. Halkeamia voi ehkäistä hyvällä jälkihoidolla.

Raudoitusten suojaamiseen ruostumiselta vaikuttaa siis olennaisesti betonipeitteen paksuus. Paksuus riippuu betonin laadusta ja ympäristön olosuhteista. Raudoituksen korrosio voi alkaa vain, jos sitä ympäröivässä betonissa tapahtuu muutoksia, jotka poistavat raudoitukselta betonin sille antaman fysikaalisen ja kemiallisen suojan. Fysikaalista suojaa heikentävät betonin rapautuminen ja halkeilu. Kemiallisen suojan poistaa betonin karbonatisoituminen. Kloridit voivat aiheuttaa raudoituksen ruostumisen, vaikka betonin karbonatisoitumista ei olisi ehtinyt tapahtua. Klorideja voi tunkeutua betoniin esimerkiksi merivedestä tai suolauksen seurauksena.

Raudoituksen ruostumisen seurauksena syntyvät korroosiotuotteet tarvitsevat noin nelinkertaisen tilan verrattuna alkuperäisen raudoituksen viemään tilaan. Suurempi tilantarve aiheuttaa betoniin halkaisevan voiman. Korroosion edetessä betoniin voi syntyä halkeamia, sisäisiä säröjä tai lohkeamia. Betonipinta voi myös värjäytyä korroosion seurauksena. Jos rakenteessa on nähtävissä korroosiovaurioita, on se korjauksen tarpeessa.

5 Betoni suunnitelmissa

Betonirakenteita suunniteltaessa on huomioitava ja esitettävä tietoja mm. betonin materiaalista ja lujuudesta ja rakenteen mitoista. Laskelma-asiakirjoissa tärkeimpiä ilmoitettavia asioita ovat rakennemalli, kuormitukset ja kuormat, rakennemitat ja materiaalitiedot.

Betonirakenteiden piirustuksissa ja työselityksissä on esitettävä rakenteesta: rakenne-luokka, rasitusluokat ja suunniteltu käyttöikä, betonipeitteen nimellisarvo ja suunnitel-lussa käytetyt ominaiskuormat. Betonista ilmoitetaan lujuusluokka, rasitusluokat ja suunniteltu kiviaineksen ylänimellisraja ja notkeusluokka. Raudoituksesta tulee ilmoit-taa teräksen tunnus standardin tai käyttöselosteen mukaan. Jos rakenteelle on suunnitel-tu betonilaatu, myös sen voi ilmoittaa.

Esimerkiksi merkintä: NO C30/37 16mm S3 XC1, XF1

NO = normaalisti kovettuva betoni

C30/37 = betoninlujuusluokitus 30MN/m² lieriölujuus, 37MN/m² kuutiolujuus

16mm = suurin sallittu kiviaineksen raekoko

S3 = notkeusluokka, notkea

XC1= rasitusluokka, karbonatisoitumisen vaikutuksesta aiheutuva korroosio

XF1= rasitusluokka, jäätymis-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä

Betonielementtipiirustuksissa tulee esittää lisäksi elementin osalta paino, vähimmäistu-kipinnat, nostolenkit ja niiden sijoitus ja käsittely-, tuenta-, ja nosto-ohjeet tarvittaessa. Suomessa käytetään yleisesti SI-järjestelmän mukaisia yksiköitä.

6 Yleisimmät käyttökohteet

6.1 Paikallavalurakentaminen

Paikallavalurakentaminen tarkoittaa betonirakenteen valamista muottiin työmaalla. Valmisbetoni valmistetaan betonitehtaalla ja kuljetetaan työmaalle. Betonin valmistus käsittää raaka-aineiden vastaanoton ja varastoinnin, runkoaineen ja veden lämmityksen, betonin osa-aineiden mittauksen ja annostelun, massan sekoituksen, notkeuden säätämisen ja laadunvalvonnan. Näitä toimintoja säättävät laitteistot muodostavat betoniaseman.



Kuva 21 Rduksen betonitehdas Nekalassa, Tampereella

Betoni tilataan työmaalle valmisbetoniasemalta tai tilaamista varten olevasta palvelukeskuksesta. Tilattaessa betonia täytyy huomioida että tilauksia otetaan vastaan maksimissaan toimituskapasiteettia vastaava määrä. Ns. varmat ja ajoissa ilmoitetut tilaukset ovat aina etusijalla toimitusjärjestystä määrittäessä.

Betonia tilatessa on pystyttävä ilmoittamaan palvelukeskukseen työmaan tarkka osoite, puhelinnumero ja yhdyshenkilön (esimerkiksi vastaavan mestarin) nimi. Betonilaadusta on tiedettävä rasitusluokat, raekoko, lujuusluokka ja notkeusluokka. Tärkeää on ilmoittaa myös betonin määrä. Toimituspäivä ja ajankohta on myös ilmoitettava. Erityisesti talvella valettaessa on myös hyvä ilmoittaa betonin haluttu lämpötila. Tapana on myös kertoa betonia tilattaessa, mitä on valamassa ja minne.

Valmisbetoni tuodaan työmaalle sekoitussäiliöautolla. Autoja on erilaisia, joten on tärkeää tietää millainen auto valua varten tarvitaan. Valukourulla varustettu auto tuttavallisemmin ränniauto on edullinen ja käyttökelpoinen betonin siirtotapa, jos autolla päästään aivan valukohteen läheisyyteen. Ränniautoja käytetään matalissa valuissa, esimerkiksi maanvaraisia laattoja valettaessa. Ränniautolla ei pääse valamaan ylöspäin.

Perinteisen jassikkavalun on korvannut pumppuvalu. Kuljetuspumppuauto on kätevin ja joutuisin vaihtoehto kaupunkityömaiden vaikeasti lähestyttävissä ja ahtaissa valukohteissa, lattiavaluissa sekä yleensäkin pienissä pumppu-valuissa. Kuljetuspumppuauto (eli pumi, lyhenne sanasta pumpmixer) on jakelupuomilla varustettu sekoitussäiliöauto. Pumilla pystyy puomin ansiosta tekemään valuja myös ylöspäin, esimerkiksi kerrosten valuja. Isoihin valuihin hyödynnetään pumppuautoa, jossa on puomi, mutta ei säiliötä betonille. Pumpuilla on yleensä suurimmat ulottumat.



Kuva 22 Kuljetuskalustoa Nekalan betoniaseman pihassa

Betoni valetaan muottiin tasaisina kerroksina ja sen pudotuskorkeus saa olla enintään yhden metrin. Jos betoni pudotetaan muottiin liian korkealta, betonimassa erottuu osuessaan muottipintaan tai raudoituksiin. Valettua massaa tiivistetään täryttämällä. Tiivistyksen tarkoituksena on poistaa massasta ylimääräinen ilma.

Valetulle rakenteelle pyritään aikaansaamaan olosuhteet, joissa rakenne kovettuu moitteettomasti saavuttaen suunnitellun loppulujuuden ja muut tavoitellut ominaisuudet. Valun jälkihoitoon kuuluu rakenteen suojaaminen sateelta, tuulelta, auringonpaisteelta virtaavalta vedeltä ja kylmyydeltä. Lisäksi pitää ehkäistä veden haihtumista rakenteesta

ennenaikaisesti kastelemalla sitä. Myös oikeasta kovettumislämpötilasta on tärkeä huolehtia. Rakenteen suojaamiseen voidaan käyttää esimerkiksi muovikalvoja tai ruiskutettavia jälkihoitoaineita. Talviolosuhteissa betoni on suojattava lämmöneristyksellä, ettei lujuuskehitys vaarannu liian alhaisen lämpötilan vuoksi.

Paikallavalurakentamisen suurin etu on suunnittelun vapaus. Tekniikka sallii rakenteiden vapaan muotoilun. Paikalla valamalla tehtäviä rakenteita on helppo muunnella suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Rakenteellinen jatkuvuus on toteutettavissa, esimerkiksi saumattomilla julkisivuilla. Talotekniikan integrointi on paikallavalurakenteissa helppoa.

Paikallavalettu rakenne on massiivinen ja lämpöä varaava, tiivis, energiatehokas, kestävä, kosteudenkestävä ja kierrätettävissä. Rakennusmenetelmän tehokas hyödyntäminen edellyttää hyvää rakennus- rakenne- ja toteutussuunnittelua. Muottikaluston tekniikka ja tehokkuus vaikuttavat rungon rakentamisominaisuuksiin.



Kuva 23 Kalevan kirkon liukuvalu 1963, lähde: Tampereen kaupunki, kuvaaja: Markku Nieminen

6.1.1 Muotit

Muotin valintaan vaikuttaa rakenteen muoto ja sen mukainen muottikalusto ja mahdolliset vakio-osat ja työvälaineet. Valinnassa otetaan huomioon myös muotin rakenne ja lujuus. Huomioitavaa on myös koottavuus, purettavuus ja mahdollinen uudelleenkäyttö. Myös muotin pinta betonia vasten vaikuttaa haluttuun lopputulokseen ja muotin saumajako. Valinnassa huomioidaan myös muottisiteiden sijoitus ja betonirauhoitus.

Muottien ryhmittelyperusteina käytetään esimerkiksi muottimateriaalia, muottiyksikön kokoa, käyttökertojen lukumäärää, rakennuskohdetta, rakenneosia ja muotituksen tukisuuntaa. Tukisuunta on merkittävin muottien rakenteisiin vaikuttava asia. Muotin osien mitoitus, muotoilu, rakenne ja erityispiirteet riippuvat muottijärjestelmästä.

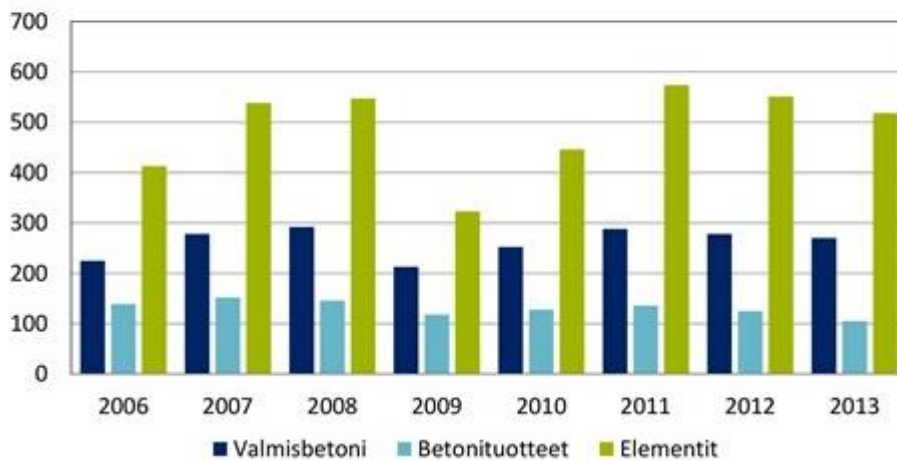
Pystyrakenteissa käytettäviä muottijärjestelmiä ovat mm. yleensä kertakäyttöiset lauta- ja levymuotit. Suuremmissa valuissa hyödynnetään suurmuotteja, jotka ovat kahden eri muottipinnan muodostavia rakenteita. Työmaan kaikki pystyrakenteet, esimerkiksi matalat ja korkeat seinät, porrashuoneet, hissikuilut, väestönsuojat sekä neliö- ja suorakaidepilarit, voidaan tehdä samalla järjestelmämuotilla. Näin saadaan kohteeseen sopiva, helposti muunneltava muottikalusto. Kaarevat rakenteet voidaan tehdä järjestelmämuotilla murtoviivamuottina. Pilareille on myös omat muotinsa, jotka voidaan valmistaa esimerkiksi sahatavarasta tai teräksestä.

Esimerkiksi holvit ja siltojen kannet tehdään vaakarakennemuoteilla. Kannatinpalkkijärjestelmä soveltuu hyvin monimuotoisiin tiloihin. Se on erittäin kevyt ja nopea käsitellä, ja siinä on vähän erilaisia osia. Järjestelmän käyttö on kalustoa säästävää. Holvikasettijärjestelmää käytettäessä ei tarvitse suurta nostokalustoa. Parhaiten holvikasettijärjestelmä soveltuu suorien laattojen valamiseen. Liitteessä 2 on havainnollistavia kuvia erilaisista muoteista.

6.2 Elementtirakentaminen

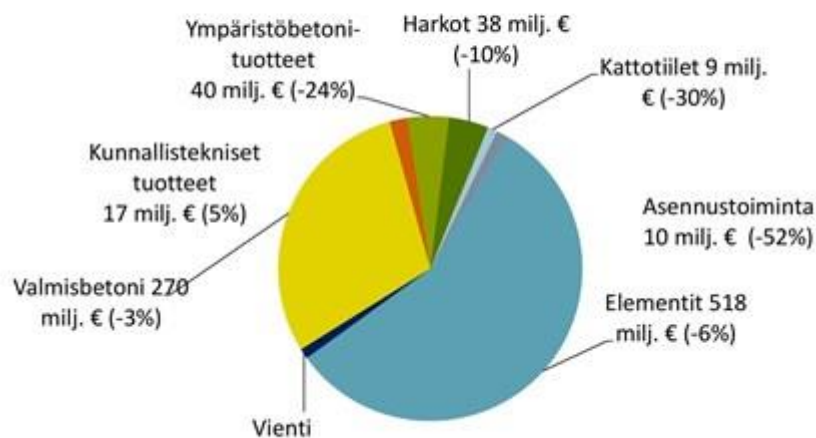
Suomen yleisin tapa toteuttaa monikerroksisia rakennuksia ja teollisuusrakennusten ja varastorakennuksien runkoja on elementtirakentaminen. Myös esimerkiksi julkisivurakentamisessa hyödynnetään betonielementtejä. Elementtiteollisuus on merkittävä betonteollisuuden haara ja kattaa suuren osan betonirakentamisesta (kuviot 3 ja 4).

Betoniteollisuuden kotimaan liikevaihto vuosina 2006-2013 (pl. asennustoiminta)



Kuva 24 Kuvio 3: Betoniteollisuuden liikevaihto, lähde: Rakennusteollisuus

Betonielementtiteollisuuden kotimaan toimitukset tuoteryhmittäin vuonna 2013



Kuva 25 Kuvio 4: Betonielementtiteollisuuden toimitukset lähde: Rakennusteollisuus

Elementtien suunnittelussa hyödynnetään elementtijärjestelmiä. Teollisella järjestelmä-rakentamisella pyritään nopeaan ja taloudelliseen kokonaistoteutukseen. Järjestelmiä on olemassa suljettuja järjestelmiä, jotka ovat yksilöllisesti suunniteltuja ja yhteen sopimattomia muiden järjestelmien kanssa. Suljetut elementtijärjestelmät ovat yleensä yritys-kohtaisia.

Teollisen rakentamisen merkittäviä tapahtumia oli 1970-luvulla BES asuinrakentamisen elementtijärjestelmän kehittäminen ja siihen liittyvän RunkoBES toimitilarakentamisen järjestelmän kehittäminen 1980-luvulla. BES-järjestelmä on avoin järjestelmä jossa eri tehtaistakin tilatut elementit sopivat yhteen. BES-järjestelmän mahdollistivat yleinen mittajärjestelmä ja vakoidut liitokset.

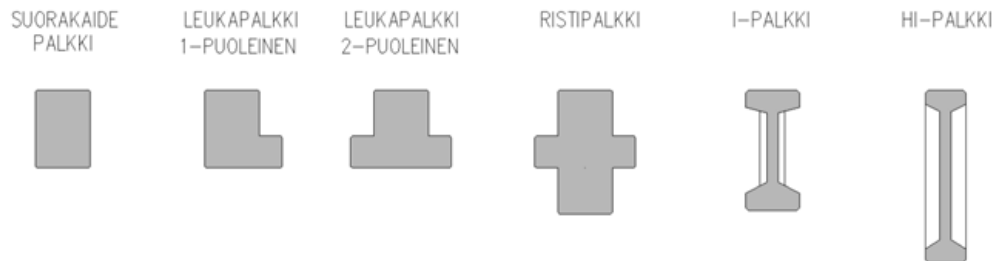
Valmisosarakentamisen eduksi voidaan luetella tarkkaan suunniteltu toteutus, itsenäiset tuoteosatoimitukset, tarkan aikataulusuunnittelun mahdollistaminen, kokonaisuuksien hallitseminen, integroitu rakentamisprosessi ja lyhempi rakentamisaika. Elementtiteollisuuden työpaikat ovat teollisia ja työskentely tapahtuu sisätiloissa. Elementtien toteuttaminen on materiaalitehokasta ja työmaatoiminnot vakioituja. Suunnittelua tehdään nykyään yhä enemmän tietomalliohjelmilla.

6.2.1 Elementit ja muottijärjestelmät

Elementtejä on rungolle ja julkisivuille ja lisäksi erityiselementtejä, esimerkiksi hormitai talotekniikkaa sisältävät elementit. Runkoelementeillä voidaan rakentaa koko rakennusrunko. Elementit valmistetaan sisätiloissa ja kuljetetaan työmaalle, jossa rungon pystytys tapahtuu. Suomessa kehitettiin vuosina 1968-70 BES-elementtijärjestelmä asuinrakentamista varten. Se perustuu kantaviin pääty- ja väliseiniin ja ei-kantaviin sandwich-ulkoseiniin ja välipohjina käytettäviin pitkälaattoihin. 80-luvulla standardisointia jatkettiin Runko-BES-aineistolla, joka oli tarkoitettu toimitila- ja teollisuusrakentamiseen.

Seinäelementtejä käytetään esimerkiksi ulkoseinän sisäkuorena, väliseininä tai kellareissa maanpaineeseininä. Sandwich ulkoseinäelementit ovat yleisiä kerrostalorakentamisesta. Sandwich elementissä kahden betonikuoren välissä on eriste. Elementtejä voidaan tehdä joko raudoitettuna tai raudoittamattomana. Elementtipilarit toteutetaan yleensä suorakaiteen muotoisina tai pyöreinä. Kuvassa tuotettavien elementtipalkkien mahdolli-

sista poikkileikkauksista (kuva 26). Elementtilaattarakentaminen on paikallavalurakentamiseen nähden nopeampaa, sillä elementtilaatat vähentävät tuentojen tarvetta ja muotityö tapahtuu tehtaalla. Kuvassa 27 esitetään erilaisia elementtilaattarakenteita. Myös portaita ja parvekkeita valmistetaan betonielementteinä.



Kuva 26 Palkkien poikkileikkauksia lähde: elementtisuunnittelu.fi



Kuva 27 Laattojen poikkileikkauksia lähe: elementtisuunnittelu.fi

Suomessa esimerkiksi Elpotek valmistaa talotekniikkaelementtejä, joita käytetään kerrostalojen LVIS-putkistoasennuksissa. Elementtejä käytettäessä myös talotekniikan nousuputkistot valmistuvat samanaikaisesti runkorakentamisen kanssa. Elementtirunko putkiston ympärillä mm. eristää putkistojen ääntä ja elementtien hyödyntäminen nopeuttaa rakentamista. Talotekniikkaelementin käyttäminen yleensä säästää tilaa, sillä se mahtuu pienempään tilaan, kuin paikalla asennettu putkisto tukirakenteineen ja eristeineen. Suurin tilansäästö saavutetaan kun hormielementti on tehty osaksi seinää.



Kuva 28 Talotekniikkaelementti, lähde: Elpotek Oy



*Kuva 29 Julkisivuelementtien valmistusta
lähde: Betoni, perustietoa arkkitehtipiskelijälle*

Betonin valmistus ja valuprosessi on helpompi hallita sisätiloissa. Elementit valetaan tehtaassa muotteihin, jotka ovat yleensä teräsrakenteisia ja muottipintana toimii teräs tai muottivaneri. Kiintomuottijärjestelmässä julkisivuelementtien muotit ovat kiinni vakiopaikoilla tehtaan lattiassa. Siirtomuottijärjestelmässä kaikki muotteja voi liikutella, nostaa pystyyn, puhdistaa, valaa, jälkihoitaa ja purkaa keskitetysti.

Elementtien varastointi ja kuljetus pyritään hoitamaan siten, ettei elementti vaurioituisi. Elementin kokoon vaikuttaa kuljetuskalusto, maanteiden korkeusrajoitukset ja asennuskaluston nostokyky.

Elementit asennetaan asennussuunnitelman mukaisesti, jonka on laatinut suunnittelija. Asennuksen aikana elementit tuetaan väliaikaisesti ja tehdään tarvittavat kiinnitykset ja valetaan saumavalut. Elementtien asennuksen viimeistelyssä poistetaan mahdolliset nostolenkit ja täytetään esimerkiksi asennuksien edellyttämät varauskolot.

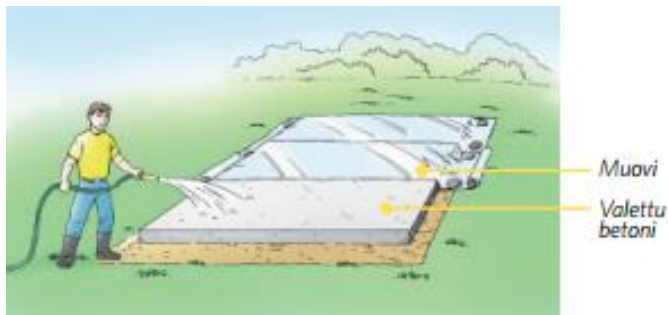
6.3 Muut betonituotteet

Betonia käytetään monenlaisissa rakentamisen tuotteissa. Esimerkiksi betoni soveltuu putkien, kaivon renkaiden ja vesisäiliöiden materiaaliksi. Betonista valmistetaan myös harkkoja ja kattotiliä. Betonia voidaan käyttää myös pihakivissä, laatoissa sekä muuri- ja reunakivissä.

7 Betonin käsittely työmaalla

7.1 Haasteet

Betonin käsittelyssä ja valussa työmaalla suurimmat virheet vältetään huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella ja osaavalla työvoimalla. Yksi valuun liittyvistä ongelmista on muottien kestävyys. Muotin huonolaatuinen valmistus tai asennus voi saada muotin hajoamaan kesken valun. Betonin tiivistyksessä haasteeksi muodostuu tiivistyksen oikea voimakkuus. Heikko tiivistys jättää betoniin ilmataskuja, liian voimakas taas saattaa hajottaa betoni muotin.



Kuva 30 Betonin jälkihoito, lähde: Rudus Oy

Lattiavaluissa betonin pinnan saaminen laadultaan hyväksi saattaa aiheuttaa haasteita. Esimerkiksi liian aikaisin tehty hiertotyö aiheuttaa sementtiliiman nousemisen päällimmäiseksi pintaan, jolloin lattia ei välttämättä kestä sille suunniteltuja rasituksia, esimerkiksi pyöräkuormitusta. Jälkihoidon merkitys betonivaluissa korostuu. Lämpimänä aikana liiallinen kuivuminen aiheuttaa halkeilua betoniin. Tämän estämiseksi valu on suojattava aurinkoa vastaan tiiviillä suojalla tai kastelemalla sitä kemiallisella jälkihoitoaineella. Erityisesti nopeasti kovettuvat sementtilaadut vaativat huolellisen jälkihoidon.



Kuva 31 Betonointi työmaalla, lähde: Rudus Oy

7.1.1 Betonityöt talvella

Betonin lujuudenkehitysreaktio hidastuu kylmässä. Talvibetonoinnissa on tärkeintä pitää yllä riittävää lämpötilaa betonivalulle kovettumisen varmistamiseksi. Betonin lämpötilan on pysyttävä nollan yläpuolella, jotta se saavuttaisi muotinpurkukovuuden kohtuullisessa ajassa. Betonin varhaisesta jäätymisestä voi seurata vaurioita ja sisäistä rapautumista.

Lämpötila	Huomioita
> +60 °C	Seurauksena lujuuskatoa ja säilyvyyden heikentyminen. Lujuuskadon määrä selvitetään ja otetaan huomioon.
+50...60 °C	Yhden vuorokauden lujuudet nousevat, mutta valmiin betonin lujuusominaisuudet saattavat kärsiä (lujuuskato).
+30...40 °C	Betonimassan suositeltava kovettumislämpötila.
+20 °C	Betonin tavoitelujuus saavutetaan n. 28 vrk:n kuluttua.
+5 °C	Betonilla ei ole havaittavaa lujuutta vielä yhden vuorokauden iässä.
< 0 °C	Betonin lämpötilan laskiessa alle 0 °C:n lujuudenkehitys käytännössä lakkaa. Betonissa oleva vesi alkaa jäätymään.
-10...-15 °C	Lujuudenkehitys pysähtyy käytännössä katsoen kokonaan. Jäätäneellä betonilla saattaa olla valelujuutta.

Kuva 32 Taulukko 4 Betonin lujuuden kehitys eri lämpötiloissa, lähde: Talvibetonointikirja

Talvibetonointi mahdollistaa betonirakentamisen kylmissä olosuhteissa. Oleellista on, että betoni saavuttaa riittävän lujuuden, ennen kuin se jäätyy. Betonivalu on tärkeää suojata lumelta ja jäältä. Valetun betonin lämmitystä on jatkettava riittävän kauan, jotta betoni saavuttaa jäätymislujuuden. Jäähtymistä on hallittava, jotta pinnan ja sisäosien välinen lämpötilaero ei rikkoisi rakennetta. Myös liiallista lämmitystä on varottava, sillä se aiheuttaa lujuuskatoa.

Keinoja talvella betonoimisen onnistumiseen ovat kuumabetonin käyttö (tehtaalla tiettyyn lämpötilaan lämmitetty massa 40°C), muottien kunnollinen suojaus, lämmöneristysten käyttö tai säteilylämmitys. Massan lujuuden kehitystä ja lämpötilaa on seurattava tarkemmin kuin kesällä valettaessa. Pieniin valuihin esimerkiksi saumoihin voi hyödyntää pakkasbetonia, joka sisältää veden jäätymistä estävää lisäainetta.

7.2 Työturvallisuus

Betoni on materiaalina alkalinen eli emäksinen, joten se on syövyttävä ja saattaa ärsyttää ihoa ihokosketuksessa. Betoni saattaa aiheuttaa myös ihon herkistymistä ja pitkäaikaisessa kosketuksessa kuivumista ja halkeilua iholle. Betoni saattaa aiheuttaa myös kemiallisen palovamman iholle, useita tunteja altistuksen jälkeen. Jossain tilanteissa iho saattaa reagoida betonin osa-aineiden kanssa niin, ettei kemiallisen palovamman aiheuttamaa reaktiota saada rauhoitettua ja iho alkaa kuoriutua yhä laajemmalla alueella. Ihon betonimassaan reagoiminen on yksilöllistä ja riippuu myös betoniin käytettävistä sidosaineista.

Betonimassa ja kuivuneesta betonista irtoava betonipöly voivat aiheuttaa ärsytystä silmille ja limakalvoille. Tuoreen betonimassan joutumista silmiin tai iholle, esimerkiksi valuroiskeista, tulee varoa. Betonipölyn hengittämistä tulee välttää. Jos betonia joutuu silmiin, on vaarana vakava silmävaurio. Betoniroiskeet silmistä on huuhdeltava välittömästi vedellä n. 15min ajan ja mentävä lääkäriin. Jos työvaatteet ovat kastuneet betonista, on ne välittömästi vaihdettava ja iho pestävä puhtaalla vedellä. Jos tuore betoni on aiheuttanut iholle ärsytystä, esimerkiksi kirvelyä tai punoitusta, on hakeuduttava lääkärin hoitoon, jotta mahdollinen reaktion leviäminen saadaan estettyä.

Nämä vaaratekijät pystytään välttämään oikeanlaisella suojautumisella.. Betonia käsitellessä on käytettävä henkilökohtaisia suojaimia, kuten turvalaseja, käsineitä ja työmaalla leukahihnallista kypärää, kuulosuojaimia ja turvajalkineita. Betonitöissä on käytettävä pitkälahkeisia housuja, joiden lahkeet tulevat saappaiden/turvasaappaiden päälle. Suojavaatetuksen on oltava materiaaliltaan tukevaa puuvillakangasta tai vastaavaa ja jalkineina saappaat tai turvasaappaat.



Kuva 33 Turvavaatetus betonitöissä lähde: Rudus Oy

8 Aikaa kestävä betonirakenne

8.1 Laadunvalvonta

Betonirakenteen kelpoisuuden varmistamiseksi suoritetaan laadunvalvontaa. Betoniasemalla valvotaan massan ja valmistuksen laatua. Massan laatua seurataan mm. ottamalla koekappaleita betonimassaeristä. Koekappaleesta tarkistetaan mm. että massa vastaa suunniteltua lujuutta. Koekappale valetaan muottiin, joka kuivumisajan jälkeen puretaan ja koekappaleesta mitataan sen kestävä lujuus kuormituskokeella.



Kuva 35 Koekappaleen muotti



Kuva 34 Koekappaleita muoteissa



Kuva 36 Koekappaleiden käsittelyä



Kuva 37 Kuormituskokeeseen valmiita kappaleita

Betonin valmistuksesta, betonoinnista ja sen jälkeen tapahtuvasta käsittelystä tehdään muistiinpanoja, joiden avulla voidaan jälkeenpäin selvittää työnsuorituksen tapahtumat. Yhteiskunta valvoo rakennusvalvontaviranomaisen tai riippumattomien tarkastuselinten avulla betonirakentamista. Suunnittelun, työn suorituksen ja materiaalien tulee täyttää asetetut vaatimukset. Betonirakentamisen on oltava ”hyvän rakennustavan” mukaista.

Rakenteiden valmistuksen laadunvalvonnassa tarkistetaan muotit ja muottirakenteet. Raudoituksia tarkastellessa tarkastetaan myös betonipeitteen riittävä paksuus ja riittävä tehollinen korkeus. Laadunvalvonnassa kiinnitetään huomiota myös betonointimenetelmiin, tiivistämiseen ja jälkihoitoon. Betonielementeillä rakennettaessa laadunvalvonta kiinnittää huomionsa elementtien kuljetukseen, asennukseen ja saumaukseen.

Valmiin rakenteen tai sen osan poiketessa suunnitteluasiakirjoista, ohjeista tai määräyksistä on sen laatu epätydyttävä. Poikkeamia voi esiintyä betonin tai raudoittemateriaalin laadussa tai itse raudoituksessa. Puutteellisuuden aiheuttama virhe on voinut tapahtua myös betonitöiden suorituksessa. Virhe voi olla myös käytettävissä olevissa tiedoissa rakenteesta. Jossain tapauksessa suunniteltu rakennekokonaisuus voi olla puutteellinen.

Jos poikkeamia havaitaan, tehdään tilanteen vaatimassa laajuudessa selvitykset rakenteen tilasta ja tarkastuslaskelmat. Tarkastuslaskelmalla selvitetään onko vioilla merkitystä rakenteen varmuuteen. Rakenne tarkistetaan uudelleen ja selvitetään tarvittaessa onko rakenteessa halkeamia ja missä raudoitukset sijaitsevat. Rakenteesta selvitetään myös onko tapahtunut betonointivirheitä. Rakenteelle tehdään tarvittaessa uudet koe-kuormitukset ja tiivistyskokeet ja selvitetään betonin laatu. Saatujen tulosten perusteella kartoitetaan toimenpiteet poikkeaman korjaamiseksi.

8.2 Vaurioiden korjaaminen ja ennaltaehkäisy

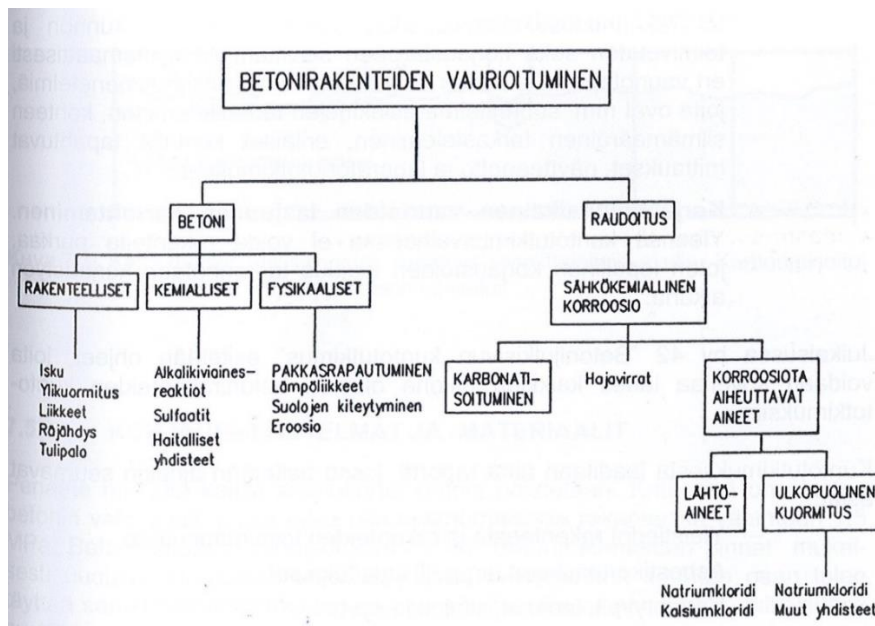
Betonirakenteen korjaushankkeen käynnistää yleensä rakenteen näkyvä vaurioituminen. Korjaustarvetta tulisi tosin selvittää jo ennen näkyvien vaurioiden ilmenemistä kuntotutkimuksella, koska silloin olisi mahdollista hidastaa vaurioitumista suojaustoimenpiteillä. Betonirakenteiden korjaamisessa eritellään toisistaan korjausperiaatteet ja korjaustavat. Korjausperiaatteet määräytyvät sen mukaan, miten korjauksen halutaan vaikut-

taa rakenteen fysikaaliseen toimintaan ja toimivuuteen. Korjaustavat edustavat käytännön korjaustapoja. Ennen korjausta selvitetään vaurion syy, käyttöikätaavoite, huoltotarve ja laatutaso, jolle korjauksella halutaan päästä.

Korjausperiaate	Korjaustapa
Säilyttävä korjaaminen	Impregnointi Pinnoittaminen Ylitasoitus Laastipaikkaaminen Valukorjaaminen Halkeamien imeyttäminen, sulkeminen tai injektointi
Muuttava korjaaminen	Rakenteen pinnan verhoilu (käsittää yleensä myös lisälämmöneristämisen) Ruiskubetonointi Rakenteen vahvistaminen (eri tapoja)
Rakenteen uusiminen	Rakenteen purkaminen ja uudelleen rakentaminen joko kokonaan tai osittain
Erikoismenetelmät	Uudelleenalkalointi (sähkökemiallinen ja passiivinen) Katodinen suojaus Sähkökemiallinen kloridien poisto Inhibointi

Kuva 38 Taulukko 5 Korjausasteen ja korjauskäsittelyn mukainen korjaustapajaottelu, lähde: BY 41 (lisää aiheesta)

Betonirakenteiden vauriot jaetaan alkuperänsä perusteella: valmistusaineista ja suunnittelusta johtuviin vaurioihin ja virheisiin, valmistusmenetelmistä johtuviin virheisiin, käytöstä, rasitusolosuhteista ja katastrofitilanteista johtuviin vaurioihin ja suunnitteluvirheisiin rakenneosien liitoksissa. Merkittävimpiä rasituksia betonille aiheutuu vedestä ja pakkasesta, vaihtelevista lämpötilaolosuhteista, kosteusolosuhteista, ilman hiilidioksidista ja ympäristöstä tulevista klorideista.



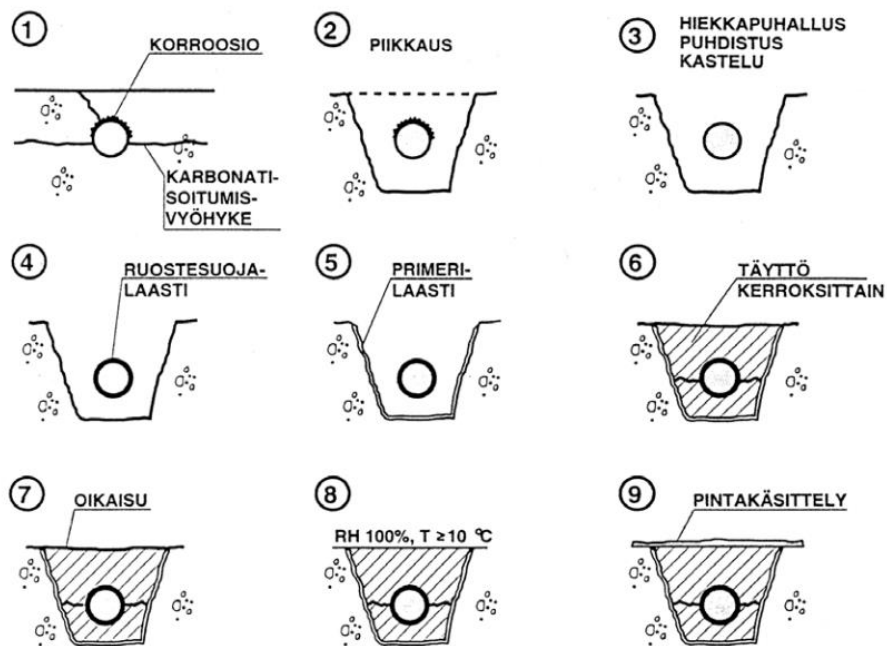
Kuva 39 Teräsbetonirakenteen vauriot lähde: BY 201

Julkisivuun kohdistuvat rasitukset voivat aiheuttaa betonipinnan kutistumista, mistä johtuen pinta voi käyristyä. Betonipinnassa esiintyviä näkyviä halkeamia on voinut syntyä mekaanisista törmäyksistä, lämpö- ja kosteusliikkeistä, korroosiosta tai betonin rapautumisesta. Uttoilmiossa vesi liuottaa betonin sisältämää kalsiumhydroksidia, joka näkyy betonipinnassa kalkkisaostumina. Sementtipastan reaktiotuotteena voi syntyä valkoista härmettä betonipintaan. Reaktio hidastuu vähitellen, muttei lopu kokonaan. Härmettä voidaan poistaa pinnasta laimeilla happoliuoksilla.

Betonipintaa pitkin valuva hapanta sadevesi liuottaa ja huuhtoo julkisivun pastapintaa ja paljastaa kiviaineita. Pastapinta huuhtoutuu vähitellen 10–20 vuodessa. Alkuperäisen vaikutelman säilyttämiseksi pinnan kiviaineksen ja sideaineen väri kannattaa valita läheltä toisiaan. Betoniin imeytyvä sadevesi saa sen näyttämään tummemmalta ja valuva vesi saattaa tehdä pintaan raitoja liuottamalla likaa pois uomakohdistaan. Räystäät ja pellitykset ehkäisevät veden valumista seinärakenteiden pinnoilla.

Betonirakennusten kosteusongelmat voivat näkyä päällysrakenteiden kupruilemisena tai maalin hilseilyinä. Kostuneella betonilla on myös ominaishaju, jonka tunnistaminen rakennuksessa voi kertoa kosteusvauriosta. Kosteusvaurioiden korjaamisen tärkein tavoite on ongelman aiheuttajan poistaminen.

Betonirakenteita korjattaessa vaurioitunut materiaali pyritään ensisijaisesti poistamaan. Korjauksessa käytetään korjausmassoja sekä paikkausbetoneita ja -laasteja. Vaurioitunut rakenne voidaan paikata betonoimalla, injektoinnilla tai käyttämällä ruiskubetonia. Ruostuneita raudotteita korjattaessa raudoite paljastetaan, puhdistetaan, ruostesuojataan ja peitetään uudelleen. Myös betonipaikkauksia tehtäessä jälkihoidon merkitys korostuu.



Kuva 40 Laastipaikkauskorjauksen työvaiheet lähde: *Betoni -perustietoa arkkitehtipiskelijälle*

9 Betonipinnat ja pinnoitteet

Betonin ulkopinta on rakenteen näkyvä pinta ja sen ulkonäöllä on huomattava merkitys koko rakenteen ulkonäköön. Käsittelemättömän betonipinnan väriin vaikuttavat muottipinnan laatu ja puhtaus, sideainetyyppi, hienon runkoaineuksen väri ja betonin vesi-sementtisuhte. Mitä pienempi vesi-sideainesuhde on, sitä tummempaa on betonin pinta. Paljon vettä sisältävän betonin pintaan voi muodostua härmettä, mikä tekee valmiista rakenteesta laikukkaan.

Puhdasvalupinnalla tarkoitetaan hyvänlaatuista betonipintaa. Raakavalupinta sitä vastoin on betonipinta, jolle ei ole asetettu kovin korkeita ulkonäkövaatimuksia ja se jää usein piiloon rakenteessa. Sileävalupinnalla viitataan haluttuun muottimateriaaliin, esim. vaneriin. Puhdasvalupinnan väri vaihteluita hallitaan pitämällä materiaalit, työmaaolot ja työtavat mahdollisuuksien mukaan samoina.

Kovettuneen ja tuoreen betonin rajapintaan syntyy ns. työsauma. Työsaumat pyritään suunnittelemaan rakenteellisesti ja ulkonäöllisesti edullisiin paikkoihin rakenteessa. Valusaumakohtaa voidaan häivyttää esimerkiksi saumalistalla.

Elementtirakentamisessa elementtien saumat vaikuttavat ulkonäön lopputulokseen. Saumausvaihtoehtoja ovat esimerkiksi avosauma, kittisauma ja nauhasauma. Saumaa voidaan käyttää julkisivusuunnittelussa arkkitehtonisena keinona, tai se voidaan pyritä häivyttämään osaksi julkisivua. Myös valesaumoja on käytetty elävöittämään betonijulkisivua. Lisätietoa betonipinnoista löytyy kirjasta BY40 2003 Betonirakenteiden pinnat.

9.1 Pinnat

9.1.1 Muottia vasten valetut pinnat

Muottia vasten valetun pinnan ulkonäköön vaikuttaa ratkaisevasti muotin pintamateriaali. Myös betonin ominaisuudet vaikuttavat syntyvään pintaan. Esimerkiksi itsetiivistyvä betoni toistaa tavallista betonia paremmin muottipinnan kuvion. Muottipinnan valinnalla voidaan vaikuttaa betonipinnan tekstuuriin ja värisävyyn. Mitä karkeampi muottipinta on, sitä tummemman efektin se saa aikaan betonipinnalle. Sahatavara muotti on perin-

teinen ratkaisu paikallavalurakentamisessa. Lopputulokseen vaikuttavat sahauksen jälki, valittu puulaji, muottipinnan höylääminen ja pinnan oksaisuus.



Kuva 41 Sahatavaramuottia vasten valettu pinta Hotelli Mesikämmenessä Ähtärissä

Erilaiset puulevyt esimerkiksi vanerit ovat yleisesti käytettyjä muottimateriaaleja. Vane-
rimuottilevyt ovat yleensä pinnoitettuja, käyttökertojen lisäämiseksi, ja niitä hyödynne-
tään niin muottijärjestelmissä, kuin pienissä paikalla koottavissa muoteissa. Pinnoitta-
maton vaneri imee runsaasti vettä, mikä voi haitata betonin hydrotaatiota. Esimerkiksi
pinnoittamatonta koivuvaneria muottimateriaalina käytettäessä ensimmäisissä valuissa
pinta ei sitoudu kunnolla koivun sisältämän sokerin takia.

Teräsmuoteilla saadaan aikaan yhtenäisiä sileitä betonipintoja. Teräsmuotit ovat yleisiä
elementtirakentamisessa. Teräsmuottipintaa käytettäessä riskeiksi muodostuvat ruoste ja
erilaiset muotin käsittelyvirheet, kuten kolot tai hitsausjäljet.

Muottipinnan päällä käytettävällä muottikankaalla saadaan aikaan valuhuokosettomia
betonipintoja. Kankaan huokosverkosto johtaa betonia täryttäessä pintakerroksesta pois
ilmaa ja jonkin verran vettä. Muottikangas parantaa pinnan tiiveyttä ja säilyvyysomina-
isuuksia. Tuloksena betonipintaan syntyy kangasmainen kuvio, josta voi tulla pintaan
kirjavuutta. Muottikankaan käyttö vaatii aina ennakkokokeita, joilla selvitetään ratkai-
sun toimivuus käytännössä.

Jos betonin pintaan halutaan voimakasta kuviota, voidaan valupintaa vasten laittaa
muottiin kumi. Kumi materiaalina soveltuu pienille usein toistuville pinnoille. Isossa
yksittäiselementissä se ei ole kovin taloudellinen ratkaisu. Betonipinnan kuviointiin
voidaan käyttää myös kuviopinnoitemattoja.

Muotteja käytettäessä suositellaan käytettävän muotiniirrotusainetta, jolla pyritään estämään sekä muotin että betonipinnan vaurioituminen. Sopivan muotiniirrotusaineen valinnalla voidaan myös vähentää betonin huokoisuutta. Muotiniirrotusaineita käytettäessä betonipinnasta tulee hieman vaaleampaa.

Liitteessä 3 on esitelty kuvia muottia vasten valetuista pinnoista.

9.1.2 Tuoreena käsitellyt pinnat

Hierrettyjä pintoja käytetään monissa eri rakennuksen osissa, esimerkiksi seinissä ja lattioissa. Teräshiertoa käytetään esimerkiksi paljaiksi jätettävissä pinnoissa teollisuusrakennuksissa ja toimistoissa maalattavissa pinnoissa. Puuhierrettyjä pintoja käytetään esimerkiksi ulkotasoissa ja sokkeleissa. Telauksella, sienihierrolla tai töpöttämällä saadaan aikaan rapatun näköinen ulkopinta. Talaus teräshierron jälkeen tekee pinnasta yhdenmukaisemman ja himmeämmän.

Pesubetonipinnan väri aikaansaadaan kiviaineksella. Betonin pinta voidaan pestä kokonaan tai osittain ja eri syvyyksiin halutun pinnanmuodon aikaansaamiseksi. Pesubetonitekniikalla pintaa voidaan myös kuvioda. Pesubetonia käytetään julkisivuissa ja sisätiloissa esimerkiksi odotusauloissa. Pestyllä betonipinnalla tarkoitetaan yli 2mm syvyyteen pestyä pintaa. Hienopestyksi pinnaksi kutsutaan pintaa, jonka pesu ulottuu alle 2mm syvyyteen.

Harjattu pinta on edullinen ratkaisu ja sitä hyödynnetään esimerkiksi julkisivuissa tai betoniteissä estämässä liukkautta. Kevyttä harjausta voidaan käyttää myös maalattavien pintojen käsittelymenetelmänä.

Liittessä 3 on esitty kuvia erilaisista tuoreena käsitellyistä pinnoista.

9.1.3 Kovettuneena käsitellyt pinnat

Betonipintaa käsiteltäessä pintaan jää aina näkyviin jonkin verran materiaalin sideainetta, mikä antaa betonirakenteelle sen ominaisen, kivirakenteesta poikkeavan pinnan.

Hiekkapuhallus poistaa sementtikiveä ja paljastaa lisää huokosia. Kevyt puhallus poistaa pinnan kiillon ja kovalla puhalluksella saa sementtiliiman pois lähes kokonaan, jolloin pintaan jää yksittäiset kivirakeet.

Kemiallisia pintakäsittelyjä ovat patiointi ja happopesu. Happopesussa vedellä kyllästetty betonipinta käsitellään hapolla ja sen jälkeen huuhdellaan runsaalla vedellä. Käsittely poistaa sementtiliimaa ja paljastaa kiviaineksen.

Betonin pinnan voi käsitellä myös hiomalla, hakkaamalla tai lohkoamalla. Kovettuneen betonipinnan hiomisella haetaan mosaiikkimaista vaikutelmaa, joka muodostuu kiviaineksen leikkautuneista pinnoista. Pintaa hakkaamalla tai lohkoamalla rakenteeseen haetaan karkeampaa jälkeä. Hakkauksen voi tehdä käsin tai koneellisesti. Valettua profiilia rikotaan kovettumisen jälkeen.

Tadao Ando pinta on saanut nimensä kehittäjänsä japanilaisen arkkitehdin Tadao Andon mukaan. Pinta on tehty erityisellä menetelmällä käsityönä, jonka lopputuloksena on tasalaatuisia samettimaisia pintoja.



Kuva 42 Tadao Ando Church of Light, lähde:Archello

Liittessä 3 on esitelty kuvia erilaisista kovettuneena käsitellyistä pinnoista.

9.2 Pinnoitteet

Pinnoitetta kutsutaan maaliksi kun sen kerrospaksuus on enintään 0,4mm. Yli 0,4mm paksuja pinnoitteita kutsutaan myös paksukalvopinnoitteiksi. Pinnoitteiden ja pinnoiteyhdistelmien käytössä on noudatettava tuotekohtaisia ohjeita. Pinnoitteet muodostavat kuivuessaan tarttuvan ja peittävän pintakerroksen. Pinnoitteena voidaan käyttää esimerkiksi erilaisia maaleja, rappausta tai erilaisia pinnoitusmassoja.

Erilaisia betonipinnassa käytettäviä pinnoitteita ovat kalkkisementtimaalaus, läpikuultava lasuurimaali ja suojakäsittelyaineet. Suojakäsittelyaineena voidaan käyttää esimerkiksi töherryksienestoainetta. Ulkopinnoilta vaaditaan säänkestävyyttä, joten ne voidaan kylläisyyskäsittellä eli impregnoida. Käsittely estää veden imeytymistä ja pinnan tummumista sateella.

Hyvä tartunta syntyy tarpeeksi karkeaan ja tasalaatuiseen pintaan. Pinnoitettavan pinnan tulee olla myös puhdas ja ehjä. Joskus pintoja joudutaan käsittelemään silottamalla, tasoittamalla, pohjustamalla tai karhentamalla, jotta saataisiin aikaan tarpeeksi hyvä tartuntapinta. Tiivis pinnoite voi irrota, jos sen alle on jäänyt kosteutta. Sementtiseidainiset tuotteet taas vaativat kosteutetun alustan. Pinnoite valitaan käyttötarkoituksen mukaan esimerkiksi vesitiiviiksi, kulutuksenkestäväksi tai kosteutta läpäiseväksi.



Kuva 43 Nya Paviljongen, Kauniainen, arkkitehti Tarmo Peltonen. Mastertop –pinnoitettu lattia, jonka pintarakenteeseen on lisätty kuparia ja se on patinoitu jälkeensä. lähde: Betonipallas

9.3 Graafinen betoni

Menetelmässä saadaan kehitettyä pysyvä yksityiskohtainen kuvio betonipintaan, joka voi olla esimerkiksi kuva, teksti, rasteri tai viivasto. Graafisen betonin menetelmän on kehittänyt sisustusarkkitehti Samuli Naamanka vuonna 1997. Graafinen betoni perustuu pintahidastinaineiden levittämiseen erityiskalvon päälle, josta lopputuloksen syntyy kuviopinnoitettu pinta. Pintakuvio syntyy puhtasvalupinnan ja hienopesupinnan välistä kontrastista.



hienopesupinta + puhtasvalupinta = graafinen betoni

Kuva 44 Esimerkki Graafisesta betonista, lähde: Graphic Concrete

Graafisen betonin menetelmää ei voida hyödyntää paikallavalurakentamisessa vaan se on elementtirakenteisten betonituotteiden menetelmä. Tyypillisiä käyttökohteita ovat julkisivut, väliseinät, muurit ja betonilaatat. Graafinen betonipinta tarjoaa suunnittelijalle erilaisen tyylikkään struktuurin betonipintaan.

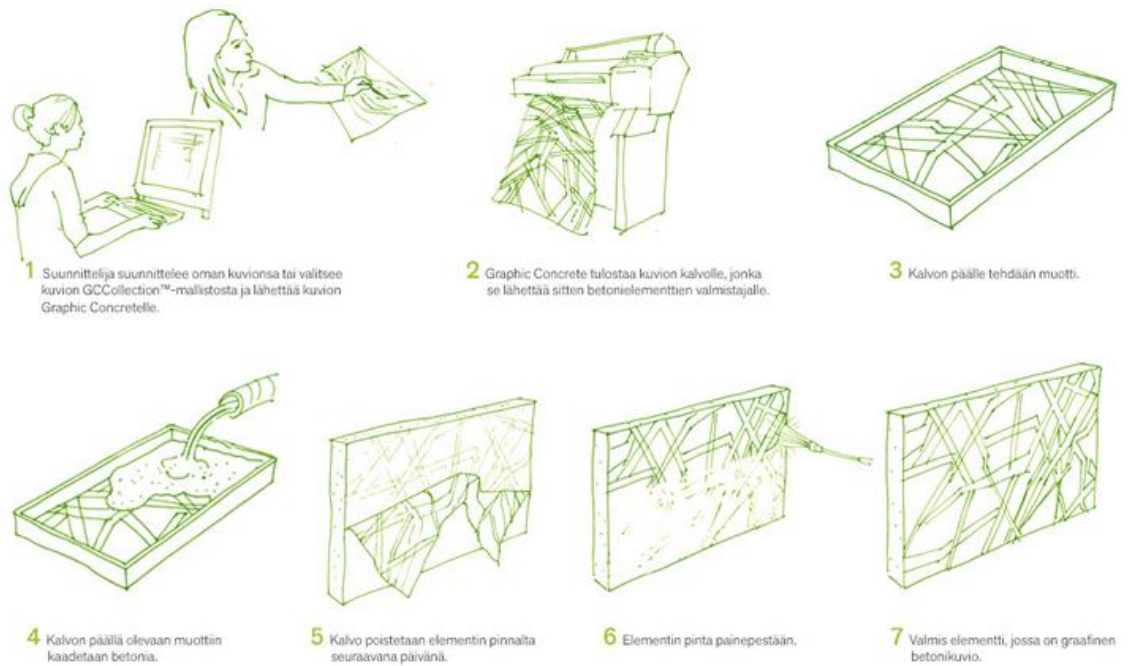
Graafinen betoni-teknologia on patentoitu, mutta menetelmä on koko Suomen elementtiteollisuuden hyödynnettävissä. Menetelmä on kustannustehokas, testattu ja turvallinen, sillä elementtituotannossa käytetään perinteisiä hienopesumassoja ja – prosesseja.

Tavoitteellisen kehitystyön tuloksena suunnittelijat, rakennuttajat sekä elementtiteollisuus ovat ottaneet graafisen betonin yhdeksi merkittäväksi pintavaihtoehdoksi. Vielä 2000-luvun alussa graafista betonia hyödynnettiin lähinnä yksittäisissä taideteoksissa, mutta toistokuvioillisia menetelmällä valmistettuja rasterikuvioita on alettu hyödyntää myös arkkitehtuurissa.



Kuva 45 Kangasalan lukio, Arkkitehti Tilatakomo Oy, 2012 lähde: Graphic Concrete

Tuotantoprosessi



Kuva 46 Graafisen betonin tuotantoprosessi, läde: Graphic Concrete

10 Erikoismassat

Tavallisten rakennebetonien lisäksi on kehitetty ominaisuuksiltaan erikoisbetoneita rakentamisen eri tarpeisiin. Betonimassaa voidaan lähteä muokkaamaan sen mukaan halutaanko siihen esimerkiksi lisää sitkeyttä tai parempaa työstettävyyttä. Erikoisen rakenteen toteuttaminen vaatii tietynlaista massaa, jotta se onnistuisi. Betonimassaa voidaan muokata myös esteettisistä syistä.

10.1 Väribetoni

Yksinkertaisin versio väribetonista on tavallinen betonimassa, johon on lisätty jauhe- maista väripigmenttiä. Tyypillinen pigmentin määrä on 5-20kg betonikuutiota kohti. Massa läpivärjätään pigmentin avulla ja sideaineena värin korostamiseksi voidaan käyttää valkosementtiä. Edullisimmat pigmentit ovat punainen, ruskea, keltainen ja musta. Sininen, vihreä ja valkoinen ovat kalliimpia pigmenttejä.

Värisävyyden ja tummuusasteeseen vaikuttavat betonin vesi-sementtisuhte, lujuusluokka, sementtityyppi, pigmentin laatu ja määrä, kovettumislämpötila ja betonin kosteus. Halutun värisävyn varmistaminen edellyttää ennakkokokeita, joten värjättyä betonia tilatessa olisi tilaus hyvä tehdä betonin toimittajalle noin kaksi viikkoa ennen valua.

Tyypillisiä käyttökohteita väribetonille ovat näkyviin jäävät runko ja lattiarakenteet, sekä piharakenteet. Väribetonilattioita valmistettaessa erikoiskiviaineksilla hiottava pintakerros on valettava erikseen.



Kuva 47 Punapigmentillä värjättyä betonia. lähde: *Betoni, perustietoa arkkitehtipiskelijalle*

10.2 Kuitubetoni

Lähes kaikkiin valmisbetonilaatuihin voidaan sekoittaa betonin valmistuksen yhteydessä muovi- ja teräskuituja. Kuidut sitkistävät betonimassaa. Kuitujen käyttäminen parantaa betonin veto-, taivutusveto-, ja puristuslujuutta. Kuitubetoni on kestävä paremmin kulutusta ja iskuja kuin tavallinen betoni. Lisäksi sen säilyvyys on parempi ja muovikuitubetoni parantaa betonin palonkestävyyttä.

Muovikuituja käytetään yleensä rajoittamaan halkeilua ja massan plastisen vaiheen kuitistumaa. Muovikuidut jaotellaan mikro- ja makrokuituihin. Mikrokuidut ovat paksuudeltaan hyvin ohuita ja makrokuidut vain noin yhden millimetrin luokkaa. Yleisin muovikuitumateriaali on polypropyleenikuitu, jonka pituus on 10...50mm kuitutyypistä riippuen. Muovikuidun määrä betonikuutiossa on yleensä 1-2kg. Muovikuiduilla ei voida korvata raudoitusta. Tyypillisiä käyttökohteita ovat pintalattiat ja kuorimaiset rakenteet, kuten tunnelien seinämät (esim. rantatunneli Tampereella).



Kuva 48 Tunnelityömaalla käytettävää muovikuitua



Kuva 49 Kuidut sekoitetaan betonimassaan tehtaalla omasta siilostaan



Kuva 50 Rakenteellista muovikuitua



Kuva 51 Pienemmät kuitumäärät tulevat säikeissä



Kuva 52 Koekappale jossa on muovikuitua

Teräskuitubetoni pystyy kantamaan kohtuullisia kuormia ja sitä käytetään yleensä maanvaraisissa laatoissa. Käytettävät kuitumäärät ovat yleensä 25-40kg/betonikuutio. Lattian kantavuus kuitenkin perustuu suurelta osin alustan kantavuuteen ja kuitujen halkeilua rajoittavaan vaikutukseen. Maanvaraisia teräskuitubetonilattioita tehdessä tavanomainen rauditus voidaan jättää lähes kokonaan pois. Teräskuitubetonia voidaan käyttää myös kantavissa rakenteissa, mutta se on harvinaista Suomessa.



Kuva 53 Erilaisia teräskuituja, lähde: Rudus Oy

Teräskuitujen pituus on 25...60mm ja halkaisijaltaan ne ovat 0,4-1,05mm kuitutyypistä riippuen. Teräskuidut parantavat betonin vetolujuutta, dynaamisten kuormien kestävyyttä ja sitkeää murtokestävyyttä.

10.3 Muut betonimassat

Saumausbetoni on elementin saumauksiin ja erilaisiin juotoksiin tarkoitettu erikoisbetonilaatu. Hyvin notkea betonimassa täyttää helposti ahtaatkin valukolot. Harkkobetoni on valuharkkojen käyttöön tarkoitettu erikoisbetoni, jota hyödynnetään erityisesti kohteissa joissa kutistumishalkeilu pyritään minimoimaan.

Erilaisten laatoitusten ja reunakivien asennuksessa käytetään hyvin jäykkää maakostea betonia. Ruiskubetoni on erityisesti ruiskubetonointiin suunniteltu betonilaatu, jota käytetään tunnelien ja väestönsuojien seinämien valussa, sekä kallioiden ja kivikoiden vahvistamisessa. Ruiskubetoni voi sisältää muovi- tai teräskuituja.



Kuva 54 Ruiskubetonointia tunnelin suulla lähde: Rudus Oy

Itsestään tiivistyvä betoni on erittäin notkea ja koossapysyvä betonilaatu, jonka nimensä mukaisesti tiivistyy itsestään, ilman erillistä tiivistystä. IT-betonia käytetään erityisesti hankalasti valettavissa tai tiivistettävissä rakenteissa. Esimerkiksi erityisen tiuhaan raudoitettut rakenteet tai ohuet seinämäiset rakenteet sekä saneerauskohteiden täydentävät rakenteet ovat tällaisia rakenteita.



IT-massaa voidaan käyttää valussa myös silloin kun halutaan saada aikaan näyttäviä puhtasvalupintoja. IT-betonilla valettaessa saadaan muottia vasten valetuista pinnoista siistimpiä, tiiviimpiä, tasavärisempiä ja huokosettomampia, kuin tavallista betonimassaa ja valumetelmää käyttäen.

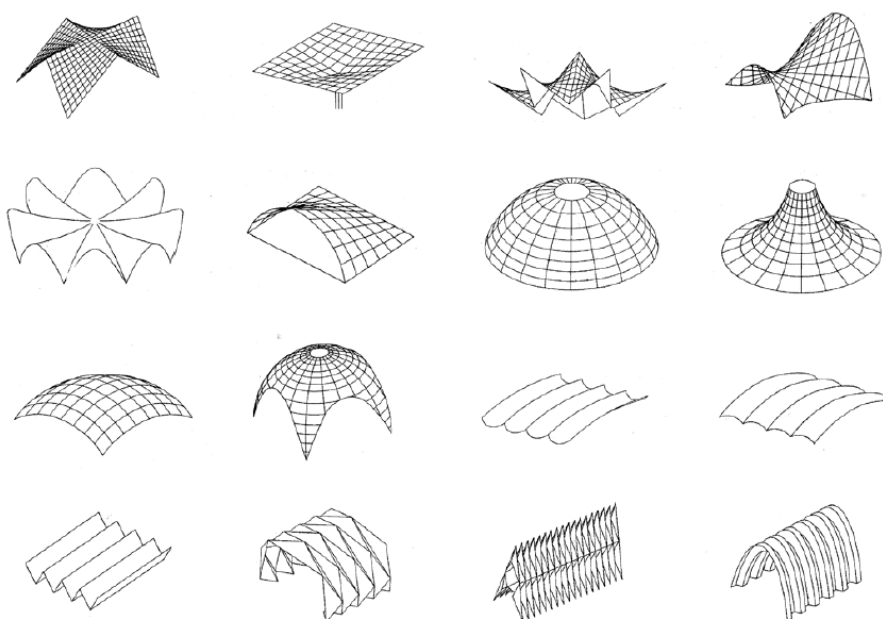
Kuva 55 ITB:lla valettu rakenne, lähde: Rudus Oy

11 Betonirakennusten muotokieli

Betonirakennuksesta saattaa ensimmäisenä tulla mieleen betoniset suoralinjaiset elementtirakenteiset lähiöt. Betoni on muotoiltavuutensa puolesta kuitenkin hyvin monipuolinen rakennusmateriaali. Betonista voi esimerkiksi tehdä suuria ja näyttäviä kuorirakenteita. Betonin plastisuuden ansoista teräsbetonirakennuksiin pystyy toteuttamaan erilaisia kaaria, linjoja ja ”painovoimaa uhmaavia” rakenteita.



Kuva 56 Runosmäki, Turku lähde: © Samuli Lintula / Creative Commons Nimi mainittava-Sama lisenssi 3.0



Kuva 57 Kehä ja kuorirakenteita lähde: *Betoni-perustietoa arkkitehtipiskelijälle*

11.1 Betonibrutalismo

Betonibrutalismo on 1950–1970 -luvuilla kukoistanut arkkitehtoninen tyyliuuntaus, joka syntyi vastareaktiona hillitylle 1930-luvun modernismille. 1930-luvulla vallinnut hillitylle modernismille tyypilliset pelkistetyt rakennukset tasakattoineen ja valkoisine seinineen ihannoivat edistyksellisyyttä, mutta olivat itsessään varsin staattisia. Betonibrutalismo syntyi osittain kansainvälisen modernin tyylin (International style) rinnalle, jossa arkkitehti oli taiteilijan sijasta yhdyskuntasuunnittelija. Betonibrutalismin primitiivisyys oli vastakohta kansainvälisen tyylin tasogeometrialle ja standardoinnille, jossa ajateltiin rakennuksen olevan kone.

Betonibrutalismilla ja uusgotiikalla ja barokilla (1860–1880) on yhteistä tunnelma, pyrkimys johonkin erilaiseen, epäsointuisuus, mielivaltaisuus ja halu ylittää rajoja ja hätkähdyttää vallitsevia käsityksiä hienoista rakennuksista. Tyyliuuntauksiset ovat omalle aikakaudelleen leimallisia. Viktoriaanisen ajan rakennukset ja betonibrutalismin edustajat eivät miellyttäneet aikalaistensa silmää ja sukupolvet, jotka arvostavat tyyliuuntia eivät yleensä ole saman aikakauden kasvatteja.



Kuva 58 Gottfried Böhmin suunnittelema Bensbergin kaupungintalo Saksassa (1962–1969), lähde: YLE/BBC/Francis Hanly

Brutalismin edeltäjänä ja innoittajana toimi natsi-saksalainen sota-arkkitehti Friedrich Tamms, jonka suunnittelemat 2. maailmansodan aikaiset rakennukset olivat betonibrutalistien inspiraation lähteenä. Tamms korosti rakennuksissaan muotoa, ulkonäköä ja

pinnan tekstuureita. Tammsin mielestä käyttökelpoisuuden ajattelemisen esti puhtaan muodon arvostamisen ja hän hyödynsi bunkkereissaan ja linnoituksissaan betonin plastisuutta.



Kuva 59 Friedrich Tammsin suunnittelema toisen maailmansodan aikainen ilmatorjuntatorni Wienissä. lähde: YLE/BBC/Francis Hanly

Brutalistien inspiraationa ovat olleet myös 1900-luvun ekspressionistinen taide ja taitelijat kuten Picasso, jonka mottona oli: Kopioi ketä vain, mutta älä kopio itseäsi (Copy anyone but yourself). Kuitenkin yksi kuuluisimmista modernin arkkitehtuurin edustajista Le Corbusier käytti myös myöhemmän aikansa kerrostaloissaan toistoa. Ekspressionismi on kuitenkin havaittavissa hänen suunnittelemissaan rakennuksissa. Le Corbusier ajatteli rakennuksia koneina ja kutsui rakennuksia asumisyksiköiksi. Le Corbusierin ajatusmallia on kopioitu ympäri maailmaa, myös Suomessa. Le Corbusierin rakennukset istuvat kuitenkin käsitykseen betonibrutalismista, innovatiivisesta arkkitehtuurista ja halusta luoda jotain erilaista ja tunteita herättävää.



Kuva 60 Le Corbusierin suunnittelema Unité d'habitation eli asumisyksikkö Marseilles'ssa, tuttavallisemmin hullu talo (1947–1952), lähde: YLE/BBC/Francis Hanly

Betonibrutalismusia syntyi arkkitehtien minäkuvan muutoksesta 1960-luvulla, kun rakennuksia alettiin ajatella jälleen osana taidetta. Kyky ymmärtää visuaalisia vivahteita ja halu luoda uusia luonnillisia muotoja, ei muotoja jotka istuisivat nykyiseen maisemaan, synnytti betonibrutalismia. Betonibrutalismilla haettiin rakennuksiin voimaa. Rakennusten haluttiin rikkoa luonnonjärjestystä samalla tavalla kuin luonnon omat ilmiöt ja katastrofit, kuten tsunamit, tulivuoret ja rosoiset kalliomuodostelmat. Betonirakennuksista ei haluttu tehdä monotonisia ja yllätyksettömiä, joidenkin mielestä silmää miellyttäviä.



Kuva 61 Brutalistinen asuinrakennuskompleksi Makedonian Skopjessa lähde: YLE/BBC/Francis Hanly

Vaikka brutalismi oli alun perin ruotsalaisen arkkitehdin Hans Asplundin keksimä haukkumasana (nybrutalisim) uudelle modernille arkkitehtuurille, tuli siitä myöhemmin

arkkitehtuurista taidelinjaa kuvaava (neutraali) käsite. Samoin kuin kävi käsitteelle viktoriaanisesta arkkitehtuurista.

11.2 Vuoden betonirakenne

Vuoden betonirakenne -kilpailun järjestää Betoniteollisuus Ry. Palkinto jaetaan vuosittain rakennuskohteelle, joka parhaiten edustaa suomalaista betonirakentamista. Tarkoituksena on tehdä tunnetuksi suomalaista arkkitehtuuria, betonitekniikkaa ja rakentamista.

Ensimmäinen kilpailu järjestettiin vuonna 1970 ja voittajaksi valikoitui arkkitehti Pekka Ilveskosken Näsinneula Tampereella. Myös Tampereen kaupunginkirjasto Metso on palkittu vuoden betonirakenne -palkinolla vuoden 1985 betonirakennuksena. Metson arkkitehteinä toimivat Raili ja Reima Pietilä.

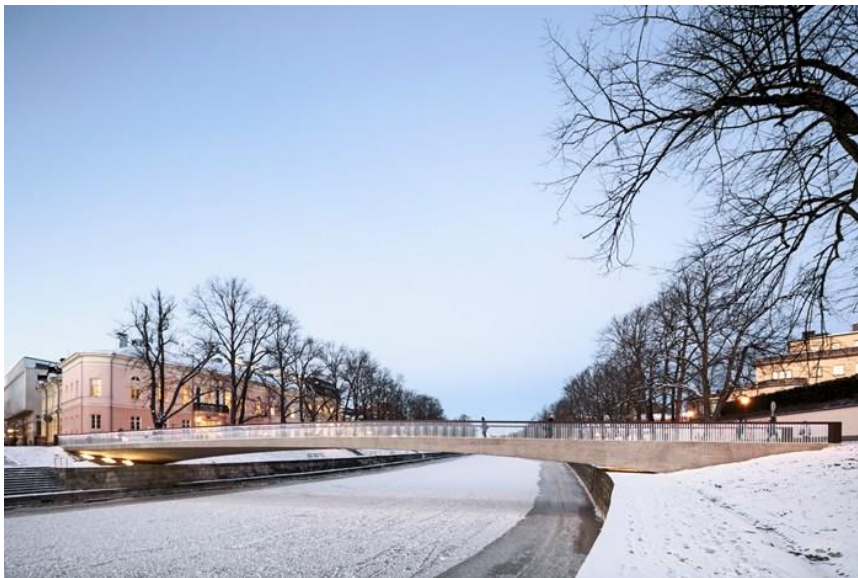


Kuva 62 Kaupunginkirjasto Metso

Vuoden 2013 Betonirakenne on Turun kirjastosilta. Valinnassa kiinnitettiin erityisesti huomiota kohteen vaatimaan suunnitteluun ja laadukkaaseen toteutukseen. Kirjastosilta on raadin mielestä onnistunut, ilmeikäs ja veistoksellinen arkkitehtoninen kokonaisuus. Valinnassa on myös korostettu kaikkien osapuolten toimivaa yhteistyötä.

Turun kirjastosillassa tulevat esiin teräsbetonirakenteiden monipuoliset mahdollisuudet. Rakenteissa korostuvat konstruktiivisuus ja betonin plastisuus ja monoliittisuus. Materiaaleiltaan sillan on suunniteltu sopivan ympäristöönsä ja betonirakenteen omaperäistä S-kirjaimen muotoista linjaa on korostettu hiomalla valoisimmat kylkipinnat sileiksi ja jättämällä varjoisa alapinta karheaksi. Sillan valaistuksen tarkoitus on tuoda sen muoto hyvin esille. Kirjastosilta on erimerkki julkisesta rakentamisesta, missä taitavalla betonin käytöllä on aikaansaatu laadukasta ja kestäväää rakentamista.

Suunnittelutyö perustuu Insinööritoimisto Pontek Oy:n suunnittelukilpailutyöhön. Rakennuttajana siltaprojektissa toimi Turun kaupunki ja arkkitehtisuunnittelu on Teo Tammivuoren ja Hanna Hyvösen.



Kuva 63 Turun kirjastosilta lähde: Betonteollisuus Ry kuvaaja: Tuomas Uusheimo



Kuva 64 Turun kirjastosilta, lähde: Betoniteollisuus Ry kuvaaja: Tuomas Uusheimo

12 Betoni ja kestävä kehitys

Rakennuksen energiankulutuksesta ja päästöistä suurin osa muodostuu rakennuksen käytöstä. 10-15% energiankulutuksesta syntyy materiaalien valmistuksesta ja rakentamisesta. Betonirakenteen massiivisuus ja pitkäaikaiset huoltovälit tekevät siitä ekotehokkaan materiaalin.

Betonin ympäristöpäästöistä merkittävin osa muodostuu sementin polttamisessa. Päästöt koostuvat polttamiseen käytettävän energian päästöistä ja sementin raaka-aineena käytetyn kalkkikiven luovuttamasta hiilidioksidista. Pölypäästöjä nykyaikaisella betonitehtaalla on vähän ja melua aiheutuu satunnaisesti. Teollisuuden melu- ja pölypäästöt aiheutuvat pääasiassa liikenteestä.

12.1 Ympäristön huomioiminen betoniteollisuudessa

Sementin valmistuksessa ollaan tullut tietoisemmaksi päästöjen haittavaikutuksista ja päästöjä on pyritty laskemaan. Kiviainesten ottoaikoissa huomioidaan kestävän kehityksen periaatteet. Ottopaikka valitaan sellaiseksi, jossa on mahdollista toimia pitkäaikaisesti. Siten teollinen tuotanto pystytään toteuttamaan tehokkaasti ja minimoimaan ympäristövaikutuksia, kun uusia kiviaineksen ottopaikkoja ei tarvitse niin usein.

Sellainen harju- tai kallioalue, jolle jälkikäyttö on maankäytön kannalta järkevää ja hyödyllistä on ensisijainen valinta. Olennaista ekologisuuden kannalta kiviaineksen ottopaikan valitsemisella on se, mitä paikalle tulee toiminnan loputtua. Jälkihoidon suunnitelmallisuus on tärkeää.

Kiviainestuotteet valmistetaan louhimalla, murskaamalla ja seulomalla raaka-aineista haluttuja kiviainelajikkeita. Kiviainestuotantoon soveltuvien soravarojen vähentyessä entistä suurempi osa kivit tuotteista tehdään kalliosta. Murskauksessa pyritään huomioimaan erityisesti työturvallisuus ja ympäristönsuojelu. Murskauksen suurimmat ympäristövaikutukset muodostuvat pölystä, melusta ja värinävaikutuksista.

12.2 Luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen

LUMO on Ruduksen luonnon monimuotoisuuden säilyttämisen ohjelma. Se perustuu Suomen valtioneuvoston periaatepäätökseen 20.12.2012 Suomen luonnon monimuotoisuuden suojelemisesta ja kestävän käytön strategiasta 2012-2020. Rudus on edelläkävijä ja johtava osaaaja luonnon monimuotoisuuden edistämiseen tähtäävässä maankäytössä, maisemoinnissa ja maiden käytössä maisemointiin. LUMO:n teesejä ovat tehokas maankäyttö, arvokkaat elinympäristöt, luonnolliset tehdasalueet ja bioparkit.



Kuva 65 Logo, lähde: Rudus.fi

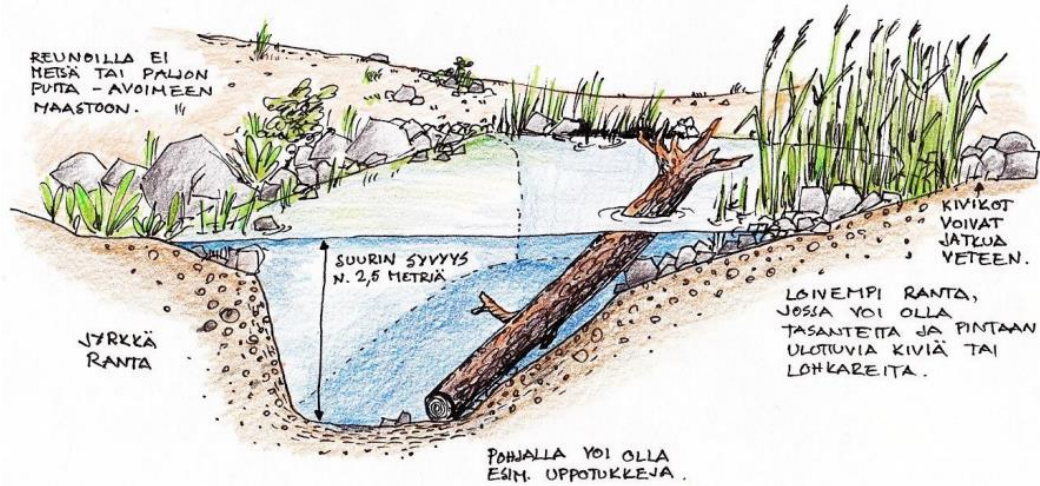
Yhdessä muiden asiantuntijoiden, kuten maisema-arkkitehtien ja luontoasiantuntijoiden kanssa, Rudus pyrkii luomaan uusia kasvuympäristöjä uhanalaisillekin lajeille alueilla, joissa betoniteollisuuden toiminta on loppunut. Esimerkkinä tästä on Inkoon Svartbäckiin perustettu sammakkolampi:

Rudus

Sora	Kallio	Tehdas	Kierrätys
x	x	x	x

Sammakkolampi

- lisääntymislammen rakentaminen sammakoille



Kuva 66 lähde: Rudus.fi



Kuva 67 lähde: Rudus.fi

12.3 Vihreä betoni

Ruduksen lanseeraama Rudus Vihreä Betoni on hiilidioksidipäästöiltään tavallista betonia vähäisempi. Sen käytöllä voidaan päästöjä pienentää 20-50%. Kohteessa käytettävän betonin laatu valitaan niin, että betoni täyttää rakenteille asetettavat vaatimukset, betonin valettavuuden, lujuuden kehityksen ja loppulujuuden säilyvyyden osalta. Lisäksi lasketaan rakenteisiin käytettyjen betonien hiilidioksidipäästöjen arvot.



Rodus
VIHREÄ
BETONI

*Kuva 68 lähde:
Rodus.fi*

Vihreän betonin tavanomaisia käyttökohteita ovat perustukset ja sisätiloissa olevat rakenteet. Tällä hetkellä Vihreää betonia ei voida vielä täysmääräisesti hyödyntää vaativissa, ulkona olevissa, ja erityisesti suola-pakkasrasitetuissa rakenteissa. Kun eri rakenteissa käytetään Vihreää betonia pystytään hiilidioksidi päästöjä laskemaan esimerkiksi: väliseinissä, lattioissa ja välipohjissa 53-68%, kylpyhuoneen seinissä ja alapohjissa 61-82%, perustuksissa ja kosteissa seinissä 61-82%, julkisivuissa, seinissä ja parvekkeissa 65-89% ja pakkasen kestävää betonia vaativissa rakenteissa 61-93%.

12.4 Kierrätys

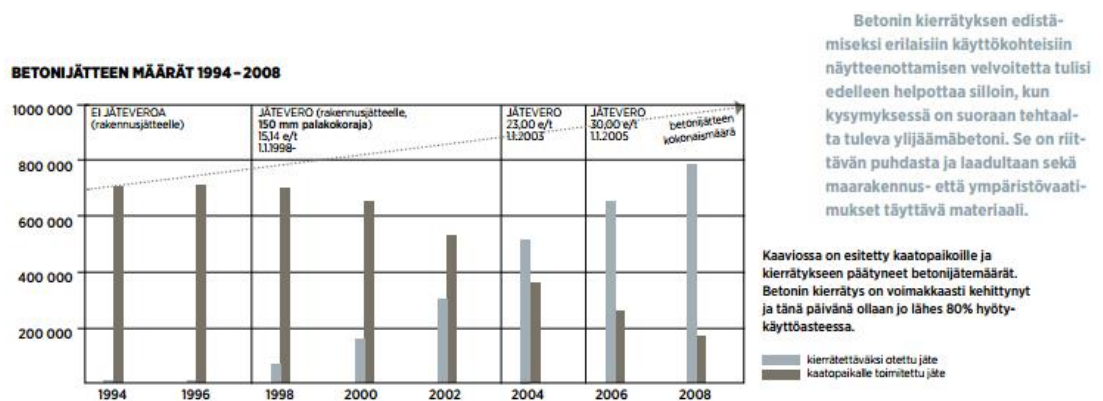
Betoniteollisuudessa kierrätetään vettä ja ylijäämäbetoneita. Niitä pystytään hyödyntämään uudelleen. Kierrätysvettä käytetään betonin valmistukseen joko sellaiseen tai sekoitettuna vesijohtoveteen. Myös kuljetuskaluston ja pumppujen pesu suoritetaan pääasiassa kierrätysvedellä. Betonin valmistuksessa syntyvä betoniliete sisältää kalkkia ja sitä voidaan korkean pH-arvonsa vuoksi käyttää maanparannusaineena.

Pesuedestä ja betonimassasta talteen otettu pesty kiviaines soveltuu mm. maanrakennuskäyttöön ja sitä voidaan hyödyntää myös betoneissa. Kuivatettu liete voidaan käyttää maanrakennuskohteissa, joissa ei ole suuria teknisiä vaatimuksia, kuten viherrakentamisessa, maisemoinnissa, piharakenteissa, pengertäytteenä, meluvalleissa, täytöissä ja kaatopaikkarakenteissa.

Betonitehtaan oman energialaitoksen tuottama energia voidaan hyödyntää kokonaisuudessaan betonin valmistuksessa. Palamiskaasujen sisältämä energia otetaan talteen ja sillä esilämmitetään kiviaines talviaikaan.

Betoniautojen ylijäämäbetoni voidaan palauttaa tehtaalle ja sitä käytetään ensisijaisesti elementtien betonivaluissa ja toissijaisesti betonisten pesuvesien kanssa kierrätyslaitoksessa. Laitoksessa kiviaines ja vesi erotellaan uudelleen käytettäväksi. Kovettunut ylijäämäbetoni hyödynnetään murskauksen jälkeen kiviaineena. Betonijätteestä hyödynnetään yli 90% ja jätteen kokonaismäärä tuotettuna betonikuutiota kohti on alla 4kg.

Pohjoismainen betoniteräs on vuodesta 1994 valmistettu kierrätysraaka-aineesta. Romupohjainen terästuotanto kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa, kuin malmipohjainen. Suomi on noussut edistyksellisen jätelainsäädännön ja verokäytännön vauhdittamana betonin kierrätyksessä Länsi-Euroopan ja koko maailman kärkitasolle. Myös esimerkiksi ontelolaattojen valmistuksessa noin 10% kiviaineksesta voidaan korvata murskatusta ylijäämäbetonista tehdyllä kiviaineksella.



Kuva 69 Kuvio 5 Betonijätteen määrät, lähde: elementtisuunnittelu.fi

Betonimursketta, joka pääosin tulee purkutyömailta, käytetään jo lähes miljoona tonnia vuodessa pääasiassa tienrakentamisessa korvaamassa luonnon kiviainesta. Murske on kovettumisen ansiosta luonnonsoraa lujempaa, jolloin sama kantavuus saavutetaan jopa puolet ohuemmalla rakennekerroksella. Maanrakentamisessa betonimursketta käytetään pääasiassa sitomattomien teiden, katujen sekä piha- ja pysäköintialueiden päällysrakennekerroksina. Betonimursketta on mahdollista käyttää myös putkijohtokaivannoissa, ympäristörakentamisessa sekä perustus- ja muissa täyttötöissä.

13 Betonin historiaa

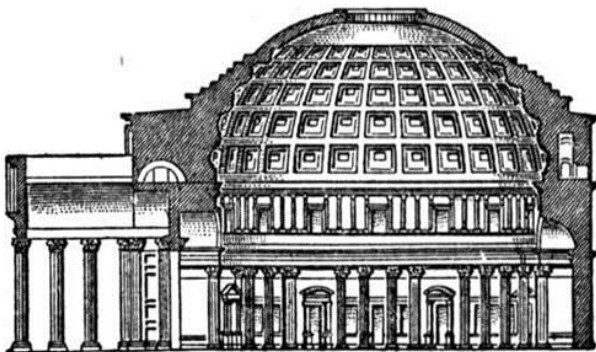
13.1 Betoni maailmalla

Luvussa käsitellään betonirakentamisen historiaa maailmalla 1900-luvun alkuun.

Betonin sideaineena käytetty sementti esiintyy luonnollisena maaperässä. Luonnon sementti syntyi n. 12 miljoona vuotta sitten maapallon geologisen aineksen muokkautuessa. Nykyisen Israelin alueella muodostui sementtiainesta kalkkikiven ja öljyliuskeen reagoidessa keskenään. Israelilaiset geologit paikansivat luonnonsementtiesiintymän 1960-70 –luvulla. Ensimmäiset ihmiset hyödynsivät rakentamisessaan tätä luonnon sementtiä.

Jo 3000 eaa. egyptiläiset käyttivät pyramidien rakentamisessa kipsi ja kalkkilaastia. He sitoivat savitiilirakenteensa mudan ja olkien sekoituksella. Myös Antiikin Kreikassa rakentamisessa hyödynnettiin kalkkilaastia. Antiikin Rooman betoninkaltaisista rakenteista osa on olemassa vielä tänäkin päivänä. Antiikin Roomalaiset käyttivät betoninsa sideaineena potsolaarnia, silikaa sisältävää vulkaanista tuhkaa. Myös kalkkilaasti oli käytössä Rooman imperiumin aikana.

Pantheon Rooman keskustassa on yksi varhaisimpia tunnettuja betonirakenteita. Pantheon on alun perin suunniteltu pyhäköksi seitsemälle planeetalle ja niiden jumalille. Myöhemmin rakennusta on käytetty kristillisenä kirkkona. Pantheonin rotundan (pyöreä, sylinterimäinen tila) seinämät ovat n. 6m paksua tiilellä vuorattua betonivalua ja betonirakenteinen kupoli on halkaisijaltaan noin 44m metriä leveä. Kupolin betoniainekseen on käytetty sintteriä, hohkakiveä ja potsolaarnia.



Kuva 70 Pantheon, kuvälähde: Kaitlin Chin Landscape Architecture Study Tour



Kuva 71 Pantheon, kuvälähde: romeonsegway.com

Rakennelma on luultavasti valettu puumuottia apuna käyttäen ja materiaalipaksuus ohenee kupolin keskustaa lähennyttäessä. Pantheonin arkkitehtuuria on kopioitu useisiin rakennuksiin renessanssin ajalta alkaen. Pantheonin esikuvan mukaan on suunniteltu mm. lukuisia palatseja, kaupungintaloja ja kirkkoja, yhtenä esimerkkinä Suomesta Turun ortodoksinen Keisarinna Aleksandra marttyyrin kirkko.

Toinen merkittävä Antiikin ajalta säilynyt betonirakenne on Pisan kalteva torni. Sen rakentaminen aloitettiin 1173. Rakennuksen runko on valettu betonista ja ulkopinnat marmoria.

Betonirakentamisen taito katosi Keskiajalla lähes kokonaan. 1600- ja 1700-luvuilta on löydetty mainintoja sementistä ja 1700-luvulla sementtiä lähdettiin kehittämään uudelleen. Vuonna 1678 brittiläinen hydrografi Joseph Moxon kuvaili tekstissään kalkin ja veden kemiallista reaktiota. Vajaa sata vuotta myöhemmin brittiläinen insinööri John Smeaton teki kokeita savea sisältävälle kalkkiseokselle, ja sai selville sen kovettuvan veden alla. Smeaton käytti löytämänsä hydraulista kalkkia Eddystoneen majakan jälleerakennukseen Cornwallissa Englannissa 1793. Smeaton oli saanut majakan kunnostusprojektin jo vuosikymmeniä aiemmin, mutta häneltä oli puuttunut materiaali, joka sopi vedenalaiseen kohteeseen.

Merkittävä käänne betonirakentamisen kannalta tapahtui 1800-luvun alussa Portland sementin keksimisen myötä. Portland nimen sementille antoi valmistusmenetelmän patentoinut englantilainen muurari Joseph Aspdin. Sementti muistutti hänen mielestään laadukasta rakennuskiveä, jota louhittiin Portlandin saarelta Iso-Britanniassa. Aspdin keksi sementin polttamalla hienoksi jauhettua liitua ja hienojakoista savea kalkkiuunissa kunnes hiilidioksidi haihtui pois. Aspdinin sementti ei vastaa nykyistä portlandsementtiä, mutta oli ensimmäinen askel sen kehityksessä.

Nykyisenkaltaisen portlandsementin keksi englantilainen Isaac Johnson vuonna 1844. Hän havaitsi kokeissaan myös sintraantumispisteen merkityksen sementin lujudelle. Tästä on katsottu alkaneeksi varsinaisen Portland –sementin nykyaikaisen ainesoksen aikakausi.

Betoniin alettiin kokeilla raudoituksia 1800-luvun puolivälissä. Ranskalainen puutarhuri Joseph Monier haki patentin betonisten kukkaruukkujen raudoitukseen 1868 ja sovelsi periaatteitaan myöhemmin mm. putkiin, siltoihin ja seinälevyihin. Monierin rakennejärjestelmä oli laajalti tunnettu ja teräsraudoitusta lähtivät edelleen kehittämään mm. ranskalaiset Louis Lambot veneeseen ja lankkuihin ja Edmond Coignet siltoihin ja putkiin. Englantilainen William Wilkinson patentoi oman teräsbetonipalkkirakenteensa 1854. Hän oivalsi rakenteessaan sijoittaa raudoituksen rakenteen alaosaan ottamaan vastaan vetoa.

Ensimmäinen teräsbetonirakenteiden silta valmistui 1899. 1900-luvulla. Betonin käyttö rakentamisessa laajeni teräsbetonin kehittämisen myötä. Teräsbetonin varsinainen läpimurto tapahtui Pariisin maailmannäyttelyssä vuonna 1900 esitellyllä pilari-palkkirakenteella. Myös muottien käyttäminen valamisessa lisäsi betonin suosiota materiaalina, sillä betonirakentamisen muotokieli rikastui. Betoninseossuhdetta kehitettiin jatkuvasti eteenpäin 1900-luvulle tultaessa ja sementin laadun testausjärjestelmät yhdenmukaistuivat.



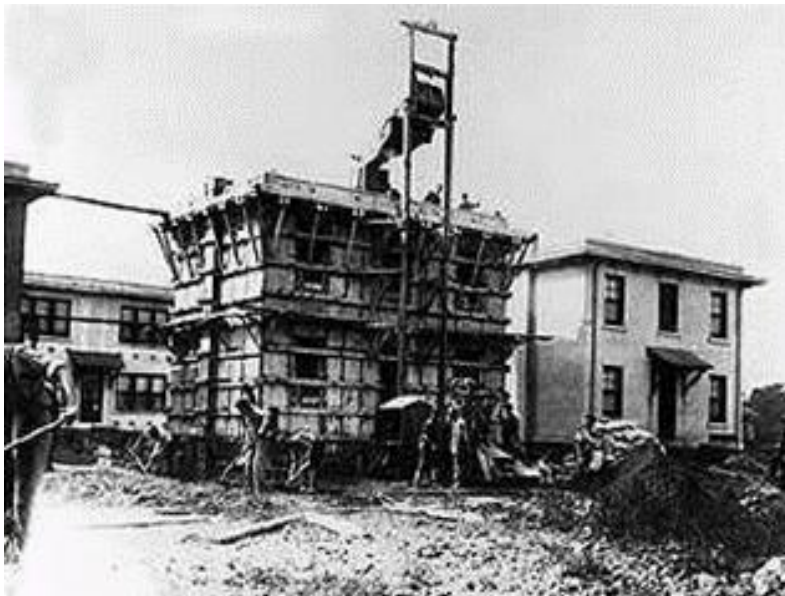
Kuva 72 Ingalls Building kuvalähde: wikipedia by johnM 2006

Ensimmäinen teräsbetonista valmistettu pilvenpiirtäjä Ingalls Building nousi Yhdysvaltojen Cincinnatiin Ohioon vuonna 1903. Pilvenpiirtäjän oli suunnitellut paikallinen arkkitehtifirma Elzner & Anderson. Ingalls Buildingin suunnitteluvaiheessa hanke aiheutti paljon epäilystä insinöörien ja tavallisten kansalaisten parissa. Uskottiin ettei niin korkea täysbetoninen rakenne kestäisi edes omaa painoaan, saati tuulikuormaa, joka tornimaiselle rakenteelle syntyisi. Hankkeen pääsijoittajan Melville E. Ingallsin mukaan nimetty rakennus tosin seisoo edelleen East 4th Streetin ja Vine Streetin risteyksessä keskeisellä paikalla Cincinnatiassa.

Joulukuussa vuonna 1908 keksijä Thomas A. Edison patentoi suunnitelman keksimästään elementtitalosta. Näin hänestä tuli pioneeri betonisten elementtitalojen suunnittelussa. Edisonin talot olivat suunniteltu valettavaksi usealla valurautaisella muotilla, joka tuottaisi rakennukseen yhdellä kertaa seinät, lattiat, portaikon, katon, sähkö- & vesihuollon putkitukset ja kylpy- & pesualtaat. Yksittäinen lähes 2000 osaa kattava muotisto ei olisi ollut taloudellisesti kannattava, ellei sitä olisi pystynyt käyttämään uudelleen. Edison kehitti myös lisäaineen betonimassaan, joka ehkäisi betonin virumaa, teki pin-

nasta sileää ja kuulemma myös vedenpitävän. Edisonin tavoite oli tuottaa taloja laajana massatuotantona ympäri maailman ja ratkaista kaupunkien slummiongelma.

Edisonin talot, eivät jalosta ideastaan huolimatta, menestyneet markkinoilla ja niitä valmistettiin vain noin tusinan verran Amerikassa. Talot olivat hankalia remontoida ja niiden maine slummiongelman ratkaisijana ei houkuttanut varakkaampia asuntoon sijoittajia. Edison kokeili siipiään myös suunnittelemalla betonista huonekaluja, mutta syystä tai toisesta mm. betoniset sängyt eivät löytäneet sopivaa markkinarakoa. Talojen valmistaminen elementeistä kuitenkin jatkoi kehitystään 1900-luvun alusta alkaen, vaikka Edisonin ”yhden valun” rakennukset jäivät historiaan.



Kuva 73 Edisonin talo rakennusvaiheessa kuvälähde: Adam Goodheartin artikkeli

13.2 Betoni Suomessa

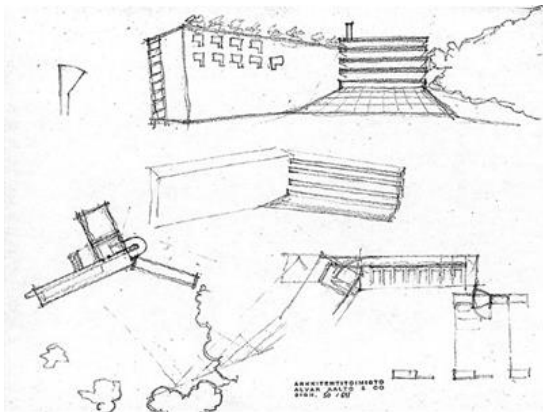
Luvussa käsitellään betonirakentamista Suomessa 1900-luvulta.

1800-luvun alussa Suomessa vakiintui teräsbetonisten esivalmisteisten askelharkkojen käyttö ja 1900-luvun alussa kokeiltiin mm. teräsbetonisia muurauskappaleita. Vanhimpia betonirakenteita Suomesta ovat vuosisadanvaihteen kivitalojen portaikot. Yleisiä 1900-luvun betonirakenteita olivat perustus ja välipohjarakenteet, josta siirryttiin kantavien pystyrakenteiden tekemiseen betonirakenteisena.

Teräsbetonirakentaminen otettiin käyttöön Suomessa Pariisin maailmannäyttelyn vuonna 1900 jälkeen. Teräsbetonirakentamisen tekniikan Suomeen Tampereelle toi saksalainen Wayss & Freytag 1900-luvun alussa. Ensimmäisenä suomalaisena teräsbetonirakentamisen aloitti Richard Helander niminen rakennusmestari vuonna 1906. Helander toimi yhteistyössä professori Jalmar Castrénin kanssa ja heidän kohteitaan on mm. vuonna 1907 valmistunut Tampereen paloasemarakennus. Helanderin rakennusliike laajensi toimintaansa myöhemmin maanlaajuiseksi.

1930-luvulla Suomi alkoi vähitellen kaupungistua ja asuntopulaan haettiin ratkaisua betonirakentamista. Teräsbetonista oli tullut yleisimmin käytetty rakennusaine 30-luvulla ja vuosikymmenenä Suomessa alettiin käyttää rakentamisessa myös kevytbetonia ja liukuvalutekniikkaa. Kevytbetonista valettiin mm. lämmöneristeitä ja harkkoja. Amerikasta saapunutta liukuvalutekniikkaa edustaa myöhemmältä vuosikymmeneltä kylläkin vuosina 1964-66 rakennettu Kalevan Kirkko Tampereella (Arkkitehteina Raili & Reima Pietilä.)

1930-luvun arkkitehteista mm. Alvar Aalto otti omakseen betonin sen muotoiltavuutensa takia. Aalto hyödynsi betonia materiaalina funktionalistisissa töissään. Esimerkiksi Paimion parantolan (rakennettu 1929-33) runkoratkaistut on valettu betonista. Parantolaa pidetään Aallon funktionalisen kauden päätyönä. Asuntorakentamisessa ihannoitiin valoisaa ja valkoista arkkitehtuuria. Funktionalismille tyypillisesti kaikki turha piti karsia pois. Jos koristelulla ei ollut käyttötarkoitusta, oli se turha. Mm. Alvar Aalto suunnitteli betonista rakennettuja tyyppitaloja ja vei suomalaista arkkitehtuuria rationaalisempaan suuntaan.



Kuva 74 Luonnos Paimion parantolasta kuvalähde: alvaraalto.fi



Kuva 75 Paimion Parantola kuvalähde: alvaraalto.fi

Toisen maailmansodan jälkeen alettiin etsiä mahdollisimman tehokasta ja taloudellista rakennustapaa huonosta taloustilanteesta johtuen. Elementtirakentamista lähdettiin kehittämään 1940-50 lukujen taitteessa. Yksi tunnetuimmista varhaisista täyselementtirakennuksista Suomessa on Aarne Ervin suunnittelema Helsingin yliopiston Porthaniarakennus (1952-57). Ensimmäiset elementit olivat pieniä ja ne valettiin työmaalla. Vähitellen työmaat alkoivat koneellistua ja elementtien koko kasvoi ja valmistus siirtyi sisätiloihin elementtitehtaisiin. Ensimmäinen elementtitehdas perustettiin 1950. Aluerakentamissopimusten turvin tuotantoa ryhdyttiin teollistamaan edelleen.

1960-70-luku on suomalaisen lähiörakentamisen aikaa. Muuttovirrasta maalta kaupunkiin ja elinkeinorakenteen muutoksen myötä oli etsittävä uusia nopeita toteutettavia, hyvin varusteltuja ja edullisia ratkaisuja uusille kaupunkilaisille. Vuosikymmenien lähiöt on toteutettu mm. avointa BES-järjestelmää hyödyntäen.

BES perustui kantaviin pääty- ja väliseiniin, ei-kantaviin sandwich-ulkoseiniin ja välipohjina käytettäviin laattoihin. Parvekkeet olivat yleensä vapaasti perustuksilla seisovia torneja. Laattaelementteinä alettiin käyttää esijännitettyjä ontelo- ja kotelolaattoja. BES-järjestelmän ideana on standardoida betonirakenteet ja liitokset, niin että urakoitsija voi halutessaan tilata samaan rakennukseen osia eri toimittajilta.

BES:n mahdollistamia muuntelumahdollisuuksia ei kuitenkaan juurikaan hyödynnetty, vaan asuntojen pohjaratkaisuihin oltiin yleisesti tyytyväisiä. 70-luvun rakentamisessa asuinympäristöön, esimerkiksi piharakenteisiin tai istutuksiin ei juurikaan kiinnitetty huomiota, eikä niille löytynyt rahoitustakaan. Lähiörakentamisen esimerkkejä Tampeleelta löytyy mm. Multisillasta ja Tesomasta. 1980-luvulle tultaessa asuinympäristöönkin alettiin kiinnittää huomiota. 80-luvulla alkanut betonitutkimus ja kehitystyö näkyvät 90-luvun betonirakenteissa monimuotoistumisena. 80-luvulla kehitettiin myös runko BES teollisuus ja toimitilarakentamisen tarpeisiin.

1990-luvulta eteenpäin arkkitehtuuriin, rakennuksen ominaisuuksiin, elinkaarikustannuksiin ja ympäristövaikutuksiin kiinnitettiin yhä enemmän huomiota ja ne suuntasivat alan kehitystä. Julkisivuissa alettiin kokeilla enenevässä määrin erilaisia rappaustekniikoita ja graafisia betoniratkaisuja. Liittorakenteet ovat yleistyneet rakentamisessa ja harkko & betonielementit ovat tulleet myös osaksi pienrakentamista.

14 Betonin tulevaisuus?

Betonielementtiteollisuus ja betonirakentaminen olivat ratkaisuja asuntopulaan ja nopeaan ja kustannustehokkaaseen rakentamiseen. Aikakauden rakennukset ovat yksinkertaisia ja leimaavat käsitettä betonirakentamisessa ainakin Suomessa. Betoni on kuitenkin monipuolinen ja muotoiltava rakennusmateriaali. Betonin arvostus materiaalina ei ehkä tule koskaan kasvamaan puuta tai tiiltä vastaavalle tasolle, mutta betonia tullaan hyödyntämään tulevaisuudessakin niin julkisissa, kuin yksityisissä rakennuksissa.

14.1 Ekologinen kehitys

Betoniteollisuudessa ja betonirakentamisessa otetaan yhä enemmän huomioon ympäristöasiat ja kestävä kehitys. Vihreän betonin (ks. luku 12) käyttö tulevaisuudessa luultavasti yleistyy. Ekologiseen rakentamiseen vaikuttaa ratkaisevasti lainsäädäntö. Varsinkin pienrakentajat ovat tottuneet saamaan tietyn laatuista betonia tiettyyn hintaan. Saman laatuisten betonin ostaminen kalliimpaan hintaan ekologisen tuotantoprosessin takia, ei välttämättä houkuta. Lainsäädännön ohjatessa teollisuutta ympäristöystävällisempään suuntaan, asiakkaat joutuvat automaattisesti tekemään ekologisempia valintoja.

14.2 Älykäs betoni

Älykkäällä betonilla tarkoitetaan betonia, joka jossain määrin korjaa itse itsensä. Yksinkertaisin korjausmekanismi on betonissa, jossa on riittävästi hydratoitumatonta sideainetta. Jos kosteutta on sopivasti, sideaine saattaa paikata syntyneet pienet halkeamat itsestään. Rakenteen sisään voidaan myös istuttaa järjestelmiä, jotka raportoivat rakenteen tilasta ja varoittaa syntyneistä vaurioista, jotta ne voitaisiin korjata yhä aikaisemmin.

14.3 Teollisuuden ylijäämä

Betoniteollisuudessa hyödynnetään betonin lisäaineina jo joitakin teollisuuden ylijäämätuotteita, kuten masuunikuonaa tai silikaa. Muitakin teollisuuden ylijäämätuotteita voidaan testata betoninlisäaineina ja kuituina. Teollisuusjätteiden hyödyntäminen rakentamisessa tukee ekologista rakentamista.

Teollisuusjätteen käyttöönotto rakentamisessa vaatii kuitenkin pitkällistä tutkimusta. On selvítettävä esimerkiksi miten uuden aineen sekoittaminen betoniin vaikuttaa rakenteen kestävyYTEEN. On myös selvítettävä miten materiaali vaikuttaa ympäristöön. Esimerkiksi päästäisikö se ilmaan yhdisteitä, joita ei ole terveellistä hengittää?

Yksi materiaali, jota voitaisiin hyödyntää betonissa kuitumateriaalina, on vaateteollisuuden kangasjäte. Keksimä Raimo Flink hyödyntää puutarhassaan kehittämäänsä ”niksibetonia”, jossa betonin raudoitusta korvaa koneellisesti poistotekstiileistä jauhettu keinokuitutilkku. Tekstiilikuitubetonia voitaisiin hyödyntää esimerkiksi koristejulkisivuelementeissä sisätiloissa, kun sen ominaisuuksia on tutkittu enemmän. Kantavaa raudoitusta ei tekstiilikuidulla pysty korvaamaan.



Kuva 76 Tekstiilikuitusäkkejä lähde: ekoinfo.fi



Kuva 77 Niksibetonia lähde: ekoinfo.fi

15 Pohdinta

Opinnäytetyön tekeminen vaati pitkää ja perusteellista perehtymistä kirjallisiin lähteisiin. Lähdetietoa oli haettava sekä insinöörin että arkkitehdin näkökulmasta. Haasteeksi työssä muodostuikin juuri se miten painotukset insinöörin ja arkkitehdin tietoihin sai sovitettua. Rakennusarkkitehdin koulutuksesta valmistunut tarvitsee kumpaakin osaamista.

Työtäni varten valitsemat tutkimusmenetelmät osoittautuivat hyviksi. Läheteitä löytyi paljon suomeksi ja englanninkielistä lähteistä oli myös huomattava hyöty, varsinkin betonin historiaa käsiteltäessä. Joidenkin kappaleiden kohdalla oli mietittävä tarkkaan, mikä tieto on olennaista ja mikä lisätietoa, jotta osasi rajata aihealueen kattavaksi, mutta pääasioissa pysyväksi. Joihinkin aihealueisiin lähdeaineistoa oli käytettävissä huomattavasti enemmän kuin toisiin.

Työhöni olisi voinut lisätä vielä enemmän laboratoriotyöohjeita, mutta rajallisen ajan vuoksi ne jäivät läpikäymättä. Työ on jo nyt pituudeltaan laajamittainen opinnäytetyöksi, eikä sen sivumäärää ollut enää syytä kasvattaa.

Jos rakennusarkkitehdeille tarjottaisiin lisäkurssia betonitekniikasta, olisi siellä mielestäni syytä tutustua tarkemmin betonirakentamiseen ja työtehtäviin työmaalla. Kurssilla voitaisiin käydä läpi muottien ja betonirakenteiden suunnittelua. Lisäksi mielestäni rakennusarkkitehdeille olisi hyvä kertoa pääasiat raudoittamisesta ja siitä miten betonirakenteet vaurioituvat.

Arkkitehtonisesta näkökulmasta mahdollisella jatkokurssilla voitaisiin perehtyä tarkemmin massiivisiin betonirakenteisiin ja toisaalta elementtitekniikan tarjoamiin mahdollisuuksiin rakennussuunnittelussa. Myös betonipintoihin voitaisiin kurssilla palata ja käydä läpi menetelmiä, joilla pintojen tekeminen tapahtuu. Lisäksi voitaisiin tehdä harjoitustyö, jossa pyrittäisiin yhdistämään taloudellisuus ja näytävyyys esimerkiksi jossain korjausrakentamiskohteessa, jossa uusittaisiin julkisivuja.

Lähteet

Beckett, Thomas Edisons Beautiful Failure, 2012 (3.12.2014)

<http://christineadamsbeckett.com/2012/04/03/thomas-edisons-beautiful-failure/>

Betoniteollisuus Ry, Betoni ja kestävä kehitys (8.2.2015)

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/ymparistoominaisuudet>

Betoniteollisuus Ry, Betonirakenteita suunniteltu jopa 1000 vuoden käyttöiälle, (3.12.2014)

<http://www.betoni.com/tietoa-betonista/betoni-ja-kestava-kehitys/betonin-kayttoika>

Betoniteollisuus Ry, Betoni, säästää ympäristöä ja luonnonvaroja, Betonin kierrätysesite (8.2.2015)

Betoniteollisuus Ry, Elementtirakentamisen historia, (3.12.2014)

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>

Betoniteollisuus Ry, Valmisbetoni, Paikallavalurakentaminen, (25.11.2014)

<http://www.valmisbetoni.fi/paikallavalurakentaminen>

Betoniteollisuus Ry, Vuoden betonirakenne –kilpailu (17.12.2014)

<http://www.betoni.com/tapahtumat/vuoden-betonirakenne>

Betoniteollisuus Ry, Vuoden betonirakenne 2013 ja tuomariston perustelut -Kirjastosilta Turku (18.12.2014)

<http://www.betoni.com/tapahtumat/vuoden-betonirakenne/vuosi-2013>

Betoniteollisuus Ry, 2000 vuotta betonia, (3.12.2014)

<http://www.betoni.com/tietoa-betonista/betoni-ja-kestava-kehitys/betonin-historia>

Concrete Construction Staff, Thomas Edisons Concrete House, 1965 (3.12.2014)

<http://www.concreteconstruction.net/concrete-articles/thomas-edisons-concrete-house.aspx>

Dokumentti: Betonin brutaali runous (Bunkers, Brutalism and Bloody-mindedness: Concrete Poetry with Jonathan Meades), Britannia 2013. Tuotanto BBC

Ekoinfo, Niksibetoni (12.1.2015)

<http://www.ekoinfo.fi/yhdistys>

Goodheart, Why Dolores Chumsky hates Thomas Edison, 1996, Discovery.com

Graphic Concrete, Yleisohjeet suunnittelijoille pdf. (5.12.2014)

Haastattelu Johanna Holmström, RA, Rakennusterveysasiantuntija, Projektipäällikkö Vahanen Oy

Haastattelu, Pertti Grönholm, RA, Koulutuspäällikkö Rakennusosasto, Raision seudun koulutuskuntayhtymä

Kankkunen, Lanning, Graafinen betoni – elementtituotantoa on kehitetty yhteistyössä asiakkaiden kanssa, Betoni -lehti 2007, (5.12.2014)

Materials Science and Technology Teacher's Workshop, The History of Concrete, (3.12.2014)

<http://matse1.matse.illinois.edu/concrete/hist.html>

Moore, The Riddle of Ancient Roman Concrete, 1995, (3.12.2014)

<http://www.romanconcrete.com/docs/spillway/spillway.htm>

Mäkiö, Suomalainen tiilirakennus muuntuu teräsbetoniseksi täyselementtitaloksi, 2006, (3.12.2014)

http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/P_156.html

Paimion Parantola (3.12.2014)

<http://www.alvaraalto.fi/net//paimio/paimio.html>

Rudus Oy, Betonikoulu osa 4: Kuitubetoni (17.12.2014)

<http://www.rudus.fi/aineistot/rudus-koulut/betonikoulu/osa-4-kuitubetoni>

Rudus Oy, Betoni käyttöturvallisuustiedote, 2009

Rudus Oy, Betoni-tietoa pienrakentajalle, Betoniesitteet (11.12.2014)

<http://www.rudus.fi/aineistot/esitteet/betoniesitteet>

Rudus Oy, Erikoisbetonit, Väribetoni, Itsestään tiivistyvä betoni (17.12.2014)

<http://www.rudus.fi/tuotteet/betonit/erikoisbetonit>

Rudus Oy, Graafinen betonipinta - julkisivuihin, seiniin, muureihin ja laattoihin, (5.12.2014)

<http://www.rudus.fi/tuotteet/julkisivuelementit/julkisivujen-pinta-ja-varimallit>

Rudus Oy, Itse tiivistyvä betoni ITB, pdf.(17.12.2014)

<http://www.rudus.fi/aineistot/esitteet/betoniesitteet>

Rudus Oy, Kuitubetonit, Teräskuitubetoni, Muovikuitubetoni (17.12.2014)

<http://www.rudus.fi/tuotteet/betonit/kuitubetoni>

Rudus Oy, Lohja Rudus Oy Ab:n asiakastiedote, Kevytsorabetonit, 2002

Rudus Oy, LUMO-ohjelma (8.2.2015)

<http://www.rudus.fi/ymparisto/rudus-lumo-ohjelma>

Rudus Oy, Maakostea betoni (17.12.2014)

<http://www.rudus.fi/tuotteet/betonit/maakostea-betoni>

Rudus Oy, Ruiskubetonit (17.12.2014)

<http://www.rudus.fi/tuotteet/betonit/ruiskubetonit>

Rudus Oy, Rudus Oy:n asiakastiedote, Kuitubetonit, 2010

Rudus Oy, Saumausbetonit (17.12.2014)

<http://www.rudus.fi/tuotteet/betonit/saumausbetonit>

Rudus Oy, Vihreä betoni (8.2.2015)

<http://www.rudus.fi/tuotteet/betonit/vihrea-betoni>

Rudus Oy, Ympäristöasioiden huomioon ottaminen toiminnan jatkuvassa kehittämisessä (8.2.2015)

<http://www.rudus.fi/ymparisto/ymparistoasiat-toiminnan-kehittamisessa>

Ruohomäki, Jormalainen, Pärssinen, Saarikivi, Söderholm, Raudoitustyöt by206, 2002

Sahlstedt, Koskenvesa, Lindberg, Kivimäki, Palolahti, Lahtinen, Talvibetonointi, Betonteollisuus Ry, 2013

Suomen betoniyhdistys, Betoninormit 2012, BY 50, 2011

Suomen betoniyhdistys, Betonirakenteiden korjausohjeet 2007, BY 41, 2007

Suomen betoniyhdistys, Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu, BY51, 2007

Suomen betoniyhdistys, Betonitekniikan oppikirja 2004 BY201

Suomen betoniyhdistys, Betonirakenteiden palotekninen mitoitus, BY24, 1987

Suomen Betoniyhdistys, Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet BY40 2003

Uusitalo, Ihanamäki, Rajala, Vallin, Betonityöt BY 205, 2002

Vittorio Magnago Lampugnani, Dictionary of 20th Century Architecture, The Thames & Hudson Reprint 1996

Väisänen, TTK Arkkitehtiosasto, Betoni -perustietoa arkkitehtiopiskelijalle, 2005

Värri, Rakennusbetonin elinkaarianalyysi 1999 (3.12.2014)

<http://www.students.tut.fi/~varria/BETONI2.htm#säil>

Wikipedia, Graafinen betoni, (5.12.2014)

http://fi.wikipedia.org/wiki/Graafinen_betoni

Wikipedia, Le Corbusier (19.12.2014)

http://fi.wikipedia.org/wiki/Le_Corbusier

Wikipedia, Pantheon (Rooma), (3.12.2014)

[http://fi.wikipedia.org/wiki/Pantheon_\(Rooma\)](http://fi.wikipedia.org/wiki/Pantheon_(Rooma))

Wikipedia, Portland cement, (3.12.2014)

http://en.wikipedia.org/wiki/Portland_cement

Wikipedia, Ingalls Building, (3.12.2014)

http://en.wikipedia.org/wiki/Ingalls_Building

Wikipedia, Richard Helander (3.12.2014)

http://fi.wikipedia.org/wiki/Richard_Helander

Yle, Lauri Itäkangas, artikkeli: Betonin brutaali runous, julkaistu 16.10.2014
(19.12.2014)

<http://yle.fi/aihe/artikkeli/2014/10/16/betonin-brutaali-runous?ref=ydd-newest-in-sp>

Yritysesite Elpotek Oy (FIN), Suuria säästöjä elpo-elementeillä pdf. (1.12.2014)

<http://www.rudus.fi/elpotek/aineisto>

Liitteet

Liite 1: Betonin ilmamittaus



Ensimmäisessä kuvassa ilmamittari täytetään puolilleen ja seuraavassa tärytetään. Kolmannessa kuvassa on meneillään toinen tärytyskierrös, kun mittari on täytetty tuoreella betonilla. Neljännessä kuvassa mittariin on asennettu sen yläosa. Viidennessä kuvassa mittariin lisätään vesi. Mittauksen alussa osoitin asetetaan punaisen viivan kohdalle, kuva 6. Mittaustulos käy ilmi viimeisestä kuvasta. Sen tulisi vastata suunniteltua

Liite 2. Erilaisia muottirakenteita

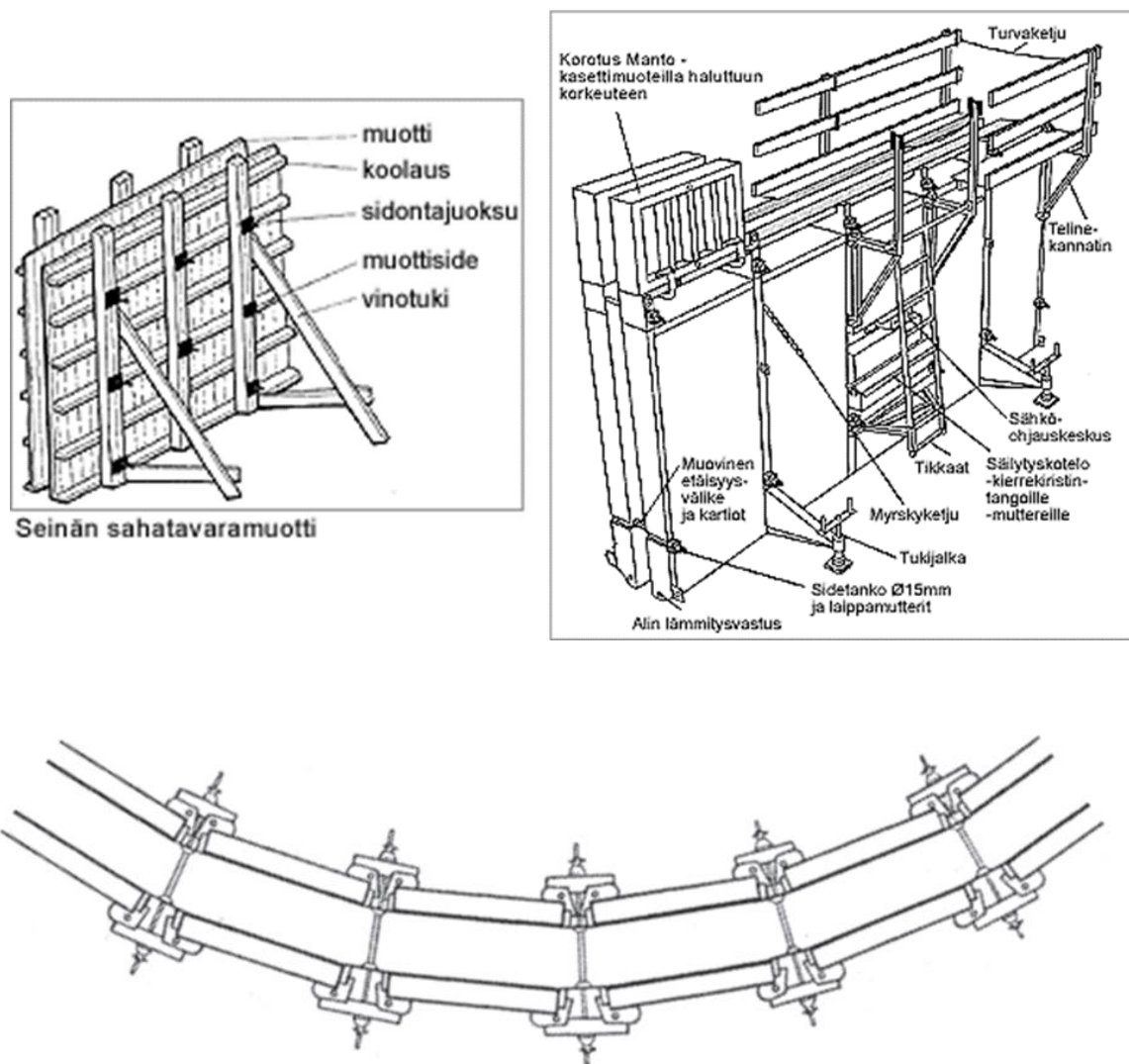
Liite kappaleeseen 6.1.2 Muotit. Kuvissa erilaisia tekstissä esitettyjä muottirakenteita, joita hyödynnetään paikallavalurakentamisessa. Kaikkia kuvissa esitettyjä muottirakenteita ei pystyisi täysin sellaisenaan käyttämään.

Kuvalähteet:

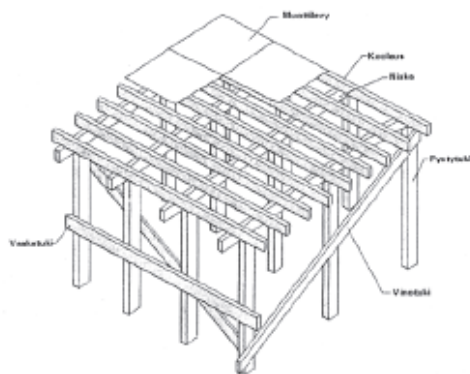
Kestävä kivitalo paikalla rakentaen, Muottijärjestelmät, 2013 (23.11.2014)

<http://www.kivitalo.fi/betonirakentaminen/muotit/muottijaerjestelmaet.html>

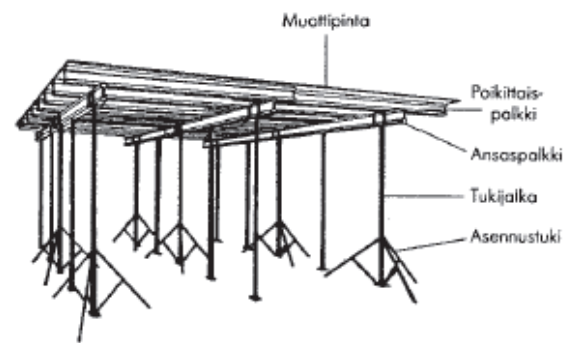
Väisänen, TTK Arkkitehtiosasto Rakennusoppi, Betoni Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle, 2005



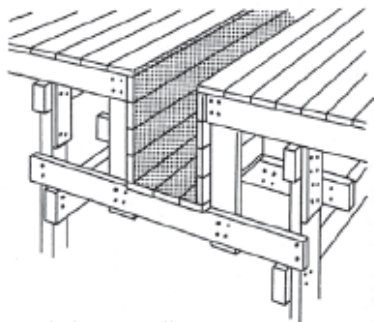
Kaareva järjestelmämuotti



Levyntainen pöytämuotti



Vaklopalkit ja muottilevyt



Palkalla tehty palkkimuotti



Holvikasettijärjestelmä

Liite 3. Betonipinta

Liitteessä 3 on luvussa 9 esiteltyjä betonipintoja. Liite käsittää muottia vasten valetut pinnat ja märkänä/kuivana käsitellyt pinnat.

Kuvalähteet:

Väisänen, TTK Arkkitehtiosasto, Betoni, perustietoa arkkitehdille, 2005

Tavallisia muottipintoja



Vanerimuottipinta



Raakalautapinta



Puulevyypinta

Vanerimuottipinta, Raakalautapinta, Puulevyypintoja

Erikoisia muottipintoja



Kumimuottiin valettu värabetoni



Aaltopeltiin valettu pinta



Muottikankaalla teksturoitu pinta



Muotoiltuun Styrox muottiin valettu pinta



Rypistetty voimapaperi

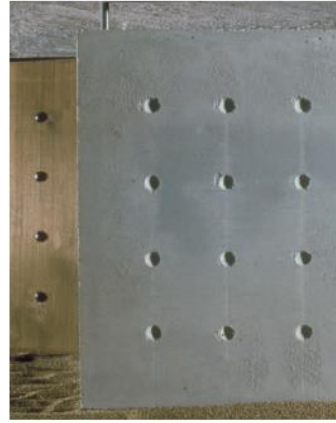


Paikallavalettu muottikangaspinta

Kumimuottiin valettu värabetoni, Aaltopeltiin valettu pinta, Muottikankaalla teksturoitu pinta, Muotoiltuun EPS-muottiin valettu pinta, Rypistetty voimapaperi, Paikallavalettu muottikangaspinta



Puhdasvalupinta



Kuppipinta

Puhdasvalupinta ja kuppipinta



Harjattu



Pesty



Hienopesty



Telattu



Puuhierretty



Töpötetty



Teräshierretty



Pintakäsitelöllä käsitelty ja hienopesty pinta

Harjattu, Pesty, Hienopesty, Telattu, Puuhierretty, Töpötetty, Teräshierretty, Graafinen
betonipinta



Hiekkapuhallettu



Hienopesty



Hakattu ja murrettu



Lohkottu



Hiottu



Maalattu

Hiekkapuhallettu, Hienopesty, Hakattu ja murrettu, Lohkottu, Hiottu, Maalattu,

Liite 4. Laboratoriotyöt

Laboratoriotyönä toteutetaan muottia vasten valettu betonipinta.

1. Opiskelijaryhmä valitsee toteutettavan muottipinnan ja suunnittelee muotin.
2. Valitaan käytettävä betonilaatu ja sideaine.
3. Betonin valmistus ja valu toteutetaan ohjaavan opettajan ohjeiden mukaisesti.
4. Muotit puretaan ohjeiden mukaisesti kuivumisajan päätyttyä.
5. Pintaa verrataan esimerkkipintoihin ja omiin suunnitelmiin.
6. Valmistustyö ja lopputulos raportoidaan raportointiohjeiden mukaisesti.

Tulosten tarkastelussa tulisi kiinnittää huomiota pintastruktuurin onnistumiseen ja arvioida käytettyjen materiaalien ja valmistusmenetelmien sopivuutta työhön.