



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Leevi Oksanen

Paikallavalmuholvien tuotantotekniikka NCC:n asuntorakentamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriyö

30.4.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Leevi Oksanen Paikallavaluholvien tuotantotekniikka NCC:n asuntorakentamisessa 56 sivua 30.4.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Rakentamisen projektihallinta
Ohjaajat	Työpäällikkö Mikko Mäkelä Lehtori Markus Immonen
<p>Tämä opinnäytetö käsittelee paikallavalettuja holveja ja niiden toteutusmenetelmiä NCC:n asuinrakentamisen näkökulmasta. Työ tehtiin NCC:lle, sillä nykyisin rakennetaan korkeampia asuinkerrostaloja kuin ennen, jolloin myös paikallavaluholvit yleistyvät, sillä usein osa korkeiden kerrostalojen holveista on tehtävä paikallavalettuina.</p> <p>Työssä on selvitetty eri menetelmiä toteuttaa paikallavaluholvit ja kuinka eri menetelmät vaikuttavat työmaan aikatauluun ja talouteen. Selvitystyötä tehtiin keräämällä eri lähteistä tietoa eri menetelmätavoista ja vertailemalla niiden vaikutuksia ja tutkimalla niiden soveltuvuutta asuinrakentamiseen. Lähteinä olivat haastattelut ja kirjallisuus, lähteiden perusteella koottiin valintaopas, jonka tarkoituksena on helpottaa paikallavaluholvitöitä suunnitellessa mitä asioita kannattaa huomioida ja mitä vaihtoehtoja on olemassa.</p> <p>Työ on jaettu muottikaluston, raudoitusten, betonin, betonointimenetelmien ja lämmityksen ja kuivatuksen tutkimiseen ja niiden vaikutusta aikatauluun ja menetelmien valintaa on vertailtu ja vertailun perusteella on lopputuloksena valintaopas.</p>	
Avainsanat	Paikallavaluholvit

Author Title	Leevi Oksanen Cast in-situ slab production in NCCs residential construction
Number of Pages Date	56 pages 30 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Construction management
Instructors	Mikko Mäkelä, Construction manager Markus Immonen, Senior Lecturer
<p>This thesis is about cast-in-situ slabs and their production methods from perspective of NCCs residential constructions. The thesis was made for NCC, because nowadays high buildings are more popular in residential construction. High buildings are often built partly from cast-in-situ slabs and partly from precast slabs.</p> <p>This thesis investigates how cast-in-situ slabs are implemented using different methods and how different methods affect the worktime and economy at the construction site. The research was made by collecting information about different methods from different sources and comparing the methods with each other. The sources used in the thesis were different written material and interviews. A selection guide was created according to the information that were collected. The purpose of the selection guide is to help with the planning of the execution of cast-in-situ slabs by indicating what options there are and what needs to be considered when planning.</p> <p>The thesis studies different cast forms, rebar methods, concrete properties, concreting methods and heating and drying methods. The different methods are compared with each other and the result is a selection guide.</p>	
Keywords	Cast in-situ slab

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Paikallavaluholvien tuotantotekniikka	2
2.1	Paikallavaluholvien tuotanto yleisesti	2
2.2	Muottikalusto	3
2.2.1	Putoamissuojaus	4
2.2.2	Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmä	5
2.2.3	Pöytämuotti	10
2.2.4	Holvin kasettimuotti	12
2.2.5	Kupu- ja ripalaattamuotti	14
2.3	Rauditusmenetelmät	15
2.3.1	Rauditus irtoteräksillä	17
2.3.2	Verkkorauditus	18
2.3.3	Rulla- tai mattorauditteet	20
2.4	Betoni	23
2.4.1	Sementti	23
2.4.2	Kiviaines	24
2.4.3	Seosaineet	25
2.4.4	Lisäaineet	26
2.5	Betonointi menetelmät	27
2.5.1	Betonin hierto	30
2.5.2	Pumppubetonointi	31
2.5.3	Nostoastiabetonointi	33
2.5.4	Betonin jälkihoito	34
2.6	Lämmitys ja kuivatus	38
2.6.1	Betonin lämmitysmenetelmät	38
2.6.2	Betonin kuivatus	41
3	Aikataulu	45
3.1	Menetelmien vaikutus aikatauluun	45

3.1.1	Holvimuottien työmenekki	45
3.1.2	Betonointikaluston työmenekit	46
3.1.3.	Raudoitustyömenekit	47
4	Tuotantomenetelmien valinta	48
4.1	Menetelmien valinta ja vertailu	48
4.1.1	Muottikaluston valinta ja vertailu	48
4.1.2	Rauditusmenetelmien valinta ja vertailu	48
4.1.3	Jälkihoitomenetelmien valinta ja vertailu	49
4.1.4	Valumenetelmien valinta ja vertailu	50
4.1.5	Betonimassan valinta	50
4.1.6	Kuivatus ja lämmitys	51
5	Valintaopas	52
6	Yhteenveto	56
	Lähteet	57

Lyhenteet

tth = työntekijätunti

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee paikallavaluholvien tuotantomenetelmiä. Työn tavoitteena on laatia valintaopas NCC Suomi Oy:n asuinrakennusyksikölle, siitä miten paikallavaluholvit kannattaa toteuttaa ja mitkä menetelmät on hyvä valita toteutukseen.

NCC Suomi Oy asuntorakentaminen rakentaa asuni kerrostaloja asiakkaiden tarpeen mukaan. Asuntorakentamis-yksikössä holvit tehdään pääosin ontelolaatoilla. Nykyään kun rakennetaan korkeampia asuinkehoja, on paikallavaluholvit yleistyneet asuinrakentamisessa. Samalla organisaation ymmärryksen lisääminen paikallavaluholvien tuotetekniikasta on tarpeen.

Opinnäytetyössä on vertailtu paikallavaluholvien eri muottikaluston ja raudoitusmenetelmien soveltuvuutta paikallavaluissa holveissa asuinrakentamistyömailla ja minkälaisissa tilanteissa mikä menetelmä on toimivin ja mitkä asiat vaikuttavat menetelmien valintaan. Työssä on tutkittu myös eri betonointi kaluston sopivuuksia holvien valutöissä ja mitä betonia tulisi käyttää ja kuinka jälkihoito on järkevin toteuttaa huomioiden laatan nopea kuivuminen. Työssä on vertailtu miten lämmitys kannattaa missäkin vaiheessa toteuttaa ja mitkä asiat toteutusmenetelmän valintaan vaikuttavat. Työssä käsitellään kuinka kuivatus kannattaisi toteuttaa olosuhteiden hallinnalla ja mitä kuivatus menetelmiä on betonin nopeampaa kuivatusta varten. Työssä on myös tutkittu erimenetelmien valinnan vaikutusta ja merkitystä työmaan aikatauluun ja talouteen.

Eri menetelmien vertailu teorian, haastatteluiden ja käytännön kokemusten perusteella koottujen tietojen tuloksena on muodostettu valintaopas, jonka on tarkoitus helpottaa paikallavaluholvien tuotannossa mitä asioita tulee huomioida missäkin tilanteessa.

2 Paikallavaluholvien tuotantotekniikka

2.1 Paikallavaluholvien tuotanto yleisesti

Paikallavaletut holvit ovat rakennusten ala-, väli- tai yläpohjina toimivia massiivisia betonilaattoja, jotka on valmistettu teräsbetonista. Paikallavalettavat holvit valmistetaan yleensä koko rakennuksen kerroksen alalla yhdellä kertaa, yksi kerros kerrallaan.

Paikallavaluholvit valmistetaan kokonaan paikallaan työmaalla, eikä esivalmistettuja laattaelementtejä käytetä. Osa rakennuksen holveista voidaan tehdä kuitenkin esimerkiksi ontelolaattaelementeillä ja osa paikallavalettuna. Usein korkeiden kerrostalojen alempien kerroksien holvit on tehty paikallavalettuna ja ylemmissä ja matalammissa siivikkeissä käytetään ontelolaattoja.

Paikallavalettavat holvit ovat työmaalla tehtäviltä työvaiheiltaan huomattavasti raskaampia kuin elementtilaatoilla tehtävät holvit. Paikallavaletuissa holveissa vaaditaan suuria muotteja, joiden kasaamiseen, purkamiseen, siirtoon ja varastointiin tarvitaan huomattavan paljon resursseja. Lisäksi holveissa raudoitetyöt tehdään suurelta osin paikan päällä. Paikalla tehtävä raudoitustyö vaatii huomattavasti enemmän resursseja ja aikaa, verrattuna laattaelementteihin, joissa työmaalla tehtävän raudoituksen määrä on huomattavasti pienempi. Kerralla valettava määrä holveissa on suuri, sillä laatta on yleensä noin 300 mm paksu massiivilaatta.

Paksujen betonilaattojen valun onnistumisen kannalta on tärkeää, että käytetään oikean laista betonia ja betonin jälkihoito tehdään oikeilla menetelmillä. Väärin tehdyt laatat voivat halkeilla, jolloin niiden rakenteellinen lujuus ei vastaa suunniteltua. Laatan kuivatukseen on myös kiinnitettävä erityistä huomiota, sillä laatat valetaan paikan päällä ja ne ovat massiivisia, kestää niiden kuivaminen pitkään, jos siihen ei osata varautua oikeilla menetelmillä.

2.2 Muottikalusto

Holvilaatan muotiksi soveltuvat hyvin vakiopalkit ja muottilevyt, pöytämuotti, holvin kasettimuotti, kulma- ja tunnelimuotti ja kupu- ka ripalaattamuotti. Näistä yleisimmin käytössä asuinrakennustyömailla on vakiopalkit ja muottilevyt ja holvin kasettimuotit, myös pöytämuotteja voidaan käyttää, mutta niiden suuren koon vuoksi niitä harvoin päästään tehokkaasti käyttämään. Lauta ja levymuottien käyttö on todella työlästä, kulma- ja tunnelimuotti ja kupu- ka ripalaattamuotti eivät sovellu myöskään malliensa tai käyttötapansa vuoksi asuinrakennus kohteiden holveihin. [2.]

Alemmassa taulukossa 1 on esitetty, miten eri muottityypit sopivat eri rakenneosien muoteiksi. [2.]

Taulukko 1. Eri muottityyppien soveltuvuus muoteiksi

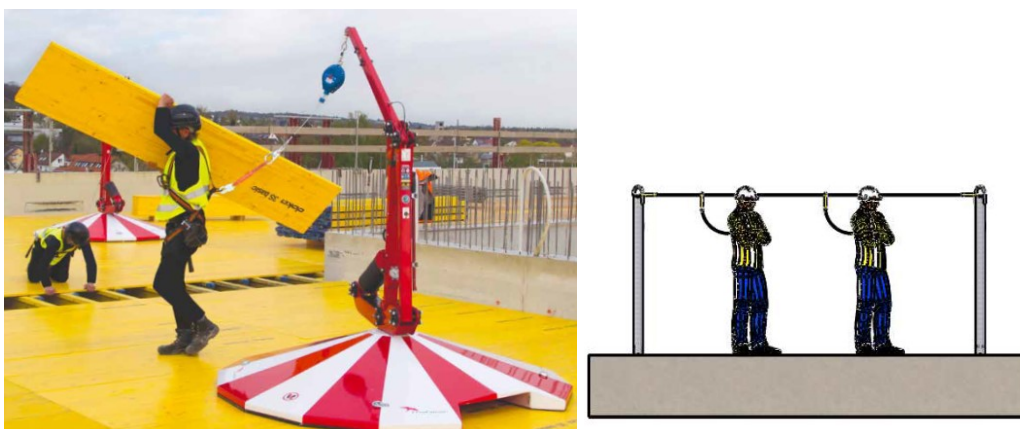
Muottityyppi	Seinä	Laatta	Pilari	Palkki	Perustus		Väestönsuoja		Porras- ja hissikuilu	
					Seinä-rakenteet	Holvi-, palkki- ja pilari rakenteet	Seinä-rakenteet	Holvi-rakenteet	Seinä-rakenteet	Holvi-rakenteet
Suurmuotti	xx						x			
Kulma- ja tunnelimuotti	xx	xx								
Kasettimuotti	xx	x	xx	x	xx		xx	xx	xx	
Lauta- ja levymuotti	x	x	x	x	xx	xx	xx	xx	xx	xx
Sidejärjestelmämuotti	xx				xx		x			
Vakiopalkit ja muottilevyt	xx	xx	xx		x		x		x	x
Pöytämuotti		xx								
Holvin kasettimuotti		xx		x				xx		
Kupu- ja ripalaattamuotti		xx						x		
Palkkimuotti				xx						
Pilarimuotti			xx							

2.2.1 Putoamissuojaus

Muottitöissä putoamissuojaus tarvitsee suunnitella niin, että muottien asentaminen on turvallista. Muotilevyt asennetaan usein ylhäältä käsin, joten putoamissuojaus on välttämätön. Holvin reunakaiteet päästään asentamaan vasta kun muottia aletaan tekemään, joten valjaiden käyttö muottia kasatessa on pakollista. Valjaiden kiinnitykseen on olemassa kiinnitysmastoja ja lifelinejä.

Valjaiden kiinnitykseen parhaaksi tavaksi on NCC:n Ankkurin työmaalla todettu FreeFalcon siirrettävä kiinnitysmasto. Kiinnitysmasto mahdollistaa 360° liikkuvuuden maston ympärillä ja jopa 10metrin työskentelysäteen. Siinä kiinnitys piste sijaitsee pään yläpuolella, jolloin valjaiden tarraimet toimivat paremmin, eikä kompastumisvaaraa ole. Se on helposti siirrettävissä nosturilla tai pumppukärryillä, eikä sitä tarvitse erikseen kiinnittää vaan on heti käyttövalmis. [24.] [19.]

Alemmassa kuvassa 1. FreeFalcon kiinnitysmasto käytössä muottityössä [24.] ja Lifeline-liina-järjestelmä. [25.]



Kuva 1. FreeFalcon kiinnitysmasto sekä Lifeline-liina-järjestelmä

Vepen Lifeline on järjestelmä, missä Lifeline-liina kiristetään kahden tolpan väliin tiukaksi ja valjaiden köysi kiinnitetään liinaan. Tolppien välinen etäisyys saa olla enintään 20 metriä ja siinä saa työskennellä kaksi henkilöä kerrallaan. Lifeline-tolpat asennetaan elementteihin holkkien avulla. [25.]

2.2.2 Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmä

Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmä on yleisimmin käytössä oleva holvimuottijärjestelmä. Järjestelmään on NCC:n työmailla käytössä kahta eri tuotetta, Dokan Dokaflex 1-2-4 ja Perin MULTIFLEX -holvimuottijärjestelmät. Ne ovat toimintaperiaatteiltaan, asennustavalla ja työmenekin suhteen samanlaiset tuotteet. Järjestelmä on käytössä NCC:n paikallavalukohteissa ja on osoittautunut toimivaksi asuinrakennuskohteisiin.

Alemmissa kuvissa 2. ja 3. NCC:n Ankkurin työmaalla Dokan vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän kasausta. [Lähde: NCC Ankkuri, Espoo Viikkotiedote vk 6/2021 ja vk 5/2021.]



Kuva 2. Dokan vakiopalkkien ja muottilevyjen kasausta

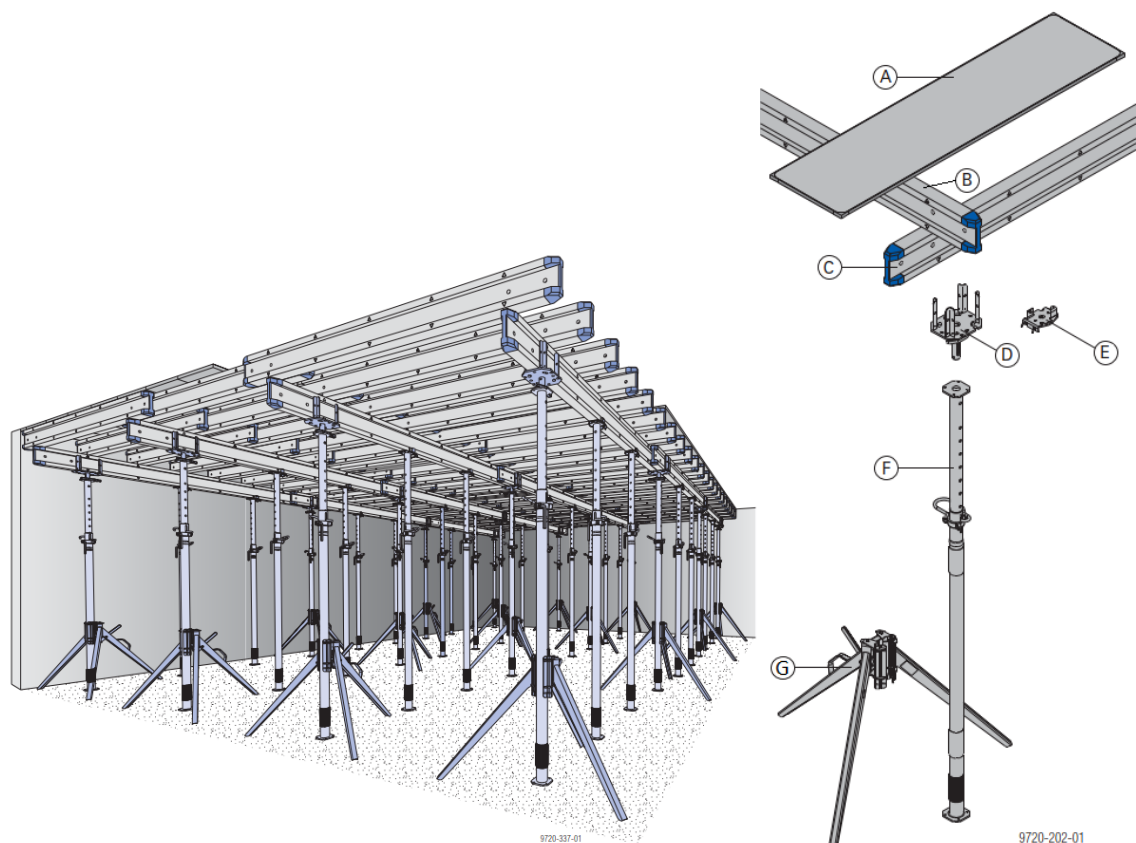


Kuva 3. Dokan vakiopalkkien ja muottilevyjen kasausta

Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmä koostuu tukijaloista, holvituista, välituista, holvituen ja välitukien haarukkapäistä, niska- ja koolauspalkkeista, muottilevyistä ja erilaisista tuesta. [5 s.10-11.] Muottijärjestelmä soveltuu kaikkiin pohjaratkaisuihin, sen helpon muokattavuuden vuoksi. Muotin leveyttä voi säätää helposti palkkien limitystä säätämällä. Muottipinnan voi valita järjestelmään vapaasti haluamakseen. Järjestelmä soveltuu erityisen hyvin asuinrakennuksiin, joissa on suljetut tilat ja laatta on kauttaaltaan tuettuna seiniin. [5 s.10.]

Alemmassa kuvassa 4. on esitetty valmiiksi kasattu vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmä. [5.]

Alemmassa kuvassa 5. esitetty vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän eri osat. Osat ovat: (A) Muottivaneri tai muottilevy, (B) Koolauspalkki, (C) Niskapalkki, (D) Tukihaarukka, (E) Välituen haarukka tai kiertopää, (F) Holvituki, (G) Tukijalka [5.], [6.]



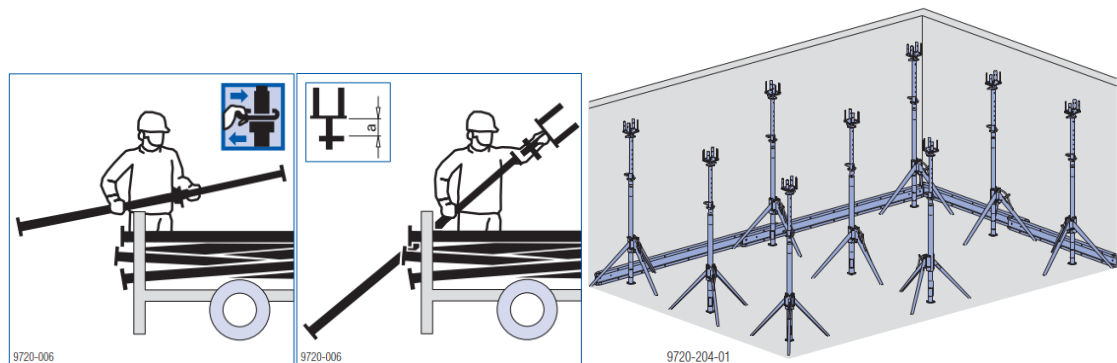
Kuva 4. Valmiiksi kasattu vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmä

Kuva 5. Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän eri osat

2.2.2.1 Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän kasaus

Työt aloitetaan jakamalla niska- ja koolauspalkit alueen reunoille ja säätämällä holvituet karkeasti oikeaan korkeuteen holvituen lukituspulteilla (Kuva 6. 1). Holvitukien karkeaa korkeussäätöä helpottaa holvituissa oleva numerointi. Kun holvituet on säädetty, asennetaan niihin haarukkapäät (Kuva 6. 2). Tukijalat jaetaan ja pystytetään alueelle, jonka jälkeen niihin asennetaan ja kiristetään esisäädetyt holvituet (Kuva 6. 3). Jos tukijalkoja ei pystytä kääntämään kokonaan auki tulee tukijalka kiinnittää holvitukeen, jonka jalat pystyvät kääntymään kokonaan auki. [5.]

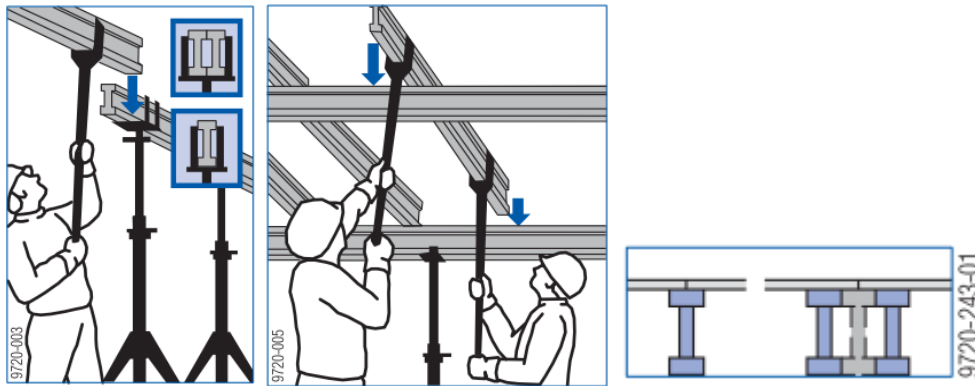
Alemmissa kuvissa 6. on esitetty vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän kasauksen aloittavat työt. [5.]



Kuva 6. Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän kasauksen aloittavat työt

Kun tukijalat ovat paikallaan, asetetaan niskapalkit asennushaarukalla haarukkapäihin, jonka jälkeen niskapalkit säädetään oikeaan korkeuteen. Säädön jälkeen koolauspalkit nostetaan asennushaarukoilla niskapalkkien päälle limittäin, merkkien mukaan oikeisiin kohtiin, niin että koolauspalkkien etäisyys toisistaan ei ole yli yhtä merkkiä (Kuvat 7. 1,2). On huomioitava, että jokaisen levyn liitoskohdan alle on tultava palkki tai tuplapalkki (Kuva 7. 3). Niskapalkkien jälkeen säädetään ja asennetaan välituet niskapalkkeihin. Välitukia on asennettava niin, että tukien välissä ei ole yli kahta merkkiä. [5.]

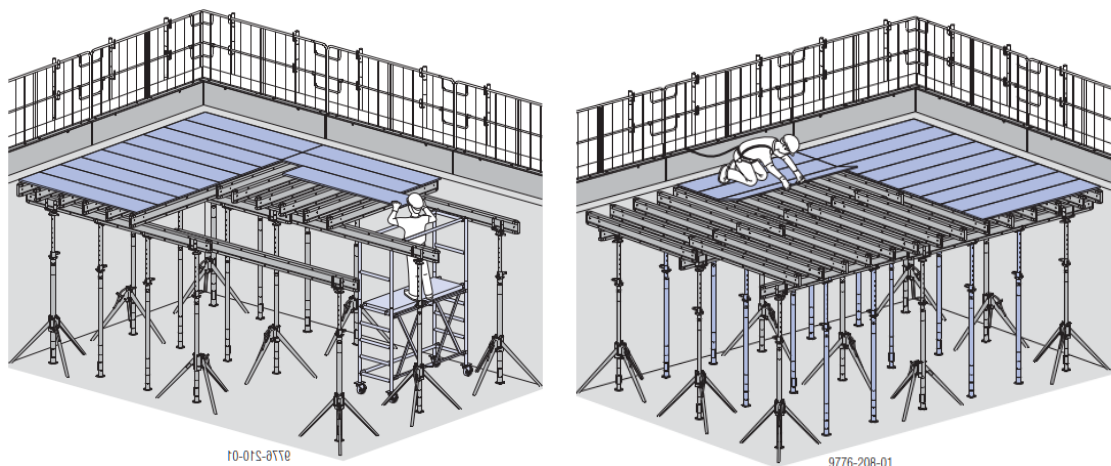
Kuvissa 7. on esitetty vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän palkkien nosto ja sijoittelu. [5.]



Kuva 7. Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän palkkien nosto ja sijoittelu

Muottilevyt voidaan asentaa joko ylhäältä tai alhaalta. Muottilevyt asennetaan poikittais-suunnassa koolauspalkkeihin nähden. Alhaalta käsin kasattavassa muotissa asennetaan koolauspalkkeja, muottilevyjä ja välitukia samaan tahtiin niin, että telineitä voidaan siirtää holvitukien välissä (Kuva 8. 1). Jos muotti kasataan ylhäältä käsin, voidaan koolauspalkit ja välituet alhaalta ensin, ja sen jälkeen muottilevyt ylhäältä valjaita käyttäen (Kuva 8. 2). Kun muotin kasaus on valmis, ruiskutetaan muottilevyille irrotusainetta. [5.]

Alemmissa 8. kuvissa on esitetty vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän muottilevyjen asennuksen ylä- ja alapuolelta. [5.]

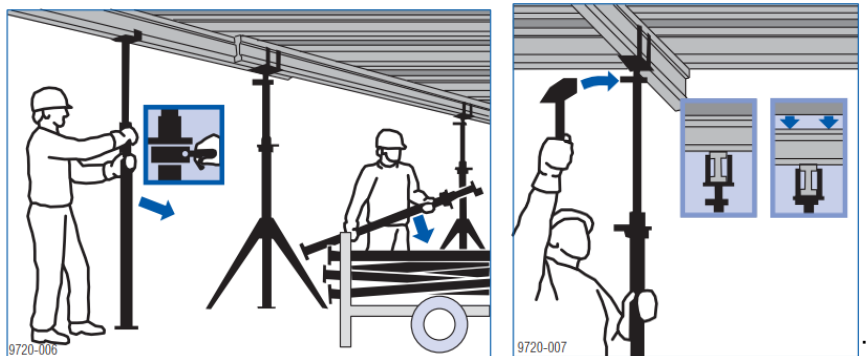


Kuva 8. Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän muottilevyjen asennuksen ylä- ja alapuolelta

2.2.2.2 Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän purku

Purkaminen alkaa irrottamalla ensin välituet (Kuva 10. 1) ja sitten pudottamalla muotti iskemällä haarukassa olevaan pudotuskiilaan, jolloin haarukkapää vapautuu ja putoaa alemmas (Kuva 10. 2). Seuraavaksi kaadetaan koolauspalkkeja niin, että jäljelle jää vain levyjen liitoskohdissa olevat koolaukset (Kuva 11. 3). [5.]

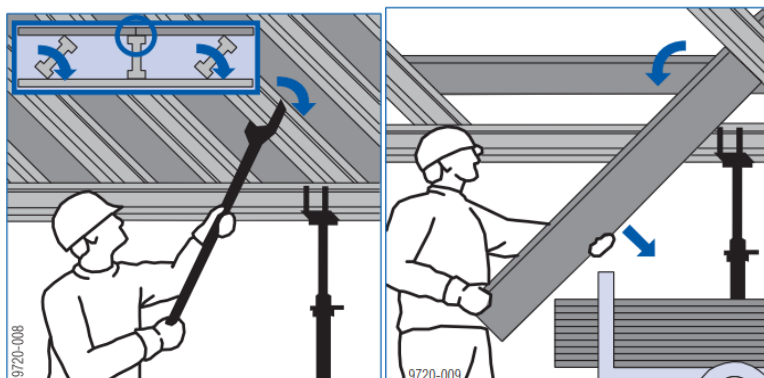
Alemmissä kuvissa 9. on vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän purun työvaiheita. [5.]



Kuva 9. Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän purun työvaiheita

Muottilevyjen irrottaminen on mahdollista, kun välikoolaukset on poistettu (Kuva 11. 4). Kun muottilevyt on irrotettu, poistetaan loput koolaus- ja niskapalkit. Lopuksi puretaan holvituet ja tukijalat. Kaikki muotti tavarat asetetaan siirtoa varten kuljetus- ja varastointikehikkoihin. Kun muotti on kokonaan purettu, asennetaan jälkituet, jälkituet on asennettava viimeistään ennen yläpuolisen holvin betonointia. [5.]

Kuvissa 10. on vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän purun työvaiheita. [5.]



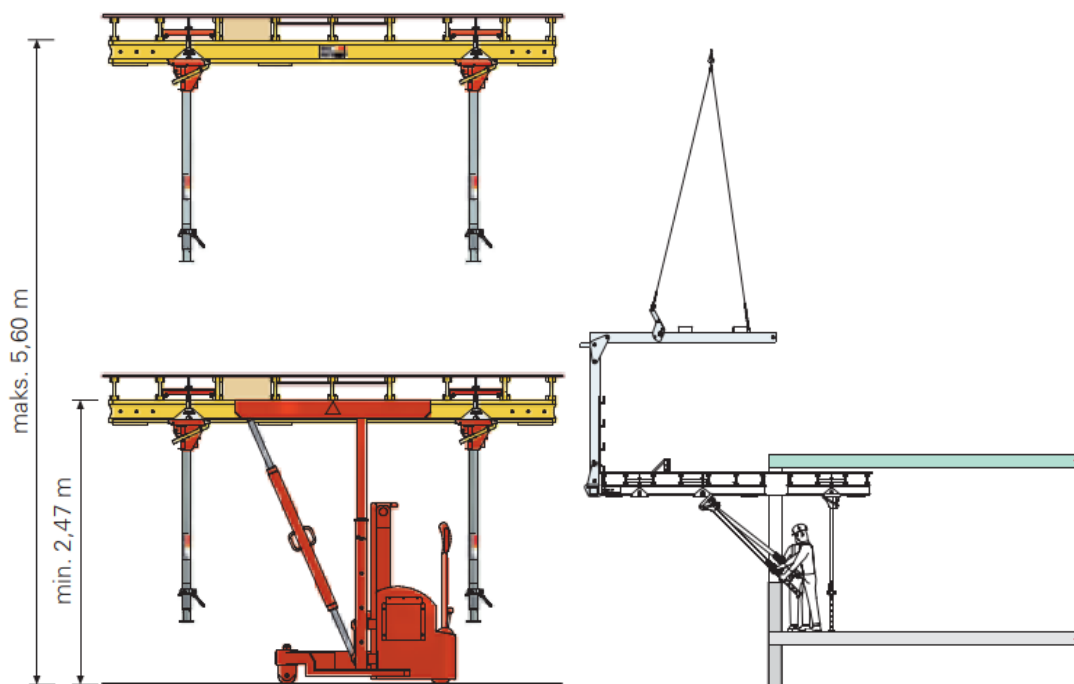
Kuva 10. Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmän purun työvaiheita

2.2.3 Pöytämuotti

Pöytämuotit ovat esivalmistettuja muotteja, joilla säästetään työ- ja nosturiaikaa. [5.] Muotit ovat yleensä 200mm x 400mm – 250mm x 500mm kokoisia. [7.][8.] Muottien suuren koon vuoksi vaaka ja pystysirtoihin tarvitaan suuret aukot, jotta 2 metriä leveät ja 4 metriä pitkiä muotteja mahtuu liikuttamaan kerroksessa ja siirtämään ulos. Muottien siirrot vaakasuunnassa onnistuu yhden miehen voimin koneellisesti. [5.] Pystysuunnassa muotit siirretään nosturilla nostohaarukkaa apuna käyttäen. [7.][8.]

Pöytämuotteja voi harvoin asuinkerrostaloissa käyttää, joissa on kantavat betoniväliseinät ja ulkoseinät, joissa ovi ja ikkuna aukkojen koot eivät mahdollista muottikaluston siirtoa.

Kuvissa 11. esitetty muotin siirto muotin siirtoon tarkoitettulla koneella ja nosto nostohaarukan ja kääntyvien tukijalkojen avulla kapeasta aukosta ulos. [8.]



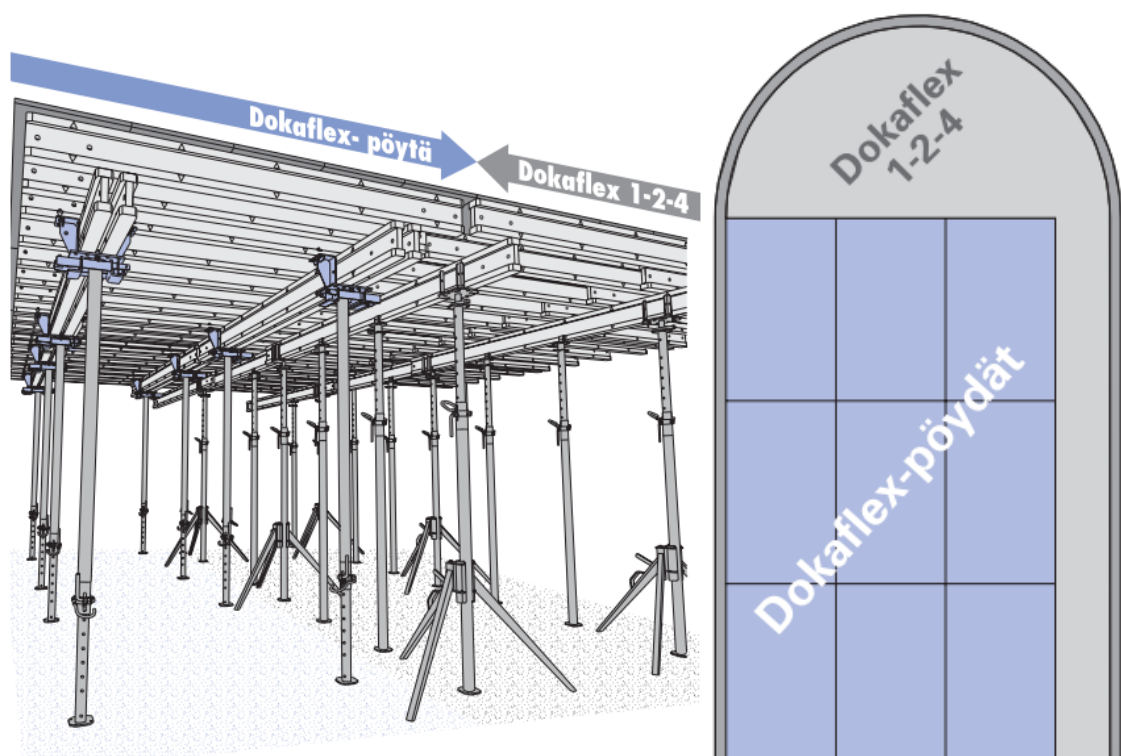
Kuva 11. Muotin siirto muotin siirtoon tarkoitettulla koneella ja nosto nostohaarukan ja kääntyvien tukijalkojen avulla kapeasta aukosta ulos

2.2.3.1 Dokamatic ja Dokaflex -pöytämuotti

Dokamatic-pöytämuotit ovat yhdisteltävissä Dokaflex 1-2-4 -järjestelmän kanssa, koska ne on kasattu saman järjestelmän osista. Järjestelmien yhdistelmällä holvin ala ei ole sidoksissa pöytämuottien jakoon, vaan suuret alat voidaan tehdä pöytämuotilla ja reunat ja muodot voidaan tehdä 1-2-4-järjestelmällä. Tällä tavoin saadaan laajoilla alueilla pöytämuottien tehokkuuden hyödynnettyä, eikä koko aluetta tarvitse tehdä vakio-palkit ja levyt järjestelmällä, joka on huomattavasti hitaampaa. [5.][7.]

Yhdistelmämuottien käytön edellytyksenä on sama kuin pöytämuoteilla, se vaatii suuret vapaat tilat pöytien liikuttamiseen koneella ja suuret aukot, joista muotit saadaan siirrettyä ulos. Muottijärjestelmä ei ole yleensä käytettävissä asuinkerrostalotyömailla niiden ahtaiden tilojen sekä väli ja ulkoseinäelementtien pienten aukkojen takia.

Kuvissa 12. esitetty Dokaflex-pöytämuotin ja Dokaflex 1-2-4 -vakio-palkit ja muottilevyt -järjestelmän yhdistelmän periaate. [7.]



Kuva 12. Dokaflex-pöytämuotin ja Dokaflex 1-2-4 -vakio-palkit ja muottilevyt -järjestelmän yhdistelmän periaate

2.2.4 Holvin kasettimuotti

Yksi holveihin käytettävä kasettimuotti on PERI SKYDECK -järjestelmä, joka on kevytaluuminen kasettimuotti holveihin. Tuote on kustannustehokas teollistuneissa maissa, missä työnhinta on korkea. [8.] SKYDECK-kasettimuotti koostuu holvikaseteista, niskapalkeista, peitelistoista, pudotuspäistä ja tukijaloista, sekä täyttöpalkeista ja -osista muottien reunoilla ja pilareiden ympärillä. [9.]

Osat ovat kevyitä niskapalkit ja elementit painavat 15,5 kg per osa, jonka ansioista yksi henkilö riittää siirtämään osia. [9 s.3,4.] Muottijärjestelmällä voidaan toteuttaa vakioratkaisuilla 430 mm paksuisia ja 750 mm elementti jaolla 1090 mm paksuisia laattoja. [9.]

Järjestelmällä tolppien välille jää toiseen suuntaan 1,5 metriä vapaata tilaa ja toiseen suuntaan 2,25 metriä.

Kuvassa 13. PERI SKYDECK -järjestelmä pystytettynä. [9.]



Kuva 13. PERI SKYDECK -järjestelmä pystytettynä

Työt aloitetaan asentamalla tuki- tai pudotuspäät tukijalkoihin, niskapalkit kiinnitetään tuki- tai pudotuspäihin, jonka jälkeen tuki nostetaan pystyyn ja holvikasetit ladotaan paikalleen (kuva 14. 1). Holvikasetit voidaan myös asentaa alhaalta käsin henkilönostimella (kuva 14. 2). Muotin purkaminen tapahtuu avaamalla muotin lukitus iskemällä vasaralla lukituskiilaan, jolloin muotti putoaa 60 mm alaspäin. Tämän jälkeen holvikasetit puretaan niin, että ensiksi puretaan keskimäinen kasetti, jonka jälkeen viereiset. Lopuksi niskapalkit päästään irrottamaan ja vain pudotuspäillä varustetut holvituet ja peitelistat jäävät paikoilleen jälkituenta varten. [9 s. 4-7.]

Kuvissa 14. esitetty PERI SKYDECK -järjestelmän kasausta. [9.]



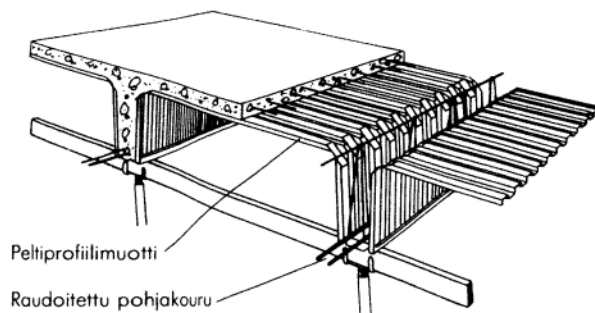
Kuva 14. PERI SKYDECK -järjestelmän kasausta

2.2.5 Kupu- ja ripalaattamuotti

Kupu- ja ripalaattamuotteja harvemmin käytetään asuinrakennuksissa.

Ripalaattamuotteja käytetään lähinnä julkisten rakennusten ja teollisuusrakennusten välipohjissa [10 s.2.] Muotit ovat lujitettua muovia ja terästä, jolloin teräsprofili jää osaksi valmista rakennetta. Muotti koostuu tukijärjestelmän ja niskapalkkien päälle asennettavista valmiiksi raudoitetuista pohjakouruista ja näiden varaan asennettavista peltiprofiileista.

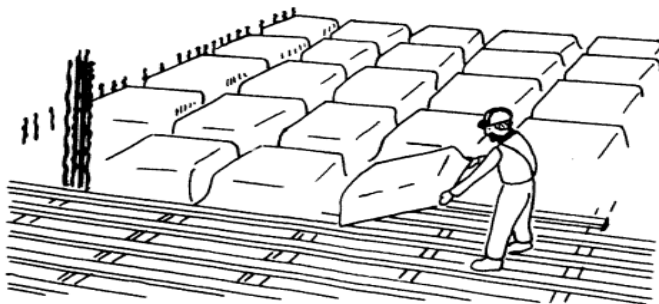
Kuvassa 15. kuva ripalaattamuotista [10 s.2.]



Kuva 15 Ripalaattamuotti

Kupumuottia käytetään kevennetyn laatan muottina, jossa lujitetusta muovista valmistettu kuppimainen muotti muodostaa muottipinnan. Muotti asennetaan paikallatehdyn puu- tai teräsrunгон tai kannatinjärjestelmän päälle. Kupumuotit voidaan myös asentaa pöytämuottien päälle. [10 s.2.]

Kuvassa 16. kuva kupumuotista [10 s.2.]



Kuva 16. Kupumuotti

2.3 Rauditusmenetelmät

Raudoituksissa käytettäviä betoniteräksiä voidaan jakaa kolmeen eri pääluokkaan: terästangot, teräsverkot ja matto- tai rullaraudoitteet.

Holvit raudoitetaan kahdessa kerroksessa, kerroksia kutsutaan yläpinnan ja alapinnan raudoitteiksi. Alapinnan raudoitustyöt aloitetaan, kun muottityöt ovat valmiita. Alapinnan raudoitteina holveissa käytetään yleensä joko irtoteräksillä tai mattoraudoitteilla. Alapinnanraudoitteiden jälkeen asennetaan yläpinnan raudoitteen tukipukit ja holvilla tehdään tarvittavat LVIS-työt, jotka jäävät betonivalun sisään. Lopuksi tehdään yläpinnan raudoite.

Kuvassa 17. NCC:n Ankkurin työmaalla valmis muottipinta ennen raudoitustöiden aloitusta. [Lähde: NCC Ankkuri, Espoo Viikkotiedote vk 38/2020.]



Kuva 17. Valmis muottipinta

Kuvassa 18. NCC:n Ankkurin työmaalla alapinta valmiina ennen LVIS-töiden ja tukipukien asennuksia. [Lähde: NCC Ankkuri, Espoo Viikkotiedote vk 27/2020.]



Kuva 18. Valmis alapinta

Kuvissa 19. NCC:n Ankkurin työmaalla raudoituksen sisään jäävät sähkö ja putkiasennukset. Ensimmäisessä kuvassa on asennettu alapinnan raudoitteet, tukipukit ja sähköt. Toisessa kuvassa valmis raudoitus valutöiden alettua. [Lähde: NCC Ankkuri, Espoo Viikkotiedote vk 51/2020 ja vk 49/2020.]



Kuva 19. Vas. alapinnan raudoitteet, tukipukit ja sähköt. Oik. valmis raudoitus valutöiden alettua

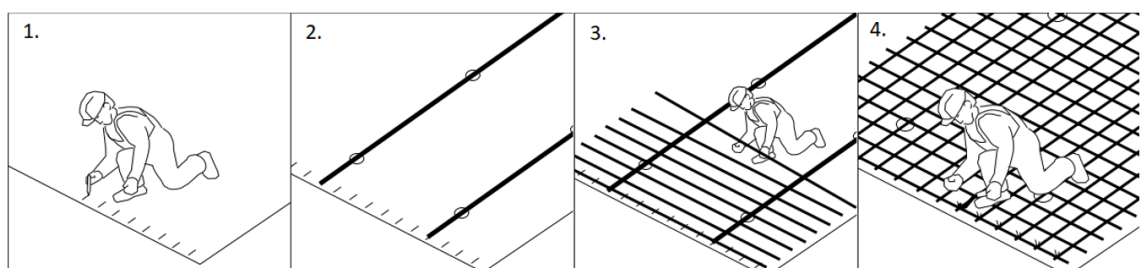
2.3.1 Raudoitus irtoteräksillä

Irtoteräksillä holvin raudoituksessa teräkset tulevat pitkinä tankoina, jotka yksitellen asennetaan paikoilleen käsivoimin. Raudoitus koostuu yleensä työtangoista, ala- ja yläpinnan raudoitustangoista ja tukipukeista.

Irtoteräksien on yleisin käytetty menetelmä holvien raudoittamiseen. Irtoterästen käsittely on helppoa ja niillä voidaan toteuttaa pitkiäkin jännevälejä, jotka on toteutettava rakenteellisista syistä ilman jatkoksia. Teräkset eivät sido nosturia kokoaikaisesti työn ajaksi, vaan niput voidaan nostaa holville tarpeen mukaan. [18, 19.]

Työt alkavat merkkimalla muottipintaan tankojako (Kuva 20. 1). Kun tankojako on merkattu, asennetaan työtangot, merkkeihin yleensä 1-1,5 metrin välein korokkeiden varaan (Kuva 20. 2). Työtankojen jälkeen asennetaan alin tankokerros merkkien mukaan, jos työtankoja ei käytetä, asennetaan alimman kerroksen tangot suoraan korokkeiden päälle. Alimman tankokerroksen jälkeen asennetaan toisen suunnan päätangot tai jakotangot (Kuva 20. 3). Tangot sidotaan koko raudoituskentän ympäri jokaisesta risteyskohdasta, jonka jälkeen sidotaan joka toinen tai joka kolmas rivi 45 asteen kulmassa. On huolehdittava, että tangot pysyvät suorassa ja sidontasuuntaa on vaihdeltava, jotta raudoitteesta saadaan jäykempi (Kuva 20. 4). [4.]

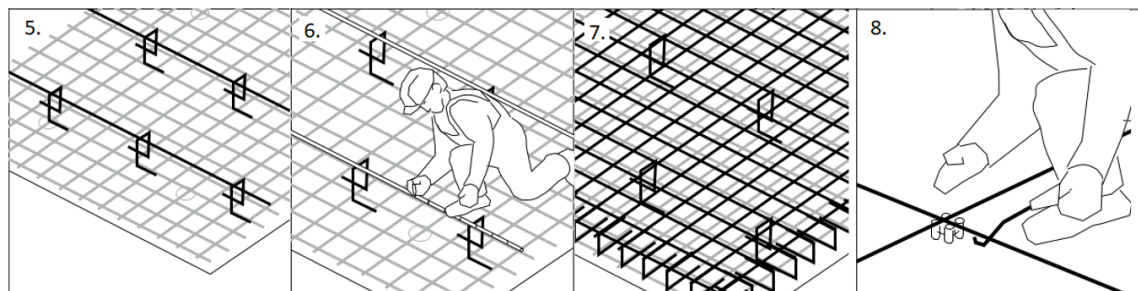
Alemmassa kuvassa 20. on esitetty irtoteräksillä tehtävän raudoituksen työvaiheet (1-4). [3.]



Kuva 20. Irtoteräksillä tehtävän raudoituksen työvaiheet

Kun alapinta on valmis, asennetaan yläpinnan työtankojen tukipukit tai valmiit tukiansaat, jotka sidotaan 600-800 mm väleillä työtankolinjoihin. Työtankoina tulee käyttää 10-16 mm tankoa, niin että tanko on vähintään seuraava paksuus tuettavista tangoista (Kuva 21. 5). Yläpinnan tankojako merkitään tukipukkien päällä oleviin työtankoihin (Kuva 21. 6). Merkkien jälkeen yläpinnan tangot sidotaan toisiinsa merkit kohdistuen niin, että jokainen tanko sidotaan vähintään kolmesta pisteestä. Tangot oiotaan alapuolen raudoituksen suuntaisesti ja sidotaan reunimmaisiiin tukitankoihin (Kuva 21. 7). Alapuolinen raudointi tuetaan betoninsuojakerroksen paksuuden korkuisilla välikkeillä työtankojen väliltä. Jokaisen tukipukin alle on asennettava 1 tai 2 välikettä ja joka toiseen tai joka kolmanteen sidoskohtaan (Kuva 21. 8). [3.]

Alemmassa kuvassa 21. on esitetty irtoteräksillä tehtävän raudoituksen työvaiheet (5-8). [3.]



Kuva 21. Irtoteräksillä tehtävän raudoituksen työvaiheet

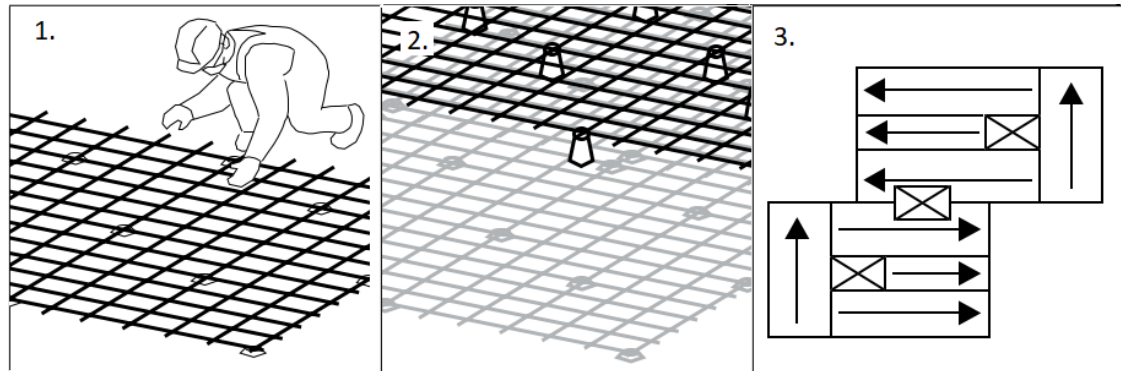
2.3.2 Verkkoraudointi

Verkkoraudoiteissa raudoituksen tangot on hitsattu toisiinsa kiinteäksi verkoksi. Verkot ovat vakiokokoisia, yleisin mitta yhdelle verkolle on 2350×5000mm.

Verkkoraudoitteiden käyttö holvien raudoittamisessa ei ole yleensä mahdollista, sillä holveissa on usein pitkiä jännevälejä, jopa 12 metriä tuelta tuelle. Jännevälien raudoitteiden tulee olla jatkamattomia, eikä verkkoraudoitteita saa näin suurille jänneväleille. Suurien verkkojen siirto ja asennus olisi myös hyvin hankalaa, jonka takia näiden käyttö on usein mahdotonta asuinrakennusten holveissa. Verkkojen leikkaaminen ja sovitukset aukkoihin ja muihin muotoihin sopivaksi on myös todella työlästä. [18, 19.]

Verkkoraidoiteissa laatan alapinnan rauditusverkko asennetaan muottiin jännevälinsuuntaisesti, jonka jälkeen verkot tuetaan korokkeilla, jotka betoninsuojakerroksen paksuuden korkuisia (Kuva 22. 1). Alapinnan rauditusverkkojen päälle asennetaan tukipuit tai valmiit ansaat, joidenka varaan yläpinnan verkot asennetaan (Kuva 22. 2). Kun asennustyö on valmis, leikataan tarvittavat aukot ja vahvistetaan aukkojen reunat yksittäisteräksillä (Kuva 22. 3). [3.]

Alemmassa kuvassa 22. on esitetty verkkoraidoituksen eri työvaiheet 1-3. [3.]



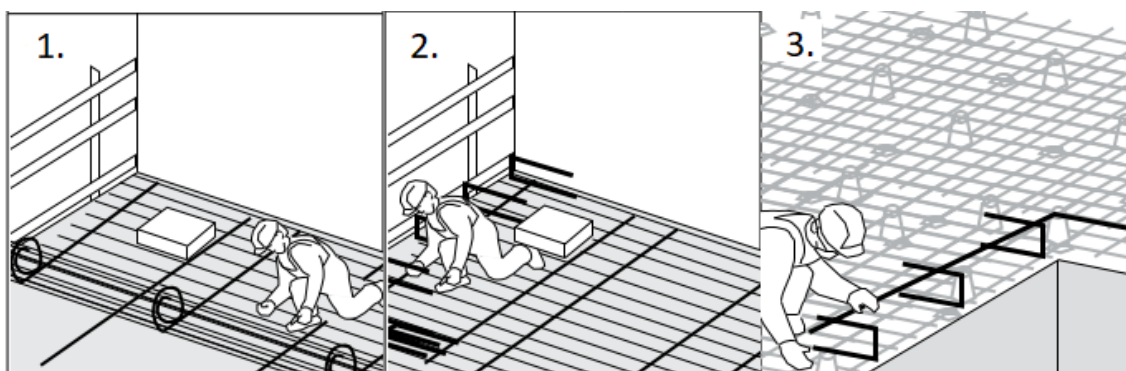
Kuva 22. Verkkoraidoituksen eri työvaiheet 1-3

2.3.3 Rulla- tai mattorausdoitteet

Rulla- ja mattorausdoitteita on pohjoismaissa käytetty vasta vähän aikaa ja niillä tarkoitetaan samanlaista raudoitusmenetelmää. Rullarausdoitteilla voidaan vähentää huomattavasti paikallatehtävän raudoituksen määrää ja aikaa. Rullarausdoitteissa betoniterästan-
got ovat samansuuntaisesti toisiinsa kiinnitettynä joko hitsattuina teräsvanteilla tai me-
kaanisesti teräslangoilla. Rulla raudoitteet ovat esivalmistettuja raudoitteita, jotka tulevat
työmaalla tai valmistetaan työmaalla suunnitelmien mukaisesti, niiden yhteydessä käy-
tetään tavallisesti esivalmistettuja raudoitteita. Rullarausdoitteen ja niiden yhteydessä
käytettävien esivalmistettujen raudoitteiden avulla pystytään pitämään holvilla tehtävän
raudoituksen osuus mahdollisimman pienenä. [3.]

Raudoitus tehdään nostamalla ensin oikea rulla holville oikeaan sijaintiin. Varmistetaan,
että rullan aukeamissuunta on oikea ja asemoidaan se tarkasti alkuasemaan (Kuva 23.
1). Kun rulla on asemoitu, katkaistaan sidoslangat tai -pannat ja rullaa aletaan avata
holville. Samalla kun rullaa avataan, on varmistettava, että raudoite asettuu reunan, auk-
kojen ja varauskohtien mukaan siten, että betonin suojapaksuus täyttyy. Avaaminen ta-
pahtuu useimmiten jalkavoimia käyttäen. Asemointia on sitä helpompi muuttaa, mitä vä-
hemmän rullaa on avattu, joten aloitus on tärkeä katsoa tarkasti (Kuva 23. 2). Kun alempi
raudoituskerros on asennettu, asennetaan ja kiinnitetään valmisraudoitteet alempaan
raudoituskerrokseen, jonka jälkeen asennetaan yläraudoite (Kuva 23. 3). Usein alapi-
nan raudoite tehdään rullarausdoitteilla ja yläpinnat raudoitetaan irtoteräksillä. [3.] [19.]

Alemmassa kuvassa 23. on esitetty rullarausdoitteiden eri työvaiheet 1-3. [3.]

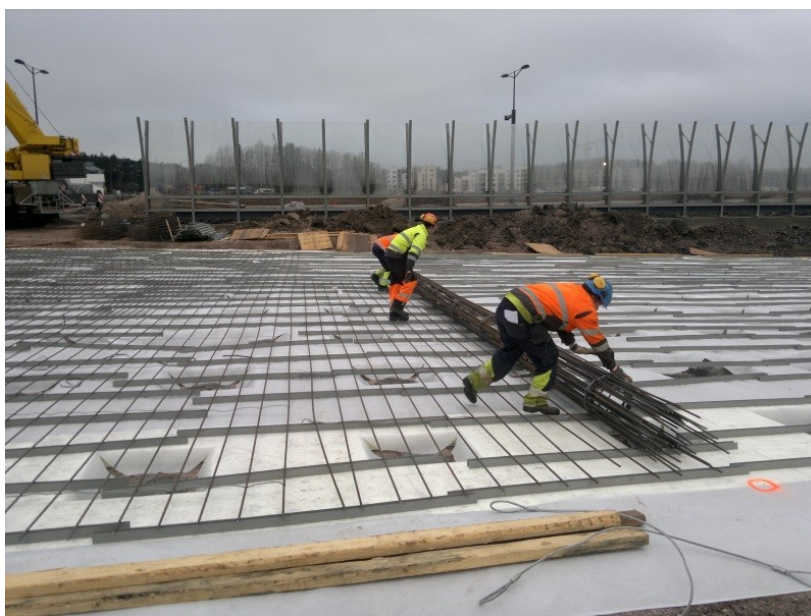


Kuva 23. Rullarausdoitteiden eri työvaiheet 1-3

Rulla- tai matoraudoitteet soveltuvat hyvin selkeisiin isoihin kenttiin, joissa ei ole paljon tartuntoja, pystyteräksiä, hankalia muotoja ja miten porrashuone tulee kohteeseen. Raudoitettavan holvin tartunnat aiheuttavat sen, että rullaa joudutaan nostamaan tartuntojen yli, joka hidastaa huomattavasti raudoitteiden asennusta. On osoittautunut helpommaksi asentaa pystysaumateräksiset vasta rullaraudoitteiden jälkeen, jolloin pystysaumojen aukot tuetaan työsaumaverkoilla ja pystysaumapumppaus tulee vasta kerroksen jäljessä holvivalusta. [19.]

Rullien ongelmana on myös todella tarkka asemointi ennen sen avaamista, jotta raudat osuvat oikein kentälle, tämä on osoittautunut hyvin hankalaksi kohteissa, joissa on hankalia muotoja. Menetelmä sitoo huomattavasti enemmän nosturin käyttöä asennustyöhön, verrattuna muihin menetelmiin. Teräksiä yhdessä pitävät pannat ovat osoittautuneet ongelmallisiksi asuinrakennusten välipohjissa. Välipohjien betonin suojapaksuus on yleensä melko pieni 25 mm, jolloin pannat jäävät helposti makaamaan muottipintaa vasten. Valun jälkeen pintaa vasten jääneet pannat ovat jääneet näkyviin, jolloin niitä on jouduttu piikkaamaan, jotta niistä ei irtoaisi ruostetta ja puskisi sitä tasoitteen läpi. [19.]

Alemmassa kuvassa 24. matoraudoitusrullan avaamista kolmen työntekijän voimin. [15.]



Kuva 24. Matoraudoitusrullan avaamista kolmen työntekijän voimin

2.3.3.1 BAMTEC-mattorautoite

Bamtec-mattorautoite on saksalainen patentoitu järjestelmä, jossa saman suuntaiset betoniteräksiset on hitsattu yhteen ohuisiin 1,5 m jaolla oleviin teräsvanteisiin raudoitus-suunnitelmien mukaisesti. Maton leveydet vaihtelevat 2:sta metristä 15 metriin, jossa betoniteräskankoja on 50-300 mm jaolla. Teräskangot voivat olla 8-32 mm, mutta yhteen mattoon on hyvä valita toisiaan lähellä olevia tankopaksuuksia, esimerkiksi 10, 12, ja 16 mm tankoja. Yksimatto voi painaa enintään 1500 kg ja sen halkaisija voi olla 600 mm. [14, 15, 16.]

Mattorautoitteet suunnitellaan aina kohteen raudoitussuunnitelmien mukaan. Laatan muodot ja aukot huomioidaan jo tehtaalla maton valmistuksessa, jotta työmaalla tehtävä työ jäisi mahdollisimman vähäiseksi. Matto nostetaan nosturilla asennusvälikkeiden tai tukien päälle ja avataan pakkaussiteet. Tämän jälkeen matto kohdistetaan ja suunnataan oikein, jonka jälkeen käsityönä rullataan matto auki. Mattojen asentamiseen menee yleensä noin 10minuuttia, riippuen maton koosta ja ominaisuuksista. Kolmen asentajan ryhmällä mattoja saadaan asennettua 20-30 tn työpäivässä. [14, 15, 16.]

2.3.3.2 SpinMaster-mattorautoitteet

SpinMaster-menetelmällä valmistetut mattorautoitteet valmistetaan ilman hitsausta. Tehtaalla kone sitoo tangot oikeille väleille kahden teräslangan avulla, jotka kone pyörittää toistensa ympärille, niin ettei tangot pääse sidonnan jälkeen liikkumaan. Asennusaikaa raudoitteilla voidaan vähentää jopa 80% perinteisiin raudoitteisiin verrattuna ja kokonaissäästöt voivat olla jopa 25%. [17.]

2.4 Betoni

Betonimassa koostuu sementistä, kiviaineksesta ja vedestä, usein betonissa käytetään myös erilaisia seos- ja lisäaineista. Betonimassan ominaisuuksia saadaan muutettua säätelemällä aineiden suhteita. Lisä- ja seosaineilla voidaan parantaa massan työstettävyyttä, säädellä massan tiiveyttä, lujuutta ja säilyvyysominaisuuksia. [1 s. 25.]

Rakennussuunnitelmat asettavat reunaehdot betonimassan valinnalle, niissä on määritetty massan lujuusluokka, maksimiraekoko, kuormitukset, palonkestoluokat, suunnitellut käyttöiät, rasitusluokat, betonipeitteen nimellisarvon, pinnan luokat ja toleranssit. Työmaalla käytettävä massa suunnitellaan reunaehdot täyttäväksi yhteistyössä betonivalmistajan kanssa.

Useimmiten laattojen valuissa käytetään notkeusluokan S3 massaa ja raekokoa 32 mm, jos laatta on tiheämmin raudoitettu, joudutaan valitsemaan notkeampaa betonia tai itsestivistävää betonia pienemmällä raekoolla. [1 s. 312.]

2.4.1 Sementti

Sementti on aine, joka reagoi veden kanssa muodostaen lujan ja kestävän sementtikiviaineksen, joka liittää yhteen betonin muut ainesosat. Sementtikivi on emäksinen aine, jonka takia se suojaaa hyvin betonin raudoitteita korroosiolta. [1 s. 25, 40.]

Kun sementti sekoitetaan veteen, pysyy se aluksi notkeana, ja alkaa sitten hyytelöitymään, eli sitoutumaan. Hyytelö alkaa kovettumaan ajan funktiona, kun sementti alkaa sitoutumaan. Lujuuden kehitys alkaa, kun sementin sitoutuminen on päättynyt. Betonin työstöaikaa on niin kauan, kunnes sementti alkaa jähmettyä. Kun sementti on alkanut sitoutumisvaiheen alun jälkeen jähmettyä, ei betonia saa häiritä, sillä se aiheuttaa massan lujuuskatoa. Sitoutumisaika riippuu sementin ominaisuuksista. [1 s.25, 37.]

Sementin ominaisuudet vaikuttavat kuinka nopeasti sementti sitoutuu ja kuinka nopeasti lujuus kehittyy. Sementin kemiallinen reaktio tuottaa lämpöä, nopeammilla sementeillä lämmöntuotto on suurempi kuin hitaammilla. Lämmön tuotolla on merkitystä betonin lujuuteen, kovasti lämpenevä betoni aiheuttaa, että betoni on sisältä kuumempaa ja

pinnalta kylmempää. Suuret lämpötilaerot aiheuttavat halkeiluriskiä betonissa. Massaa valittaessa tulee huomioida lämmönkehitys ja lämmön säätelyn menetelmät. Lämpötila eroja voidaan säätää lämmittämällä betonia ulkoapäin, tai jäähdyttää sisältäpäin. [1 s.37, 39.]

Rakennussementit jaetaan kolmeen standardilujuusluokkaan 32,5, 42,5, ja 52,5, luku kertoo sementin puristuslujuuden 28 vuorokauden kohdalla valusta. Lisäksi standardilujuusluokilla on kirjaimet N ja R, jotka kertovat sementin varhaislujuudesta. N tarkoittaa normaalia varhaislujuutta ja R korkeaa varhaislujuutta. [1 s. 25, 30.]

2.4.2 Kiviaines

Suurin osa betonin tilavuudesta koostuu eri kiviaineksista. Betonissa käytettävällä kiviaineksella tarkoitetaan hiekkaa, soraa ja kalliomursketta, kiviainesten laadulla on suuri merkitys betonin ominaisuuksiin. [1 s. 43.]

Betonissa kiviaineksen erisuuruisten rakeiden suhdetta kutsutaan rakeisuudeksi. Eri raekoot jaetaan eri rakeisuusluokkiin, fillerikiviaineeksi, hieno kiviaineeksi, luonnon lajitelmaksi 0/8, koostekiviaineeksi ja karkeaksi kiviaineeksi. Eri raekokojen määrät lasketaan massaprosentteina, josta saadaan kiviaineksen rakeisuus. [1 s.45.]

Alemmassa taulukossa 2. on esitetty eri kiviainesten jaottelu raekokojen perusteella. [1 s.45.]

Taulukko 2. Eri kiviainesten jaottelu raekokojen perusteella

Kiviainestuotteiden jaottelu	Raekoot [mm.]
Fillerikiviaines	< 0,063
Hieno kiviaines	0/1, 0/2 tai 0/4
Luonnon lajitelma 0/8	0/8
Koostekiviaines (sora- tai kalliomurske)	0/5, 0/6 tai 0/8
Karkeakiviaines	d/D

Betonin yleisimmät maksimiraekoot ovat 8, 12, 16 ja 32 mm. Maksimiraekoko valitaan rakenteen paksuuden ja raudoituksen mukaan niin, että maksimiraekoko ei ole suurempi kuin $\frac{1}{3}$ valettavan rakenteen paksuudesta. Maksimiraekoon tulisi olla 3 mm pienempi kuin raudoituksen tankoväli ja betonipeitteen paksuus. [1 s. 73.] [24.] Asuinkerrostalojen välipohjissa käytetty suurin raekoko on yleensä 32 mm, mutta vaadittu betonipeitteen paksuus ja tiheä raudoitus voivat tehdä tarpeen pienemmälle raekoolle. [1 s. 312.] Esi-merkkikohteessa NCC:n Ankkurin työmaalla betonipeitteen paksuudeksi on määritetty 25 mm ja maksimiraekooksi 16 mm. [Liite 1.]

2.4.3 Seosaineet

Betonissa voidaan käyttää side- ja runkoaineina erilaisia seosaineita, joita ovat lentotuhka, masuunikuonajauhe, masuunikuona, ilmajäähdytetty ferrokromikuona ja silika. Seosaineilla saadaan eri ominaisuuksia betoniin. Seosaineilla on enimmäismäärät, kuinka paljon niitä saa betonissa käyttää, määrä riippuu betonirakenteen rasitusluokasta ja sementin sisältämistä seosainemääristä. [1 s. 56, 58.]

Lentotuhkaa käytetään betonissa sekä side- että kiviaineksena. Fillerikiviaineksena käytettäessä parantaa lentotuhka betonimassan työstettävyyttä ja koossapysyvyyttä. Sideaineena lentotuhka hidastaa betonin varhaislujuutta, mutta parantaa sen myöhäisiän lujuutta. Lentotuhkan käyttöä ei suositella lattiavaluissa, sillä se hidastaa betonin sitoutumista ja lujittumista huomattavasti. [1 s. 56.]

Masuunikuonajauhetta käyttäessä on veden tarve pienempi, jolloin sitä voidaan käyttää betonin notkistimena. Se myös vähentää betonin lämmönkehitystä, jonka vuoksi sitä käytetään massiivissa valuissa, joissa lämmönkehitystä halutaan rajata. Myös masuunikuona hidastaa betonin varhaislujuutta, mutta parantaa sen myöhäisiän lujuutta. [1 s. 57.]

Silika kasvattaa betonin lujuutta, kemiallista kestävyyttä, koossapysyvyyttä, tiiviyyttä ja vedenpitävyyttä, mutta lisää betonin vedentarvetta huomattavasti ja heikentää betonin työstettävyyttä varsinkin korkean lujuusluokan betoneissa. [1 s. 57, 58.]

2.4.4 Lisäaineet

Betonin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa erilaisilla lisäaineilla. Lisäaineilla saadaan tehtyä erikoisbetoneita, joita ei ilman lisäaineita pystyittäisi valmistamaan, kuten pakkasenkestävä betoni ja korkealujuusbetoni. Betonissa käytettäviä lisäaineita on erilaiset notkistimet, huokostimet, kiihdyttimet, hidastimet, veden erottumista ja imeytymistä vähentävät lisäaineet, viskositeetin säätöaineet ja muita lisäainestandardin piiriin kuulumattomia lisäaineita. Lisäaineiden sopivuus keskenään tulee aina varmistaa, esimerkiksi jotkin huokostimet ja notkistimet eivät sovellu käytettäväksi yhdessä. [1 s. 60, 61, 64.]

Notkistavat lisäaineet eli notkistimet parantavat betonimassan työstettävyyttä, pumpattavuutta, ja koossapysyvyyttä. Notkistimet lisäävät kuitenkin erottumis- ja halkeiluriskiä, joka on huomioitava betonia suunnitellessa kiviainesuhteella. Notkistimilla saadaan 5-15%:n ja tehonotkistimilla 12-30%:n vedenvähennys, ilman että betonin työstettävyys kärsii. Tämä auttaa betonin kuivumisessa, kun massassa ei tarvita ylimääräistä vettä työstettävyyden parantamiseksi. [1 s. 62-63.]

Huokostimet lisäävät betonin massan ilmamäärää, suurempaa ilmamäärää tarvitaan yleensä betonin pakkasenkestävyyden parantamiseksi. Lisä ilma auttaa myös betonin kuivumisessa, sillä vesihöyry pääsee paremmin kulkeutumaan pois betonista, kun se on huokoisempaa. Normaalisti betonissa on 1-2% ilmaa, mutta huokostimella sitä voidaan nostaa 4-8%:iin. Lisä ilma heikentää kuitenkin betonin lujuutta, 1%:n ilmamäärän lisäys aiheuttaa 5%:n lujuuden heikkenemisen, joka tulee huomioida massaa suunnitellessa. Huokostimet lisäävät massan notkeutta, muokattavuutta ja koossapysyvyyttä ja vähentävät osa-aineiden erottumista. [1 s.63.]

Hidastimia käytetään betonin sitoutumisajan myöhentämiseen, niillä saadaan pidempi työstöaika ja käytetään pitkien kuljetusmatkojen yhteydessä. Kiihdyttimillä vuorostaan nopeutetaan sitoutumista ja kovettumista. kiihdyttimiä käytetään, kun halutaan saavuttaa nopeammin muotin purku- ja jäätymislujuus. Kiihdyttimien käyttö ei ole kovin yleistä suurissa valuissa, ne on korvattu nopeammilla sementeillä. [1 s.64.]

2.5 Betonointi menetelmät

Paikallavalettuja holveja valaessa yleisin betonin levitystapa on pumppaamalla betoni-autolla tai erillisellä pumppauskalustolla. Toinen yleinen tapa levittää betoni on nostoastialla nosturin avulla betonin siirto ja pudotus valukohteeseen. Joissain tapauksissa voidaan käyttää myös hihnaa tai valukorua, mutta asuinkerrostalojen holvivaluissa pumppu tai nostoastia ovat ainoat vartenotettavat vaihtoehdot. [11.], [1 s. 421.]

Valukouru on edullisin tapa valaa, mutta se vaatii, että valukohde on lähellä, eikä sovellu useimpiin holvivaluihin. Hihnakuljetin ei sovellu kovin hyvin kerrostalojen holvivaluihin, sillä hihnan ulottuvuus on yleensä vain 10-16 m, eikä nousukulma voi olla yli 30°, hihnaa ei voida yleensä säätää pituus suunnassa, vaan säätö tapahtuu autoa siirtämällä, joka hankaloittaa huomattavasti laajan alueen valamista. [23.], [1 s. 316.]

Ennen valua suunnitellaan millä betonilla holvi valetaan, minkälainen kalusto siihen on varattava. Kalustoa suunnitellessa tulee huomioida siirtoetäisyydet valettavan alueen kauimmaiseen paikkaan, ja valittava siirto menetelmä sen mukaan. Betonin määrä lasketaan etukäteen ja tilataan sen mukaan, mutta sitä tarkennetaan valun edetessä. Usein on käytäntönä, että viimeinen auto tulee työmaalla puhelinsoitosta, jolloin voidaan tarkentaa tarvittavaa betonin määrää. Yleensä betoniautoja tulee pihaan 15 minuutin välein, jolloin edellinen auto ehditään tyhjentää ennen seuraavaa, eikä turhia odotusaikoja autojen välille tule.

Betoni kuljetetaan työmaalle yleisimmin pyörintäsäiliöautoilla, pyörintäsäiliöautojen kapasiteetit ovat 4-12 m³. Kuormat puretaan työmaalla siirtovälineeseen, joka on yleensä joko betonin pumppuauto tai nostoastia. Yleisimmin käytössä olevat sekoitusautot ovat 3 ja 4 -akselisia, joiden kuormakoot ovat 5-9 m³. [1 s. 316.], [23.]

Kuvissa 25. on erilaiset sekoitussäiliöautot ja niiden kapasiteetit. [23.]

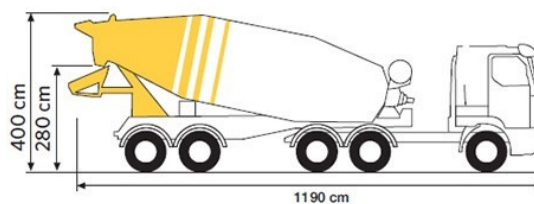
Sekoitussäiliöautot

4-AKSELINEN



Mekaaninen ränni	380-450 cm
Hydraulinen ränni	400-600 cm
Auton leveys	250 cm
Kuormakoko	6-9 m ³
max.paino kuormattuna	35 tonnia

5-AKSELINEN BETONIPUOLIPERÄVAUNU



Auton korkeus	400 cm
Mekaaninen ränni	200 cm
Auton leveys	250 cm
Kuormakoko	12 m ³
Paino kuormattuna	44 tonnia

2-AKSELINEN (TILAUKSESTA)

Soveltuu hyvin mm. tunneliajoihin sekä ahtaille työmailla.



Auton korkeus	330 cm
Hydraulinen ränni	640 cm
Auton leveys	250 cm
Kuormakoko	4 m ³
max.paino kuormattuna	20 tonnia

3-AKSELINEN (TILAUKSESTA)



Mekaaninen ränni	380-400 cm
Hydraulinen ränni	400-600 cm
Auton leveys	250 cm
Kuormakoko	5-6 m ³
max.paino kuormattuna	28 tonnia

Kuva 25. Erilaisia sekoitussäiliöautoja ja niiden kapasiteetit

Holvit valetaan yhdessä kerroksessa niin, että valu aloitetaan yhdestä laidasta ja edetään suoraviivaisesti toiseen laitaan kaista kerrallaan. Betonin pudotuskorkeus pidetään mahdollisimman pienenä. Seuraavien kaistojen betoni otetaan edellistä kaistaa vasten ja tasataan lapiolla. Betonimassa tiivistetään sauvatäryttimellä, tiivistys on riittävä, kun pinnalle ei muodostu enää kuplia. Lopuksi betonikerroksen paksuus tarkastetaan. [11 s.10.], [1 s. 341, 421.]

Jos työmaalla on kamera esimerkiksi nosturissa, josta voi betonoinnin etenemistä voi seurata ylhäältä käsin, on helppo arvioida tarvittava betonin määrä ja seurata betonoinnin etenemistä ja onko betoniautojen tahti sopiva. Kuvassa 26 näkyy Ankkurin työmaalla valun edistyminen, jota voidaan seurata livenä tietokoneelta työmaatoimistolta käsin. Tämä helpottaa valutöiden johtamista. [19.]

Valutyön onnistumisen kannalta olosuhteilla lämpö, kosteus, vedottomuus on suuri vaikutus valutyön onnistumiseen. Suomessa erityisesti kylmyys tuo haasteita valun onnistumiseen, kylmyys voi johtaa siihen, että hiehto on tehtävä myöhemmin kuin tavallista, joka lisää pinnan halkeilua, ellei siihen ole varauduttu varhaisjälkihoitoaineella. Myös eri betonin lisäaineet käyttäytyvät eri tavalla eri lämpötiloissa, joka tulee huomioida valua suunnitellessa [1 s. 422.]

2.5.1 Betonin hierto

Betonin pinta hierretään, kun betoni on alkanut sitoutua ja kovettumisen alussa pinnalle noussut vesi alkaa imeytyä takaisin betoniin. Hierron tarkoituksena on tiivistää ja tasata betonin pinta, vähentää sen huokoisuutta ja parantaa lujuutta sekä kulutuskestävyyttä. Pintavaatimusten mukaan hierron voi tehdä useamman kerran. Hierto tehdään usein hiertokoneella, mutta pienet ja ahtaat paikat, joissa konetta on hankala käyttää, voidaan tehdä puu tai teräshierrolla. Koneella betonipintaa hierrettäessä ensin tehdään taseus-hierto teräslevyllä ja sitten viimeistelyhierto koneeseen asennettavien siivekkeiden avulla. [1 s. 422.] [12 s.10.]

Hierron aloitusajankohtaan vaikuttaa vallitsevat olosuhteet. Kun olosuhteet ovat sellaiset, että betoni sitoutuu nopeasti, tulee hierto aloittaa silloin kun veden erottuminen pintaan on lakannut, betonin pinta on muuttunut himmeäksi ja betoni kantaa ihmisen painon, jättäen enintään 5 mm:n syvyisen jalanjäljen. Kun taas olosuhteet ovat sellaiset, että sitoutuminen tapahtuu hitaasti, tulee hierto suorittaa mahdollisimman myöhään, niin että jalanjälkeä ei juuri pysty erottamaan. Hiertoa ei saa aloittaa, jos pinnalla on vielä vettä. [1 s. 422.] [11 s. 11.] [12 s. 10.]

Koneellinen hierto tehdään niin, että aloitetaan hiertolevyllä hiertäminen kuivuneimmista kohdista kuten seinien vierestä ja pilareiden ympäriltä. Tämän jälkeen alue hierretään järjestelmällisesti poistumissuuntaan, niin että koko alue tulee hierrettyä. Kun hiertolevyllä tehty hierto on suoritettu, tulee alueet, joita ei koneella voida hiertää, hiertää käsin teräshiertona. Kun levyhierrosta tullut ylimääräinen vesi on haihtunut pinnalta, eikä pinta ole enää tahmea aloitetaan terässiivekkeillä tehtävä hierto. Terässiivekkeillä tehtävä hierto tehdään 2-3 kertaa, jotta lattiasta saadaan kestävämpi. Ensimmäinen terässiivillä tehtävä hierto tehdään pienellä siipikulmalla, joka nostaa mahdollisimman paljon kiviainesta kulutuspintaan. Toinen siipihierto tehdään suuremmalla siipikulmalla, jonka tehtävänä on saavuttaa mahdollisimman tiivis pinta. Terässiivekkehiertojen välissä on annettava aikaa betonin kovettumiselle ja vesikiillon häviämiselle. [1 s. 423.] [12 s.10,11.]

2.5.2 Pumppubetonointi

Pumppubetonointi sopii kaikenlaisiin kohteisiin, se on tehokas tapa suorittaa valu, sillä betoni saadaan suoraan haluttuun paikkaan. Pumppubetonoinnissa betonia siirretään betonipumppuauton letkulla, letkua ohjaten suoraan valettavaan työkohteeseen. Pumpaus tehdään järjestelmällisesti niin, että työt aloitetaan kohteen kauimmaisesta nurkasta. [11 s.8.]

Kuva 26. valutöiden etenemisestä NCC:n Ankkurin työmaalla. Valu on aloitettu kohteen kauimmaisesta nurkasta ja edetään järjestelmällisesti kohti porraskäytävää. [Lähde: NCC Ankkuri, Espoo Viikkotiedote vk 8/2021.]



Kuva 26. Valutöiden etenemisestä NCC:n Ankkurin työmaalla

Betonimassan pumppauskalustoa suunnitellessa ja tilattaessa tulee huomioida, että betonin maksimiraekoko saa olla $\frac{1}{3}$ pumpun putkiston halkaisijasta. Tämä tarkoittaa että 32 mm raekoolle valitaan 100 mm:n putkisto. [1 s.73.] Pumppubetonoinnissa on huolehdittava, että pumppuautolle on suunniteltu pystytyspaikka valukohteen läheisyyteen ja on varmistettava, että maaperän kantavuus on riittävä. [11 s.7.]

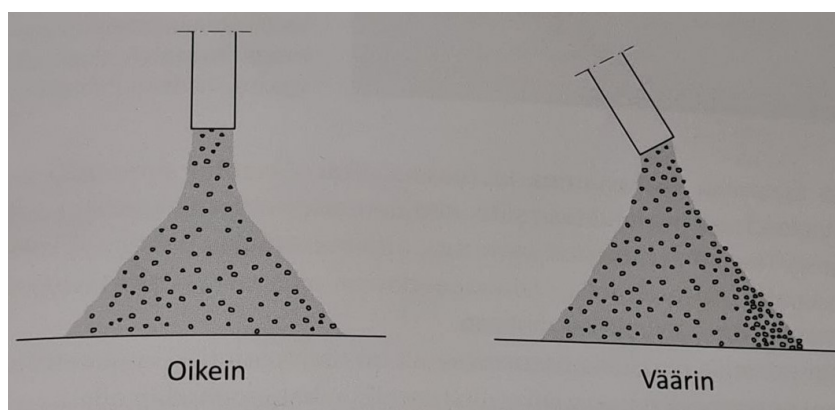
Valettaessa tulee huomioida, että betonin pudotuskorkeus olisi mahdollisimman pieni, pudotuskorkeus tulisi olla enintään 1-1,5 m. Korkea pudotuskorkeus aiheuttaa betonin erottumista. Betonimassa pudotetaan letkusta pystysuoraan alaspäin, letkua ei tule kallistaa. [1 s. 333.]

Taulukossa 3. esitetty pumppulinjan sisähalkaisijan sallitut minimikoot eri betonilaaduilla[1 s. 332.]

Taulukko 3. Pumppulinjan sisähalkaisijan sallitut minimikoot eri betonilaaduilla

Betonin laatu	Betonin kiviaineksen maksimiraekoko			
	8 mm	12 mm	16 mm	32 mm
Rakennebetoni	3'' (75 mm)	3'' (75 mm)	3'' (75 mm)	4'' (100 mm)
Säänkestävä rakennebetoni	3'' (75 mm)	3'' (75 mm)	3'' (75 mm)	4'' (100 mm)
Lattiabetoni	2,5'' (63 mm)	3'' (75 mm)	3'' (75 mm)	

Kuvassa 27. betonimassan oikeaoppinen pudotus [1 s. 333.]



Kuva 27. Betonimassan oikeaoppinen pudotus

Pumppauslinjojen veto tulee miettiä niin, etteivät vaakavedot mene kulkuteillä. Jos putken on mentävä kulkutiellä, on putki suojattava räjähdysten varalta, tai kulkutie suljettava pumppauksen ajaksi. Valua suunnitellessa tulee huomioida, ettei betonin pumppaus onnistu, jos pakkasta on enemmän kuin -15 °C. [1 s. 329.]

Pumppuautojen pumppaustehot ovat 20-160 m³/h, mutta käytännössä valuteho tehokkailla pumpuilla on noin 50-60 m³/h. Jos yhden pumpun valuteho ei riitä saavuttamaan tavoiteltua työsaavutusta työvuoron aikana, voidaan käyttää useampaa pumppua valun nopeuttamiseksi. Pumppuauton jakelu puomi ulottuu vaakasuunnassa 17-51 m ja

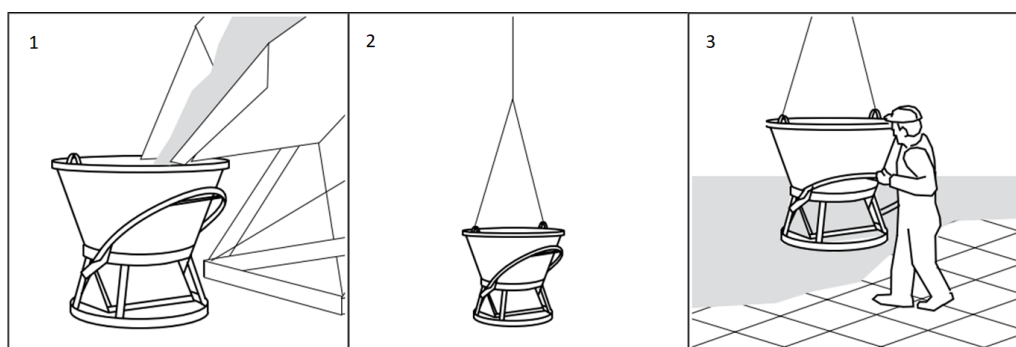
pystysuunnassa 20-55 m, riippuen pumpputyypistä. Pumpun ulottuvuuden riittävyys on mietittävä pumppua varattaessa, jotta kauimmainenkin nurkka saadaan valettua. [1 s. 320.]

2.5.3 Nostoastiabetonointi

Nostoastiabetonointi vaatii nosturin käytön koko valun ajaksi. Nostoastia täytetään välisiilosta tai betoniautosta ja nostetaan holville, jossa nostoastia tyhjenetään muottiin. Betoni pudotetaan astiasta valurintamaa vasten. Suurin pudotuskorkeus betonille nostoastiasta on 1,0-1,5 m, jotta vältetään erottumiselta. [11 s. 7-8.] Betoniastian nostoa ei saa suorittaa, jos tuulen voimakkuus on yli 15 m/s. Tämä tulee huomioida tuulisilla paikoilla valua suunnitellessa. [11 s. 7.] [1 s. 333.]

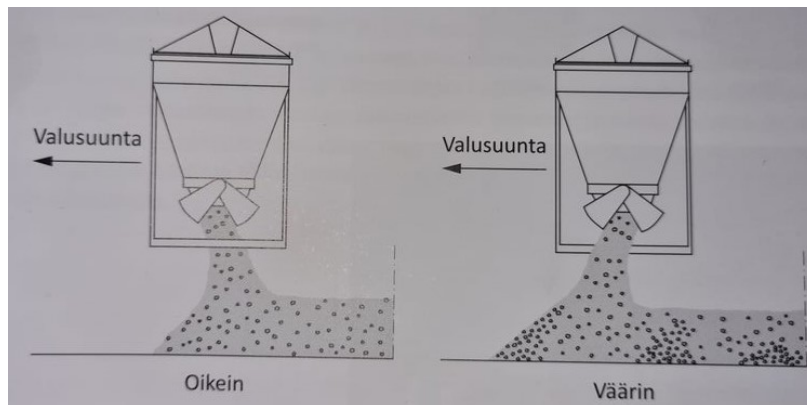
Nostoastialla valettaessa voidaan käyttää jäykempiä massoja, joita ei voida pumpulla siirtää, niin jäykät massat kuitenkin ovat usein niin hankalia työstää, ettei sellaisia massoja käytetä. Nostoastiabetonoinnissa ongelmana on, että siinä on huomattavasti enemmän työvaiheita, verrattuna pumpunkäyttöön. Astian täytössä usein tarvitsee hieman liikutella betoni autoa. Valu työ on huomattavasti työläämpää, sillä massaa joudutaan käsin levittämään enemmän valualueella, sillä nostoastialla ei voida massaa ohjata niin tarkasti oikeaan paikkaan.

Alemmassa kuvassa 28. on betoniastialla tehdyn betonoinnin eri työvaiheita. [11 s. 1.]



Kuva 28. Betoniastialla tehdyn betonoinnin eri työvaiheita

Kuvassa 29. esitetty miten betoni tulee pudottaa valurintausta vasten. [1 s. 333.]



Kuva 29. Miten betoni tulee pudottaa valurintausta vasten

2.5.4 Betonin jälkihoito

Betonin jälkihoito on tärkeää, ilman jälkihoitoa muuten onnistunut betonointityö voi epäonnistua täysin. Jälkihoito vaikuttaa betonin säilymisominaisuuksiin, halkeiluun, pinnan tiiveyteen, lujuuteen, kulutuskestävyyteen ja pölyämiseen. Jälkihoidon tarkoituksena on varmistaa, että betonin kovettumisen alkuvaiheissa olosuhteet olisivat riittävän hyvät, jotta betoni saavuttaa sille suunnitellut ominaisuudet. Jälkihoidossa varmistetaan betonin riittävä kosteus, lämpötila ja ettei siihen kohdistu ulkoista rasitusta. [1 s.423.]

Jälkihoitomenetelmiä on useita ja niiden soveltuvuuksissa ja erikoispiirteissä on eroja. Valua suunniteltaessa on otettava huomioon ilman suhteellinen kosteus, ulkolämpötilat, tärinät ja muut ulkoiset rasitukset, tarvittavat jälkihoito menetelmät valitaan näiden pohjalta. Jälkihoitomenetelmät jaetaan usein varhaisjälkihoitoon, joka tehdään jo betonin oikaisun yhteydessä, ennen viimeisiä hiertoja ja perinteisiin jälkihoitomenetelmiin, jotka tehdään hierron jälkeen. [1 s. 423-424.]

Jälkihoidon vaiheet yleensä koostuvat vaativissa olosuhteissa varhaisjälkihoitoaineen levittämisestä ennen viimeistä hiertoa, jälkihoitoaineen levittämisestä viimeisen hierron yhteydessä, toisen jälkihoitoaine kerroksen, muovi tai suodatinkankaan levittämisestä ja

kastelusta valua seuraavana päivänä, valupinnan kosteuden seuraamisesta ja tarvittavista lisäkasteluista ja tarvittavien suojalevyjen asennuksesta betonipinnalle. [1 s 424.]

Tuulisissa olosuhteissa, joissa valuun kohdistuu suurta ilmavirtausta, tulee ilmavirtauksen vähentäviin toimenpiteisiin tähdätä. Ilmavirtaus voi aiheuttaa plastista kutistumaa, joka voi olla 10-kertainen betonin kuivumiskutistumiseen verrattuna. Jos ilmavirran määrää ei voida vähentää, tulee varhaisjälkihoitoainetta käyttää. [1 s 424.]

Holvivaluja voidaan harvoin suojaamaan tuulelta siinä vaiheessa, kun jälkihoito tulisi aloittaa. Muovien levittäminen tiiviisti alueelle niin, ettei ilmavirta pääse muovin alle, on haastavaa. Muovikalvon levitysajankohta on, kun betonipinnalla voi kävellä pintaa vaurioittamatta, seuraavana päivänä tehtävä kastelu ja peitto on liian myöhäinen. Pinnan kastelu on työlästä, se kasvattaa betoniin lämpötilaeroja ja lisä veden imeytyminen laattaan kasvattaa kuivumisaikaa, joten tätä jälkihoitomenetelmää ei suositella käytettävän. Menetelmä on kuitenkin toimiva, jos betoni on valittu sellaiseksi, että kuivuminen tapahtuu nopeasti ja sääolosuhteet ovat sellaiset, että muovikalvo pysyy tiiviisti betonipinnalla. [1 s. 424,425.], [19.]

Alemmassa kuvassa 30. betonin kastelua ja muovikalvon levitystä NCC:n Ankkurin työmaalla. [Lähde: NCC Ankkuri, Espoo Viikkotiedote vk 40/20.]



Kuva 30. Betonin kastelua ja muovikalvon levitystä

Jälkihoitoaine soveltuu asuinrakennuksien holvivaluihin muovisuojausta ja kastelua paremmin, usein haastavissa olosuhteissa tehdyn valun takia. Jälkihoitoaineen valinnassa tulee huomioida, soveltuuko se tulevan lattiapinnoitteen kanssa. Asuinrakennuksissa yleensä lattiat pinnoitetaan laminaatilla tai parketilla, joissa kuivumisen ja laminaattipohjien kannalta tulee lattiat hioa auki, jolloin poistetaan myös jälkihoitoaine. Jos lattiat hiotaan ennen jälkihoitoajan päätymistä, tulee pinta suojata muovikalvoilla hionnan jälkeen. [1 s 424, 425.]

Jälkihoidon aloituksen ajankohtaan vaikuttaa vallitsevat olosuhteet. Jos käytössä on esijälkihoitoaine, aloitetaan jälkihoito jo betoninhierron yhteydessä. Jälkihoito tulisi aloittaa heti hierron jälkeen, tai kun betonin pinnalla voidaan kävellä, pintaa vaurioittamatta. Seuraavan päivän aamuna tehty jälkihoidon aloitus on usein liian myöhäinen ajankohta. Usein jälkihoidon aloituksen ajankohta on työajan ulkopuolella, joka tulee huomioida valua suunnitellessa.

Jälkihoitoaika vaihtelee olosuhteiden, kovettumisnopeuden ja lattian rasitusluokan mukaan. Kun ilmankosteus on alle 50%:n ja laattaan kohdistuu viimaa, tai jos laattaan kohdistuu auringonvaloa, on jälkihoitoaika 7 vuorokautta pinnoitettavilla laatoilla ja 2 viikkoa

laatoilla, joihin kohdistuu kulutusrasitusta. Kosteissa olosuhteissa, joissa ilmankosteus on yli 80% riittää jälkihoitoajaksi 3 vuorokautta pinnoitettavissa, ja 1 viikko kulutusrasitusta kestävässä laatoissa. [1 s. 425.]

Riittävän pintalämpötilan huolehtiminen on tärkeää, varsinkin talvella on varmistettava riittävä lämpötila koko laatan alalta. Varsinkin laatan reunoilla on vaarana, että lämpötila laskee liian alhaiseksi. Laattaa voi suojata kylmältä esimerkiksi pressuilla tai pakkasmatolla suojaamalla, kun pinta sen sallii. Laatan pintalämpötilan tulisi olla vähintään +5 °C koko jälkihoidon ajan, eikä laatan ytimen ja pinnan lämpötilaero saa ylittää 20 °C:sta. Jäähtymiseltä suojaaminen vähentää laatan halkeiluriskiä. [1 s. 425.]

Kuvassa 31. NCC:n Ankkurin työmaalla osittain pakkasmatolla ja osittain lumipressuilla suojattu holvi. [Lähde: NCC Ankkuri, Espoo Viikkotiedote vk 51/2021.]



Kuva 31. Osittain pakkasmatolla ja osittain lumipressuilla suojattu holvi.

2.6 Lämmitys ja kuivatus

2.6.1 Betonin lämmitysmenetelmät

Betonia voi lämmittää kolmella päämenetelmällä: lämmittämällä ympäröivää ilmaa, lämmittämällä muotteja ja lämmittämällä betonimassaa. Lämmittäminen tehdään yleensä sähköllä, öljyllä tai kaasulla. Laatan lämmitykseen soveltuvia menetelmiä on lankalämmitys, infrapunasäteilylämmitys, lämmitettävät pöytämuotit, kuumailmalämmitys ja kuumabetoni. [1 s. 507, 518, 425.]

Laatta kannattaa lämpösuojata, jotta tulisi vähemmän lämpöhukkaa ja ettei laattaan tule liian suuria lämpötilaeroja. Lämpösuojaukseen sopivia menetelmiä on peittää pinta suojapeitteillä, kuten pressulla, mineraalivillalla, vanulla, vaahtomuovimatoilla, solumuovimatoilla ja lämpölaatikoilla. Jos laattaan tulee erikseen pintabetoni, voidaan lämpösuoja asentaa heti betonoinnin jälkeen, muuten suojaa levitetään niin nopeasti kuin mahdollista, pintaa vaurioittamatta. Jos lämpötila on yli 0 °C riittää lämmöneristeeksi pelkkä suojapeite, mutta jos pakkasella tulee käyttää lisänä muita lämmöneristeitä ja suojata ne suojapeitteellä. Reuna-alueilla suojaa tarvitaan enemmän kuin laatan keskellä. [1 s. 518.]

Muotteja lämmittäessä käytössä on yleensä pöytämuotti, missä muottipinnan ja lämmöneristeen välissä on vastuslankasilmukoita tai lämpövastuksia, jotka lämmittävät muotinläpi betonia. Etuna sähkölämmitteisissä pöytämuoteissa on helppokäyttöisyys, mutta lämmitystapa soveltuu vain kohteissa, joissa pöytämuotin tehokas käyttö on mahdollista. [1 s. 510, 511.]

Ympäröivää ilmaa lämmitetään kaasulla, öljyllä, sähköllä tai kuumaa vettä tai höyryä kuumailmapuhaltimilla. Kun lämmitys tehdään kuumailmapuhaltimilla, tulee laatan alapuolinen tila eristää mahdollisimman hyvin, jottei lämpö karkaa suoraan ulos. Koska rakennuksesta ei saa täysin tiivistä todellisuudessa hyötysuhde on vain noin 30%. [1 s. 519, 513.] Sähköpuhaltimien käyttö ei ole järkevää sillä ne vievät paljon sähköä, eikä työmaalle yleensä saa järjestettyä riittävästi sähköä, jotta voidaan lämmittää suuria alueita sillä.

Alemmassa taulukossa 4. arvio siitä, kuinka paljon lämmitystehoa tarvitsee erikokoisille valuille. Vaadittuun lämmitystehoon vaikuttaa merkittävästi, kuinka hyvin laatta on lämpöeristetty ja kuinka hyvin tila on rajattu, jottei lämpö pääse vuotamaan ulkoilmaan. Jos ulkoseinäelementit asennetaan lämpöeristeineen, tai lämpöeristeet ehditään asentamaan ennen seuraavaa holvivalua, on lämmitys huomattavasti edullisempaa. [1 s. 514.]

Taulukko 4. Arvio siitä, kuinka paljon lämmitystehoa tarvitsee erikokoisille valuille

Betonilaatan paksuus	Valettava laatan pinta-ala			
	50m ²	100m ²	200m ²	300m ²
100 mm	28 kW	56 kW	112 kW	168 kW
200 mm	56 kW	112 kW	168 kW	336 kW
300 mm	112 kW	168 kW	336 kW	672 kW

Kaasulämmitys soveltuu hyvin jälkihoidon ajaksi, sillä kaasusta tulee tilaan kosteutta, joka puolestaan lyhentää jälkihoidon tarvetta. Kaasua ei tule kuitenkaan käyttää enää jälkihoidon jälkeen, kun tavoitteena on pitää sisäilman kosteus alle 50 prosentissa holvin kuivumisen kannalta.

Höyrylämmitys ei ole energiataloudellista, eikä järkevää siitä muodostuvan suuren kosteusmääränvuoksi, joka hidastaa taas rakenteen kuivumisaikaa. Höyrylämmityksen hyötysuhde on 60-70% [1 s 514.]

Infrapunalämmittimillä voidaan laattaa lämmittää ylä-, tai alapuolelta laattaa, mutta alapuolinen lämmitys on suositeltavampaa. Infrapunalämmittäjässä säteily muuttuu lämmöksi, kun se osuu johonkin kiinteään, joten muotti järjestelmät tulisi valita niin, etteivät ne haittaa säteilylämmittimien käyttöä. Lämmitysmenetelmä sopii esimerkiksi holvikasettimuottien yhteydessä, mutta vakiopalkit ja levyt järjestelmässä palkit ottavat suuren osan lämmöstä vastaan, eikä lämpö siirry niin tehokkaasti betoniin. Infrapunalämmittimiä käyttäessä laatta tulee suojata alapuolelta ilmavirtauksilta. [1 s. 519.]

Kun käytetään kuumaa betonia, tulee pinta eristää välittömästi valun jälkeen, tämä edellyttää sitä, että betonointi on suunniteltu niin, että se on mahdollista. Holvi on suojattava

ilmavirtauksilta ja mielellään lämpöeristettävä alapuolelta. [1 s. 519.] Tämä menetelmä sopii vain, jotta valu ei jäädy liian nopeasti, mutta se ei auta betonin jälkihoitoon, eikä myöhempää kuivatusta varten.

Lämmityslangoilla lämmittäessä lämmityslangat tai kaapelit asennetaan ennen valua, niiden avulla pystytään huolehtimaan, että betoninen lämpötila on lujuudenkehityksen kannalta hyvä ja ettei rakenteeseen tule liian suuria lämpötilaeroja. Lämmityslangat tai -kaapelit lämmittävät suoraan betonia laatan sisältä, näin ei tarvitse turhaan lämmittää muita rakenteita, lämpö saadaan suoraan haluttuun paikkaan. Lämmityslankoja voidaan käyttää myös betonin kuivatuksessa jälkihoidon jälkeen. Lämmöneristeitä tulee käyttää valun pinnalla, jotta lämpö ei karkaa laatasta ja ettei valuun tule liian suuria lämpötilaeroja. Langoitustyö vaatii suuren työmäärän ja materiaali on kertakäyttöistä sillä langat jäävät valun sisään. [1 s. 507, 508, 518.]

2.6.2. Betonin kuivatus

Betonin sallittu suhteellinen kosteus vaihtelee pinnoitus menetelmän mukaan ja on tarkistettava aina valmistajalta materiaaliakohtaisesti. Yleisin valmistajan antama raja-arvo laminaateille ja parketeille on 85% laatassa ja 75% laatan pinnassa. NCC:llä on käytössä mittalaitteen toleranssit huomioon ottava kosteuden enimmäisarvo, joka on 3% alle valmistajan antamien arvojen, eli yleensä raja-arvot NCC:n betonilattioissa ennen päällystystä ovat 82% ja 72%.

Jotta vaadittuihin betonin suhteellisen kosteuden raja-arvoihin päästään, tulee betonin kuivuminen huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Betonin valinnalla on kuivumisen kannalta suuri merkitys, huokoisemmasta betonista pääsee kosteus haihtumaan paremmin ja on täten nopeammin päällystettävissä. Korkeamman lujuusluokan betonit kuivuvat jopa 2 kertaa nopeammin kuin tavalliset betonit.

Massaa valittaessa tulisi pyrkiä valitsemaan niin, että siinä olisi mahdollisimman vähän vettä. Huokostimella saadaan betoniin lisää ilmaa, joka edesauttaa betonin kuivumista. Jotta massaa, jossa on vähemmän vettä, voidaan työstää, voidaan siinä käyttää notkistinta. Notkistimella työstettävyyttä säilyy hyvänä, eikä jouduta käyttämään ylimääräistä vettä. Jos massassa on paljon ylimääräistä vettä, on sen kuivatusaika huomattavasti pidempi, sillä kaikki ylimääräinen vesi, joka ei sitoudu sementin kanssa, joudutaan haihuttamaan betonista. Vesi-sideainesuhteella on suuri merkitys betonin kuivumiselle, kun suhde on alhainen, on betoni tiiviimpää ja sen kuivumisaika on pidempi. [1 s. 536-537.]

Lujan NK-betoni, eli nopeasti kuivuva betoni, on osoittautunut toimivaksi holvivaluissa, joissa on tiukka aikataulu ja nopean kuivuminen on tärkeää. Lujan NK-betonia on käytetty NCC:n Ankkurin työmaalla paikallavaluholveissa ja se on todettu toimivaksi, laatat on saatu kuivaksi aikataulussa, eikä muita kuivatusmenetelmiä ole vaadittu. NK-betoni kuivuu jopa kaksi kertaa nopeammin kuin tavalliset valmisbetonit ja on täten nopeammin päällystettävissä, eikä rajuja kuivatusmenetelmiä välttämättä tarvita riittävän matalan betonin kosteuden saavuttamiseksi. Kalliimman betonimassan avulla voidaan säästää lämmitys ja kuivatus menetelmien energia ja kalusto kustannuksissa. [19.], [20.]

NK-betonissa on käytetty uudenlaista huokostimien, notkistimien, kiviaineksen ja sideainesten yhdistelmää, jonka avulla vesi pääsee haihtumaan kovettumisvaiheessa normaalia nopeammin, mutta on silti työstettävissä normaalien valmisbetoneiden tavoin. [20.]

Alemmassa taulukossa 5. on esitetty yleisimpiä betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoja. [22.] Raja-arvot on varmistettava materiaalien valmistajan ohjeiden mukaan. Ilman sulkuja on yleisesti käytetyt raja arvot ja sulkujen sisällä on NCC:n mittalaitteen toleranssit huomioon ottava kosteuden enimmäisarvo. [22.]

Taulukko 5. Yleisimpiä betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoja.

Materiaali	Kosteus mittaus syvyydestä *	Kosteus pintaosista (2-3cm)
Mosaiikki parketti	80-85% (77-82%)	75% (72%)
Alustaan kiinnittämättömät puulattiat ja kelluvat parketit	85% (82%)	75% (72%)
Vesiliukoisella liimalla kiinnitettävät ja kelluvat päällystemateriaalit kuten: Erilaiset muovimatot, linoleumimatto, korkkimatot, kumimatot, tekstiilimatot, joissa tiivis alusmateriaali	85% (82%)	75% (72%)
Alustaan kiinnittämättömät muovi- ja linoleumimatot, päällysteet, joissa kiinnitykseen on käytetty vähintään 90%:n kosteuspitoisuuden kestävää liimaa, klinkkerilaatat, polyuretaanimuovimassat, täyssynteettiset tekstiilimatot	90% (87%)	
Epoksi-, akryyli ja polyesterimuovimassat	85-97% (82-94%)	
Kermieristykset	90% (87%)	
Märkätilojen vedeneristeet	90% (87%)	

* Kosteuspitoisuuslukema määritetään BY 45:n kohdan 4.4.3.1 mukaan betonin sisäosista syvyydestä, joka on 20 tai 40% laatan paksuudesta (yleensä tavanomaisissa rakenteissa n.5-6 cm:n syvyydestä)

Betonin kuivatusaika lasketaan siitä, kun betonin jälkihoito on loppunut, lisäkosteuden pääsy rakenteeseen on estetty ja olosuhteet ovat sellaiset, että kuivumista voi tapahtua. [1 s.545.] Kun käytetään jälkihoitoainetta laskenta alkaa, kun laatasta on hiottu jälkihoitoaineet pois. Kuivatus ja kosteuden hallinta menetelmiä on useita. Rakenteiden kuivumiseen vaikuttaa se, millainen rakenne on, kuinka paksu se on, millainen betoni valitaan, sääsuojaus, jälkihoidon kesto ja toteutus, lämpötila, sääsuojaus ja puhtaana pito. On myös huomioitava, mahdollisiin vesivahinkoihin varautuminen esimerkiksi vesi-imurilla on tarpeen, jotta rakenteisiin ei näissä tapauksissa ehdi imeytyä vettä, niin että se kas-telee koko rakenteen. Myös kuivatuslaitteiden nopea saatavuus työmaalla on tärkeää vesivahinkoriskin vuoksi. [1 s. 536, 537, 546.]

Sääolosuhteisiin varautuminen on tärkeä osa betonin kuivatusta. Rakentamissuunnitel- lussa rakentamisajan sade- ja sulamisvesien hallintaa on suunniteltava siten, että pinta- vedet ohjataan pois rakennuksesta. [12 s.6.] Paras tapa suojata rakennus säältä, ennen kuin ikkunat ja vesikatto on valmis, on sääsuoja. Valettaessa betonin huokoiset ovat täynnä vettä, eikä betoni pysty vastaanottamaan lisää vettä, mutta kun sitoutuminen ete- nee betonin huokosiin, mahtuu lisää vettä, tämän vuoksi valmis holvi on suojattava mah- dollisimman pian kastumiselta. [1 s. 537.]

Nopeasti pystytettävä runko on kosteudenhallinnan kannalta hyväksi, sillä varsinkin pai- kallavaletun ylemmän kerroksen holvi toimii saumattoman rakenteensa vuoksi hyvin sääsuojana. Holvin aukot tulee sulkea vesitiiviisti, jotta vesi ei pääse kulkeutumaan hol- veilta alempiin kerroksiin. Holveille olisi hyvä tehdä väliaikainen viemärointi, jotta holville tullut vesi saadaan ohjattua pois rakennuksesta. Ikkunat ja ovet tulisi asentaa mahdolli- simman pian, jotta sisäolosuhteet saadaan kuivumisen kannalta hyväksi, jos ikkunoita ei voida asentaa aikaisessa vaiheessa, tulee ikkuna-aukot suojata niin, että lämpö ei kar- kaa sisältä ja kosteus ei pääse ulkoilmasta sisälle. On tärkeää, ettei betoni tule kastu- maan uudelleen kuivumisen alettua, sillä uudelleen kastunut betoni kuivuu 1,4-2 kertaa hitaammin. [1 s. 545, 546.], [21.]

Rakennuksen sisällä kuivumisolosuhteita tulee seurata ja kuivumisajan laskennassa tu- lee huomioida, milloin olosuhteet saadaan sellaiseksi, että rakenteen kuivumista pääsee tapahtumaan. Ilmankosteuden tulisi olla kuivatuksen aikana alle 50% RH ja lämpötila vähintään +20 °C. Kun ilmankosteus on yli 70% ei kuivumista pääse juuri tapahtumaan.

Betonin lämpötilan seuranta on tärkeää, sillä kun lämpötila nousee 10 °C, kasvaa lämpöä siirtävä voima 1,5-kertaiseksi. Tämä tarkoittaa, että kun lämpötilaa nostetaan +10 °C:sta +30 °C:een, lyhenee betonin kuivumisaika puolella. [1 s.548.]

Ulkoilman kosteus on keskimäärin 70-85 %, joten betonin kuivuminen on erittäin hidasta ilman, että sisäilmankosteutta hallitaan jollain keinolla. Talvella, kun ilman suhteellinen kosteus on matalampi kuivatusmenetelmiksi riittää yleensä, se että huoneilmaa lämmitetään. Lämmityksen kannalta kannattaa rakennuksen lopullinen lämpö ottaa mahdollisimman nopeasti käyttöön ja tarvittaessa käyttää lämmityspuhaltimia. Viileillä säillä tulee tehostaa lämmitystä ja lisätä tuuletusta kuivumisen parantamiseksi. Lämpimillä säillä ulkoilman kosteus on niin korkea, että kosteuden kerääjien käyttö on välttämätöntä kuivumisen kannalta. [1 s.548-549.]

3 Aikataulu

3.1 Menetelmien vaikutus aikatauluun

Erimenetelmien vaikutusta aikatauluun on tässä katsottu työmenekkien pohjalta. Kuivumisajan suunnittelu on merkittävä osa aikataululle, tähän vaikuttavat tekijät ovat betonin valinta, jälkihoito, kuivatus ja lämmitys menetelmät ja olosuhteet. Näiden valintaa on pohdittu erikseen menetelmien vertailuosiossa.

3.1.1 Holvimuottien työmenekki

Pöytämuoteilla työmenekki on pienin, kun taas lauta vanerimuoteissa työmenekin yhteiskulu on suurin. Jos pöytämuotteja ei päästä tehokkaasti pystyrakenteiden asettamien rajoitteiden vuoksi, on holvin kasettimuotit hyvä vaihtoehto pienen työmenekin vuoksi. Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmät on vartenotettava vaihtoehto, niiden halvemman hinnan ja paremman muokattavuuden vuoksi.

Alemmassa taulukossa 6. eri muottijärjestelmien työmenekkejä [8 s.1] [1 s.239, 250]

Taulukko 6. Eri muottijärjestelmien työmenekkejä

Muottijärjestelmä	Työmenekki
Pöytämuotit	0,13 tth/m ²
Kasettimuotit (SKYDECK)	0,15-0,30 tth/m ²
Kasettimuotit	0,32 tth/m ²
Vakiopalkit ja levyt	0,25-0,50 tth/m ²
Kasettipalkkimuotti	0,50 tth/m ²
Lautapalkkimuotti	0,90 tth/m ²

3.1.2 Betonointikaluston työmenekit

Laatan valun työmenekki pumpulla tai nostoastialla ei teoriassa merkittävästi eroa toisistaan, molemmilla menetelmillä saadaan lähes saman kuutiomäärä betonia siirrettyä työpäivän aikana. Joten menetelmä tulee valita käytetyn betonin laadun ja nosturin käyttö mahdollisuuksien mukaan, jos nostoastiaa käytetään ja vaaditaan suurempaa valua työvuoron aikana kuin nostoastia mahdollistaa, joudutaan työhön varaamaan useampi nosturi. Pumppu on valussa noin 4% nopeampi, joten sen nopeuden ero ei ole merkittävä. Molemmilla menetelmillä onnistuu noin 100 m³:n valu yhdessä työvuorossa.

Nostoastialla valettaessa on kuitenkin enemmän muuttujia työvaiheessa, verrattuna pumppuun, joka vaikuttaa työsaavutukseen huomattavasti eri kohteiden ja työryhmien välillä. Pumpulla, jos ongelmia ei tule, työ on huomattavasti helpommin arvioida. [19.]

Alemmassa taulukossa on vertailu pumpun ja nostoastian työmenekkistä [11]

Taulukko 7. Vertailu pumpun ja nostoastian työmenekkistä

Karkeutettu työmenekki	T3	T4
Laatat pumpulla	0,20 tth/m ³	0,23 tth/m ³
Laatat nostoastialla	0,21 tth/m ³	0,24 tth/m ³
Karkeutettu työsaavutus	T3	T4
Laatat pumpulla	120 m ³ /tv	104 m ³ /tv
Laatat nostoastialla	114 m ³ /tv	100 m ³ /tv

Alemmassa taulukossa 8 on esitetty koneellisen ja käsin tehtävän hierron työmenekkiero. Koneellinen hierto on huomattavasti nopeampaa kuin käsin tehty hierto, joten varsinkin suuremmissa holvivaluissa tulisi hierto suorittaa suurilta osin koneellisesti. [12 s. 4.]

Taulukko 8. Koneellisen ja käsin tehtävän hierron työmenekkiero

Menetelmä	Työmenekki
Koneellinen hierto	0,02 tth/m ²
Käsin hierto	0,03 tth/m ²

3.1.3. Raudoitustyömenekit

Kolmen asentajan ryhmällä raudoitusmattoja saadaan asennettua 20-30 tn työpäivässä, joka on huomattavasti nopeampaa kuin irtoterästen ja verkkoraudoitteiden asennus. On kuitenkin huomioitava, raudoitettava määrä ja raudoitettavan alan muoto. Hankalat muodot ja pystyteräksset vaikeuttavat huomattavasti maton asennusta, jonka takia työmenekki voi kasvaa huomattavan suureksi ja päivässä saatu työsaavutus voi olla sama muihin menetelmiin verrattuna. Irtoraudoitteiden käyttö on huomattavasti verkkoraudoitteita hitaampaa, mutta verkkoraudoitteiden käyttö holvivaluissa ei ole usein pitkien jänneväliden takia mahdollista. Verkkoraudoitteissa on myös huomioitava, että hankalat muodot ja aukot lisäävät huomattavasti enemmän työmenekkiä, verrattuna irtoteräksiin.

Alemmassa taulukossa 9. työmenekki eripaksuisilla verkko- ja irtoraudoitteilla. Menekki on ilmoitettu, montako tehtyä työtuntia menee per 1000 kg rautaa. [3 s. 3.]

Taulukko 9. Työmenekki eripaksuisilla verkko- ja irtoraudoitteilla

Raudoitusmenetelmä	Käytettävä teräs	Työmenekki
Laatta verkkoraudoitteilla	∅ 4 mm, k/k 150 mm	16,5 tth/1000kg
	∅ 6 mm, k/k 150 mm	7,5 tth/1000kg
	∅ 8 mm, k/k 150 mm	5,0 tth/1000kg
Laatta irtoraudoitteilla	∅ 8 mm	12,0 tth/1000kg
	∅ 10 mm	8,0 tth/1000kg
	∅ 12mm	5,5 tth/1000kg
	∅ 16 mm	4,5 tth/1000kg
	∅ 20 mm	4,2 tth/1000kg

Tehtävän raudoituksen määrä vaikuttaa työmenekkiin, työmenekin kerroin on 1 kun raudoitettava määrä on 75 tn. Alemmassa taulukossa 10. esitetty kuinka raudoitettava määrä kilogrammoina vaikuttaa työmenekkiin.

Taulukko 10. Kuinka raudoitettava määrä kilogrammoina vaikuttaa työmenekkiin

Suoritemäärän vaikutus työmenekkiin					
Laattojen raudoitus, kg	≤25000	50000	75000	150000	≥300000
Työmenekin kerroin	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90

4 Tuotantomenetelmien valinta

4.1 Menetelmien valinta ja vertailu

Valutöitä tehdessä aikataulullisesti edullisinta on pyrkiä siihen, että saadaan seuraava holvi mahdollisimman nopeasti kiinni, jotta alemman holvin kuivatus ja jälkityöt saataisiin käyntiin. Muottikalusto ja raudoitusmenetelmä tulisi valita niin, että itse valu päästään toteuttamaan nopeasti, valumenetelmä kannattaa valita betonin mukaan, sillä menetelmien työmenekillä ei ole suurta eroa. Suurin vaikutus aikatauluun on riittävän nopea ja tehokas rakenteen kuivatus ja kuivumisen edellytyksien saavutus, joka tulisi huomioida betonia valittaessa.

4.1.1 Muottikaluston valinta ja vertailu

Mahdollisimman nopean muottipystytyksen kannalta tulisi valita pöytämuotit, jos rakennuksen malli sallii niiden tehokkaan käytön. Yleensä asuinrakennuksissa kuitenkin pöytämuottien käyttö ei ole mahdollista, jolloin nopeimman työkierron aikaansaamiseksi kannattaa valita holvin kasettimuotit tai vakiopalkit ja muottilevyt.

Vakiopalkit ja muottilevyt -järjestelmällä ja holvin kasettimuoteilla voidaan päästä samaan muottikiertonopeuteen työryhmän kokoa muuttamalla. Purku- ja kasausnopeutta voidaan hyvin säätää työryhmän kokoa muuttamalla, joten valitulla järjestelmällä ei ole merkittävää aikataulullista vaikutusta.

4.1.2 Raudoitusmenetelmien valinta ja vertailu

Jos holvi on selkeä ja laaja, on raudoitus suositeltavaa tehdä rullaraidoiteilla, niitä käyttämällä saadaan raudoitettua työvuorossa jopa kymmenkertainen määrä yhdellä työporukalla, tämän ansioista valu voidaan suorittaa huomattavasti nopeammin. Rullaraidoiteita käyttämällä saadaan muottikierto lyhyemmäksi ja betonin kuivatus päästään aloittamaan aiemmin.

Usein asuinrakentamisessa holveissa on paljon rullaraudoitteiden käyttöä haittaavia asioita, kuten tartuntoja ja pystyteräksiä väliseinille. Näiden haittojen takia rullien asennus hidastuu niin merkittävästi, ettei niiden nopeampi asennusnopeus ole välttämättä tuo merkittävää aikataulullista etua. Rullaraudoitteiden hinta on myös huomattavasti suurempi, jota vielä lisää suurien rullien rahtikuljetukset huomattavasti. Irtoteräksillä voidaan hyvin päästä samaan työkiertoon kuin rullaraudoitteilla, ottamalla suuremman raudotusporukan. Suuremmasta työryhmästä huolimatta voidaan säästää kustannuksia rullaraudoitteiden kalliimman hinnan vuoksi.

Rauditusmenetelmiä valittaessa on huomioitava, minkälainen työkierto kohteeseen kannattaa suunnitella, tietyissä tapauksissa hitaampi rauditusmenetelmä on aikataulu tahdistuksen kannalta järkevämpi vaihtoehto. Alapinnan ja yläpinnan raudoitteiden välissä tulee olla aikaa tehdä tarvittavat putki ja sähkötyöt. Jos useamman lohkon holvia tehdään saman aikaisesti, voi rauditus porukka siirtyä raudoittamaan seuraavaa lohkoa, kun pintojen väliset työvaiheet tehdään. Tahdistamalla työvaiheita voidaan hitaamalla työmenetelmällä saavuttaa sama tuotantoaika ja säästää materiaalikustannuksissa. Esimerkiksi NCC:n Bonavalle rakentama Kauniaisten Basileus 2012 toteutettiin irtoraudoituksilla. Irtoraudoitteilla saatiin aikaan järkevä työkierto, sillä kohteessa nousi 3 rappua samaan aikaan. Työkierto oli suunniteltu niin, että raudoittajilla oli koko ajan mestaa, eikä raudoittajien tarvinnut poistua työmaalta irtoraudoitteiden ansioista. [18.]

Rullaraudoitteita ja irtoraudoitteita voidaan yhdistellä, niin että selkeät laajat alueet tehdään rullaraudoitteilla ja hankalammat alueet irtoteräksillä. Menetelmiä yhdistelemällä joissain tilanteissa voidaan saavuttaa tehokkain työkierto.

4.1.3 Jälkihoitomenetelmien valinta ja vertailu

Jälkihoitomenetelmiä valittaessa tulee huomioida vallitsevat olosuhteet ja valita menetelmät sen mukaan. Kun holvit tehdään sellaisena ajankohtana, etteivät ne pääse kuivumaan liian nopeasti ei välttämättä jälkihoitoa tarvitse tehdä muuta kuin seuraamalla ja tarvittaessa kastelemalla. Menetelmää valittaessa tulee myös huomioida aikataulu ja kuivuminen. Esimerkiksi Kauniaisten Basileuksessa ei syksyn kosteiden säiden takia tarvittu erillistä jälkihoitoa betonin liiallisen kuivumisen estämiseksi, rakenteet tulivat silti

kuiviksi ajallaan tehokkaan lämmityksen avulla, kun runko oli pystyssä ja vaippa kiinni.
[18.]

Kun jälkihoitomenetelmiä vaaditaan, ruiskutettavat tai telattavat jälkihoitoaineet ja varhaisjälkihoitoaineet ovat suositeltavia, niiden helpon levityksen ja varman toiminnan kannalta. Muovikalvot holvilla on vaikea saada tiiviisti tuulelta suojatusti pysymään koko jälkihoidon ajan, mutta jos olosuhteet ovat sellaiset, että kalvo pysyy tiiviisti, voidaan sitä käyttää. Kalvo on helppo poistaa jälkihoitoajan päätyttyä. Rakenteen kastelu ei ole suositeltavaa kuivumista ajatellen, mutta jos kuivumiselle on riittävästi varattu aikaa voi sitä käyttää. Jälkihoitoa asuinrakennusten holveissa tulee olosuhteitten mukaan jatkaa 3-7 vuorokautta.

4.1.4 Valumenetelmien valinta ja vertailu

Valumenetelmä tulee valita sen mukaan, minkälaista betonia käytetään, kaikkia betoneita ei välttämättä pystytä siirtämään pumppaamalla, jolloin valu on tehtävä nostoastialla. Menetelmää valittaessa tulee myös huomioida, onko nosturi käytettävissä ja voidaan nosturi sitoa valutöihin, vai tarvitaanko nosturia muihin nostotöihin valutöiden aikana, esimerkiksi toisen rungon elementtiasennukseen.

Usein on kuitenkin suositeltavaa valita pumppu valutyön tekoon, vaikka teoriassa menetelmät ovat yhtä nopeita, on nostoastialla tehty valutyö huomattavasti herkempi muuttujille ja voi olla sen takia huomattavasti hitaampaa kuin pumpulla tehty valutyö. Massa harvoin on sellaista, ettei sitä voida pumpulla siirtää, sillä massan on oltava työstettävää myös holvilla, eikä käytetyt raekoot estä yleensä pumpun käyttöä.

4.1.5 Betonimassan valinta

Kuivumisen kannalta olisi hyvä valita sellainen betonimassa, joka on nopeasti kuivuva. Lujan NK-betoni on osoittautunut hyväksi valinnaksi holvivaluissa sen kuivumisominaisuuksiensa ansiosta ja sitä suositellaan käytettäväksi, kun rakennusaikataulu vaatii nopean kuivumisen. Tiiviin massan käyttöä ei suositella, sillä sen kuivaksi saaminen on haasteellista ja kuivatuskalustolle tulee hyvin nopeasti suuri hinta. Korkeamman lujuusluokan betoni saavuttaa nopeammin muotin purkulujuuden, joten jos aikataulu vaatii

nopean muotin purun, tulee valita suurempi lujuusluokka. Betonin suurin raekoko valitaan suunnitelmien tai betonin suojapeitteen mukaan, yleensä asuinkerrostaloissa välipohjien vaadittu suojakerroin on 25 mm, jolloin suurin sallittu raekoko on 16 mm.

4.1.6 Kuivatus ja lämmitys

Kuivatuksen kannalta merkittävin tekijä on valita oikeanlainen betonimassa. On myös huolehdittava, ettei laatta pääse kastumaan uudelleen jälkihoidon päätyttyä, sillä uudelleen kastunut laatta kuivuu huomattavasti hitaammin. Vaipan kiinni saaminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa edesauttaa kuivumisolosuhteiden mahdollistamista. Riittävän lämmön saaminen rakennukseen edesauttaa kuivumista, 10 asteen ero puolittaa kuivumisajan. Tehokas ilmanvaihto edesauttaa kuivumista, jotta kostea ilma saadaan ajettua ulos.

Talon lopullinen lämmitys olisi hyvä saada käyttöön mahdollisimman nopeasti, jotta sillä voidaan lämmittää rakennusta. Ennen lopullisen lämmön saantia vesikiertoiset lämmityslaitteet toimivat hyvin rakennuksen lämmitykseen, jos kaukolämpö on kytkettävissä siinä vaiheessa, kun rakennusta aletaan kuivattamaan. Valuvaiheessa nestekaasukäyttöiset lämmittimet toimivat hyvin niiden helpon siirrettävyyden ja asennuksen vuoksi, niitä ei suositella kuitenkaan käytettävän jälkihoitoajan jälkeen, niiden tuoman kosteuden vuoksi. Jos vesikiertoista lämmitystä ei saada käyttöön, ovat öljykäyttöiset lämmittimet suositeltavia.

Sähköpuhaltimilla suurempien alueiden lämmitys ei ole suositeltavaa, sillä työmaan sähköt ei yleensä riitä koko talon lämmittämiseen sähköllä, eikä sähkölämmitys ole taloudellinen vaihtoehto. Sähkölanka lämmitystä voidaan käyttää betonin kovettamiseen, jäätymisen estämiseen ja kuivumisen edesauttamiseen.

Jos olosuhteet vaativat, eikä betoni näytä kuivuvan tavoite ajassa, on hyvä käyttää kosteuden kerääjiä, jotta ilman suhteellinen kosteus saadaan alas. Lisälämmitystä voidaan myös käyttää. Kun tavoitellaan nopeampaa kuivumista, laattaa tulee lämmittää ja jäähdyttää pumppaamalla, kosteuden poistumisen tehostamiseksi.

5 Valintaopas

Valintaoppaaseen on koottu tärkeimmät huomiot mitä tulee huomioida paikallavaluholvien toteutusta suunnitellessa. Taulukkoon on eritelty lyhyesti missä eri menetelmät toimivat parhaiten. Menetelmien valinta tulee tehdä kohdekohtaisesti, eikä yhtä oikeaa tuotantotapaa voi määritellä. Valintaopas on luotu lähdemateriaalien ja haastatteluiden perusteella kerätyistä asioista. Paikallavaluholvit ovat työläitä ja niissä on paljon huomioitavia asioita, joita tässä työssä ei ole käsitelty, eikä ole huomioitu valintaopasta luodessa.

Muotin valinta	
Pöytämuotti	Jos valualue on laaja, toistoja on useita ja holvin alapuolisessa tilassa on paljon tilaa
Kasettimuotti	Jos aikataulu on kierä, alue on suhteellisen yksinkertainen ja kasettien jako sopii alueeseen
Vakiopalkit ja levyt	Jos alue on monimutkainen ja kasettien mitoitus on haasteellinen kohteeseen
Rauditusmenetelmän valinta	
Mattorautoite	Jos raudoitettava ala on laaja ja yksinkertainen, eikä siinä ole paljon tartuntoja tai pystyteräksiä
Irtoteräket	Jos raudoitettava ala on monimutkainen, siinä on paljon pystyteräksiä ja tartuntoja tai jos työkierron tahdistuksen kannalta järkevämpi
Rauditusverkot	Jos jännevälit ovat pieniä, harvoin holvivaluissa
Valumenetelmän valinta	
Pumppu	Soveltuu suurimpaan osaan valuista ja betoneista, sen tehokkuuden vuoksi suositeltavaa käyttää, jos mahdollista
Nostoastia	Käytetään vain, jos massa ominaisuuksiltaan vaatii sen
Betonin valinnan huomiot	
	Valitaan nopeasti kuivuva betoni, esim. Lujan NK-betoni Valitaan suurempi lujuusluokka, jos halutaan nopeampi työkierto

Jälkihoitomenetelmän valinnan huomioit	
	<p>Jos alueella tuulee, on ruiskutettavat jälkihoito-aineet suositeltavia</p> <p>Jos tuulta ei ole tai siltä voidaan alue suojata, niin muovikalvoja voidaan käyttää</p> <p>Jos sääolosuhteet ovat otollisia, ei jälkihoitoa välttämättä tarvita, mutta on suositeltavaa</p>
Lämmitysmenetelmien valinta	
Kaasu	Valun jälkeisessä lämmityksessä ja jälkihoidon aikaisessa lämmityksessä, taloudellinen ja helppo asentaa runkovaiheessa
Infrapuna	Vaihtoehtoinen lämmitysmenetelmä kaasulle, ei sovi vakiopalkit ja levyt muottijärjestelmän kanssa
Sähkölangat ja kivetin kaapelit	Toimivat valun kovuuden ajan ja betonin kuivatuksessa hyvin, kuluttavat paljon sähköä laajasti käytettynä
Kiertovesipuhallin	Jos kaukolämpö on kytkettävissä, on taloudellinen menetelmä, joka ei kuluta kohtuuttomasti työmaan sähköä
Lopullinen lämmitysjärjestelmä	Lopullinen lämmitys tulisi ottaa käyttöön mahdollisimman nopeasti, sillä sen avulla lämpöä saadaan tasaisesti koko rakennukseen
Sähkökäyttöiset lämpöpuhaltimet	Pienten alueiden lämmitykseen, kallis ja työmaan sähköt eivät riitä laajempaan lämmitykseen
Polttoöljykäyttöiset lämmittimet	Jos kaukolämpö ei ole käytettävissä tai sen teho ei riitä

Kuivatusmenetelmien valinta	
Ennakoivat kuivatusmenetelmät	<p>Nopeasti kuivuvan betonin valinta</p> <p>Vaippa kiinni mahdollisimman nopeasti</p> <p>Ikkunoiden asennus aikaisessa vaiheessa</p> <p>Rakenteiden tiivistys</p> <p>Lattian kastumisen estäminen, vesi-imuri</p> <p>Sadevesien ohjaus pois holveilta viemäröineillä</p> <p>Sääsuoja</p> <p>Riittävä lämmitys, pyritään pitämään sisälämpötila noin 20 °C</p>
Lisätoimenpiteet tehokkaampaan kuivumiseen	<p>Olosuhdeseuranta</p> <p>Kosteuden kerääjät ja osastointi</p> <p>Tehokkaampi tuuletus</p> <p>Lämpötilan nostaminen ja "pumppaaminen"</p> <p>vuoron lämmitys, vuoron tuuletus</p>

6 Yhteenveto

Paikallavalettavat holvit ovat työläitä ja niissä on huomattavan paljon enemmän tehtävää työtä verrattuna ontelolaattoihin. Suuri työmaalla tehtävä työmäärä vaikuttaa aikatauluun ja jotta työkierto olisi riittävän nopea, tulee työ suunnitella huolellisesti.

Valittavat työmenetelmät tulee miettiä kohteen mukaan, jos kohde on jaettavissa lohkoihin, niin että holveja on useampi kerrallaan, tulee menetelmät valita niin että niihin saadaan hyvä tahdistus. LVIS-töille on varattava riittävä aika raudoitustöiden välissä.

Suurimmat vaikutukset runkovaiheen aikatauluun on muottityöt, raudoitustyöt ja riittävän betonin kantokyvyn saavuttaminen. Muottityövaihtoehdoista, jotka soveltuvat asuinrakentamiseen, ovat kasettimuotit paras vaihtoehto työmenekiltään, mutta vakiopalkit ja levyt järjestelmä soveltuu myös hyvin, niiden muokattavuuden ansioista. Raudoitusmenetelmiä valittaessa valintaan mattoraudoite, jos kohde on yksinkertainen ja raudoitettava ala on laaja, muuten valitaan irtoteräksset. Valmisraudoitteita tulee suosia niin paljon kuin mahdollista, jotta holvilla tehty työ minimoidaan. Betonia valittaessa on hyvä valita suuremman lujusluokan betonia, jolloin muotin purku voidaan tehdä aikaisemmassa vaiheessa, voidaan aloittaa seuraavan kerroksen työt aikaisemmassa vaiheessa ja saadaan työkierto lyhyemmäksi.

Jälkihoitomenetelmillä ei ole suurta aikataulullista merkitystä, mutta ruiskutettavat jälkihoitoaineet ovat helpoimpia levittää, niin että jälkihoito alkaa oikeaan aikaan. On varmistettava, että jälkihoitoaika on riittävä ja että kuivatus toimenpiteet aloitetaan heti jälkihoiton päätyttyä.

Betonin kuivatusta ajatellen tulee huomioida betonin valinta, jonka vuoksi on hyvä valita nopeasti kuivuva massa. Kuivumisen varmistamiseksi tulee huomioida kohteen riittävä lämmitys ja tuuletus. On varmistettava, ettei laatta pääse kastumaan kuivumisaikana, sillä kastunut laatta kuivuu huomattavasti hitaammin. Betonin kuivumista seurataan kosteusmittauksilla ja tarvittaessa kuivumista tehostetaan kosteuden kerääjillä ja lämmitystä lisäämällä. Lämmitysmenetelminä kannattaa käyttää talon lopullista lämmitystä ja vesikiertoisia lämpöpuhaltimia kunnes kohteessa on lopullinen lämpö kytkettävissä.

Lähteet

- 1 Suomen Betoniyhdistys - BETONITEKNIIKAN OPPIKIRJA 2018 by 201
- 2 Ratu KI-6020 Talonrakentamisen tuotetekniikka
- 3 Ratu 0402 Raudoitus
- 4 Talonrakennusalan urakkahinnoittelu 2019-2020
- 5 Doka, DokaFlex 1-2-4 Käyttäjätietoa Asennus- ja käyttöohje, 06/2014
- 6 Peri, MULTIFLEX Monikäyttöinen holvimuottijärjestelmä – jopa 1,00 m paksuille laatoille, Esite Painos 05/2018
- 7 Doka, DokaFlex pöytä Käyttäjätietoa Asennus- ja käyttöohje, 11/2005
- 8 Peri, PERI Pöytämuotit Vakiomittainen moduulipöytä tai muunneltava pöytämuotti, Painos 08/2009
- 9 Peri, SKYDECK Alumiininen holvimuottijärjestelmä nopeaan muottityöhön, Painos 10/2014
- 10 KONE-RATU 06-3021
- 11 Ratu 0403, Betonointi, TALO-RATU-OHJEKORTTI, Menetelmät ja menekit, Elokuu 2012
- 12 Ratu 0404, Pintabetonityöt, TALO-RATU-OHJEKORTTI, Menetelmät ja menekit, Elokuu 2012
- 13 Ratu S1234, Olosuhteiden vaikutus rakentamisessa, Joulukuu 2017
- 14 MATTORAUDOITTEELLA AIKATAULUT JA KUSTANNUKSET KURIIN - betoni 2 2009
- 15 <https://celsa-steelservice.fi/tuotteet/bamtec/> (haettu 10.4.2021)
- 16 <https://www.rttuotetieto.fi/158466-bamtec-mattorautoite-1021820.html> (haettu 10.4.2021)

- 17 <https://www.rttuotetieto.fi/349867-b-group-valmisraudoitteet-spinmaster-rulla-verkot-1150833.html> (haettu 10.4.2021)
- 18 Vastaavatyönjohtaja, NCC, 14.4.2021
- 19 Työnjohtaja, NCC, 14.4.2021
- 20 <https://www.lujabetoni.fi/2012/12/10/uusi-nk-betoni-ehkaisee-lattioiden-kosteusvaurioita/> (haettu 24.4.2021)
- 21 <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-vaiheet/rakentamisen-valmistelu/urakoitsijan-aikataulusuunnittelu> (haettu 24.4.2021)
- 22 <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Korjausten-laadunvarmistus/Ty-omaan-kosteudenhallinta> (haettu 24.4.2021)
- 23 <https://www.rudus.fi/palvelut/betonin-kuljetus-ja-kalustoesittely-ja-kalustosta> (haettu 27.4.2021)
- 24 Doka, Varmistettuna putoamisen varalta FreeFalcon – Siirrettävä kiinnitysmasto
- 25 <https://www.vepe.fi/fi/palvelut/tuote/rakentaminen/turvakaiteet/Hilma+ja+Sami/li-feline> (haettu 27.4.2021)

