

Artem Krutto

Paikallatehdyn seinämuotin suunnittelu ja toteutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

08.04.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Artem Krutto Paikallatehdyn seinämuotin suunnittelu ja toteutus 43 sivua + 1 liitettä 08.04.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	Rakennustekniikka
Ohjaajat (t)	Juha Virtanen, lehtori, Metropolia AMK Mika Häyrinen, toimitusjohtaja, Jerodos Oy Mervi Anttilainen, aluevastaava työnjohtaja, YIT Suomi Oy
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia muotti- ja valumenetelmiä ja niiden toteutustekniikoita. Tehtävänä oli suunnitella ja jälkitarkastella seinämuottia. Yhteenvedossa pohdittiin seinämuotin taipuman ja kestävyysarvoja sekä niiden vaikutuksia rakenteille. Näyttötöiden tarkoitus oli teoreettisesti suunnitella muotteja, toteuttaa ne työmaalla ja mahdollisesti vertailla teoriaa ja todellisuutta keskenään.</p> <p>Insinööriä tehtiin Jerodos Oy:lle. Työ jakautuu teoria- ja toteutusosuuteen. Teoriaosuus koostuu nykyään käytössä olevista muotti- ja valumenetelmistä ja suunnitteluohjeista. Toteutuksen osuudessa pohdittiin teorian käyttöä todellisessa tilanteessa ja eroa, joka syntyy teorian ja oikean toteuttamisen välillä.</p> <p>Työn aikana suunniteltiin muotti ja valettiin seinämuotilla työmaalla, jossa oli mahdollista tehdä tarvittavat mittaukset muottirungolle ja taipumalle.</p>	
Avainsanat	Muotti, betoni, paikallavalu

Author Title	Artem Krutto Design and Implementation of a Local Wall Mould
Number of Pages Date	43 pages + 1 appendices 08.04.2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Juha Virtanen, Senior Lecturer, Metropolia Mika Häyrynen, Chief Executive Officer, Jerodos Oy Mervi Anttilainen, Site Manager, YIT Finland Ltd
<p>The purpose of this bachelor's thesis is to study formwork and moulding methods, and their implementation technique. Designing and after check-up must be done in this program. The purpose is to consider wall formwork of deflection and sustainability values and their impact in summary. The focus in this work is to design theoretically formwork, as well, and implement them at the building site and compare the theory and practical side between each other.</p> <p>The engineering work is performed at Jerodos Oy. This work shares both the theory and practical part. The theory side includes the modern world's formwork and moulding methods and designing instructions in general as well. During the practical part the theory side is considered and the difference which is born from the difference of theory and the right practical implementation.</p> <p>During the work, the design is made for formwork and moulded wall formwork at the construction site where it was possible to make needed measurements for formwork and mould frame.</p>	
Keywords	Formwork, concrete

Sisällys

Käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoite	1
1.2	Ongelmat	2
1.3	Työrajaus	2
2	Betonipaikallavalun muottimenetelmät ja ulkopuolisen kuorman vaikutus	2
2.1	Oikean muottimateriaalin ja -menetelmän valinta	3
2.1.1	Paikallatehdyt lauta- ja levymuotit (kappaletavara)	3
2.1.2	Järjestelmämuotit	4
2.1.3	Suurmuotit	5
2.1.4	Muovikelmumuotit	6
2.1.5	Kiipeävät muotit	7
2.2	Muotin kuormituksen laskenta ja kuorman vaikutus	8
2.2.1	Muotin oma paino	9
2.2.2	Betonivalun vaikutus	9
2.2.3	Raudituksen vaikutus	10
2.2.4	Sääolosuhteen vaikutus	10
3	Muotin valumenetelmät	10
3.1	Kuljetuspumppuauto eli pumi	10
3.2	Autobetonipumppu puomikoneen kanssa	11
3.3	Betonijassikka / Nostoastia	11
3.4	Perässä hinattavat betonipumput	12
3.5	Siirtokuljetinauto (higna)	13
3.6	Ränniauto, valukouru	13
3.7	3D-betonitulostin	14
4	Teoreettinen laskumenetelmä muotille	15
4.1	Valupaineen laskeminen	15
4.2	Levy pintainen levy muotti	19
4.3	Lautapintainen muotti	23
5	Toteutus työmaalla	25
5.1	Materiaalin valinta	26

5.2	Muotin rakentaminen	28
5.3	Ongelmat ja niiden ratkaisu	31
5.4	Muotin valaminen	32
6	Lopputulos ja lopputarkastus	35
6.1	Muotin teoreettinen taipuma	35
6.2	Todellinen taipuma	37
6.3	Tuloksen analysointi	38
7	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liite 1 Alumiinitangon vetojännitys	43

Käsitteet

Hydrostaattinen paine:	Paine, joka syntyy nesteen vaikutuksesta.
Muottimenetelmä:	Menetelmä, jolla muotti toteutetaan.
Nimellislujuus:	Betonin lopullinen lujuus, jonka perusteella suunnitellaan rakenteen kestävyys.
Notkeus:	Betonin nestemäisyys tai jäykkyys.
Ratu-kortisto:	Tuotannosuunnittelun tietopaketti, joka lisää ammattitaitoa ja pitää tiedot ajan tasalla.
Valupaine:	Paine, joka syntyy nestemäisen betonin vaikutuksesta.
Vetojäännitys:	Jännitys, joka syntyy, kun venytetään materiaalia.

1 Johdanto

Viime vuosisatojen aikana muottimenetelmät ovat olleet hyvin kehittyneitä verrattuna vanhaan aikaan. Ihmiset pystyvät rakentamaan valtavia rakennuksia betonista, ja siltoja ja tunneleita minne tahansa. Korkeat ja valtavat pilvenpiirtäjät Dubaissa, pitkät tunnelit Norjassa, vaikuttavan suuret sillat Kiinassa – ihmisen unelmille ei ole rajaa. Koko ajan haluamme päästä eteenpäin ja eteenpäin, voittaa luonnonlakeja ja itseämme. Vaikka jokin projekti tuntuisi aluksi liian mielikuvitukselliselle, suunnittelemme samaan aikaan jo toista, yhä vaikeampaa. Tämä on ihmisluonnolle luontaista. Koko ajan on jotakin, mitä voi parantaa ja parantaa loputtomiin.

Ensimmäistä kertaa betonia käytettiin jo antiikin Rooman aikana. Muottimenetelmät olivat hyvin kehittyneet jo antiikin ajalla, mutta niitä voi kehittää yhä paremmiksi vielä tänäkin päivänä.

Nykyaikana työmaalla kuka tahansa voi sanoa, että osaa suunnitella, rakentaa ja valaa muotteja, mutta todellisuudessa ammattitaito heikkenee huomattavasti nopeasti ja vaikuttaa laatuun. Työmailla tavataan usein epäonnistuneita muotteja. Tähän vaikuttavat esimerkiksi kiireiset aikataulut ja stressi. Toinen tekijä on osaamaton työvoima ja muotirakentamisen ammattitaidon puutteellisuus. Kolmas tekijä on rahansäästö tai huonosti suunniteltu muotin toteutus.

1.1 Työn tavoite

Tämä näyttötyö tehdään **Jerodos Oy:lle**, joka toimi aliurakoitsijana YIT Suomi Oy:n Karhusuon koulukeskuksen työmaalla Espoossa. Koko uudisrakennuksen seinätyö oli Jerodoksen urakkaa. Oikea suunnittelu säästi sekä materiaalia että rakentamisvaiheen työtunteja ja varmisti lisäksi kestävyuden, kun seiniin kohdistuva valupaine kasvoi korkeuden takia.

Työksi oli annettu rakentaa 4,7 metrin korkea seinä, jonka paksuus oli 300 mm ja pituus noin 10 metriä. Yksi sivu jäi näkyviin. Arkkitehtisuunnitelman mukaan seinän näkyvän puolen piti olla lautapintainen, pystylaudoituksella. Laudan materiaaliksi oli valittu tavallinen 22mm x 100mm lauta.

Muotin kestävyden laskemisessa käytössäni oli pääasiallisesti LAUTA- JA LEVY-MUOTTIRAKENTEIDEN SUUNNITTELUOHJE, Kone – Ratu 06-3029.

1.2 Ongelmat

Ongelmana on se, että monelta rakennusalan työntekijältä puuttuu kokemus ja osaaminen siitä, miten oikeasti suunnitellaan muottien tekoa kappaletavarasta. Seinämuotin toteutuksessa täytyy säästää mahdollisimman paljon resursseja ja aikaa. Materiaalin pitää olla sopivaa ja kestävä. Tämän työn tarkoituksena on löytää ratkaisut siihen, miten voidaan nopeasti ja ekologisesti suunnitella muotti, minkälaisia muottimenetelmiä nykyaikana käytetään, ja miten muotteja betonoidaan sekä vibrataan betonitäryttimellä oikein. Työssä otetaan huomioon myös muotin taipumat ja arvot: taipuma ei saa ylittää annettua sääntöarvoa.

1.3 Työrajaus

Tämä näyttötyö rajattiin käsittämään nykyaikaiset muottimenetelmät heikkoine ja vahvoine puolineen. Sen tarkoitus on tutkia nykyaikaiset betonipaikallavalumenetelmät, esimerkiksi betonipumpun ja betoniauton käyttö puomin kanssa, ja valittujen menetelmien vaikutus muottiin. Lisäksi työn tarkoituksena on tehdä teoreettiset laskelmat valituille muoteille, laskea taipuma ja toteuttaa työ laskelmien mukaan työmaalla. Näyttötyöhön sisältyy yhteenveto muottimenetelmien parantamisesta, kustannuksien ja luonnon säästämisestä sekä betonipaikallavalujen kehittamisestä. Työssä kerrotaan myös, miten työmaalla voidaan helpottaa muotin suunnittelua ja betonivaluja. Lopuksi luodaan katsaus tulevaisuuden materiaaleihin ja menetelmiin, joiden avulla toteutetaan tulevaisuuden projektit.

2 Betonipaikallavalun muottimenetelmät ja ulkopuolisen kuorman vaikutus

Ihmiset ovat kehittäneet erilaisia muottimenetelmiä, joiden avulla voimme rakentaa mitä tahansa. Silti kaikkialla maailmassa yhä käytetään perinteistä puumuottia. Syy on selkeä: puu on halpaa, sitä on helppo käyttää ja purkaa, ja puusta on mahdollista tehdä geometrisesti näyttäviä ja monimutkaisia betoniprojekteja.

Jos on tarvetta rakentaa jotakin valtavaa ja kantavaa, käytetään teräs-, järjestelmä- tai erikoismuotteja. Niiden hinnat ovat yleensä korkeat ja koot/mitat ovat vakaita. Nämä muottimenetelmät vaativat hyvää ennakkosuunnittelua ja käyttöosaamista. Niiden hyvä puoli on se, että niiden käsittelyyn ei tarvita paljon työvoimaa, ne kestävät hyvin valupainetta ja vibraamista, ja betonipinta näyttää paljon paremmalta kuin puumuottien jäljiltä.

2.1 Oikean muottimateriaalin ja -menetelmän valinta

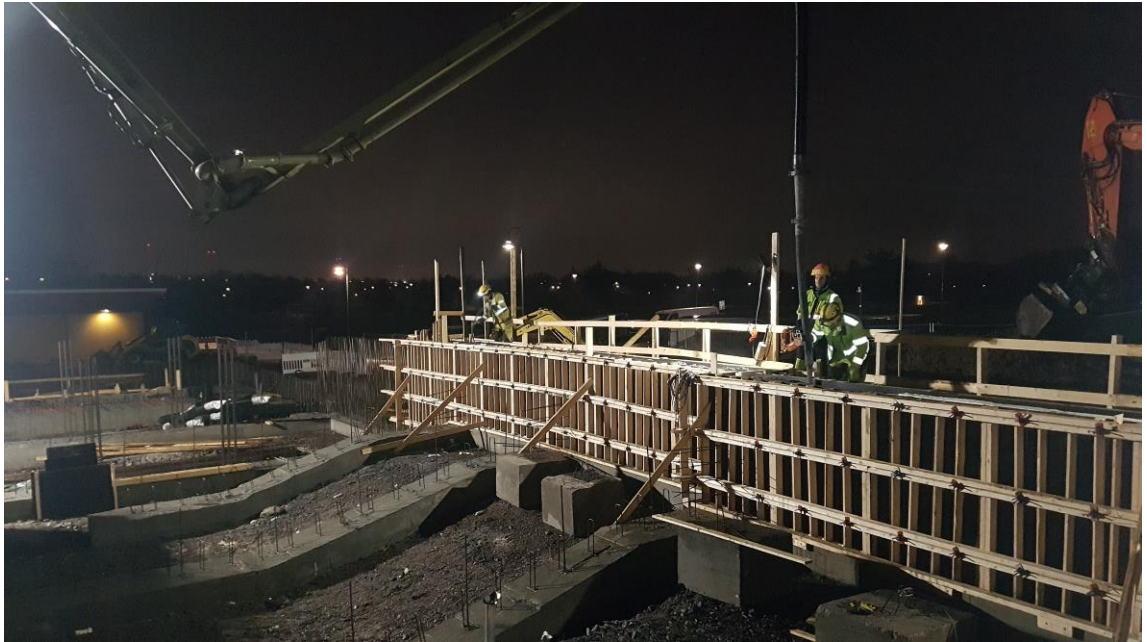
Suunnittelun aikana hyvin tehty muottimateriaalin valinta on tärkeä tekijä koko projektille. Materiaalivalinnan vaikutus on laaja: se vaikuttaa niin kustannuksiin, kestävyys ja rakenteen laatuun kuin työturvallisuuteenkin. Ideaalitulanteessa löydetään materiaali, joka on halpa, kestävä, monikäyttöinen ja samaan aikaan helposti asennettava/purettava sekä turvallinen. Tänä päivänä myös ympäristövaikutukset täytyy ottaa huomioon. Maailma on täynnä erilaisia vaihtoehtoja. Niissä kaikissa on omat heikot ja vahvat puolensa.

Seuraavaksi tutkitaan Suomessa eniten käytetyt muottityypit:

2.1.1 Paikallatehdyt lauta- ja levymuotit (kappaletavara)

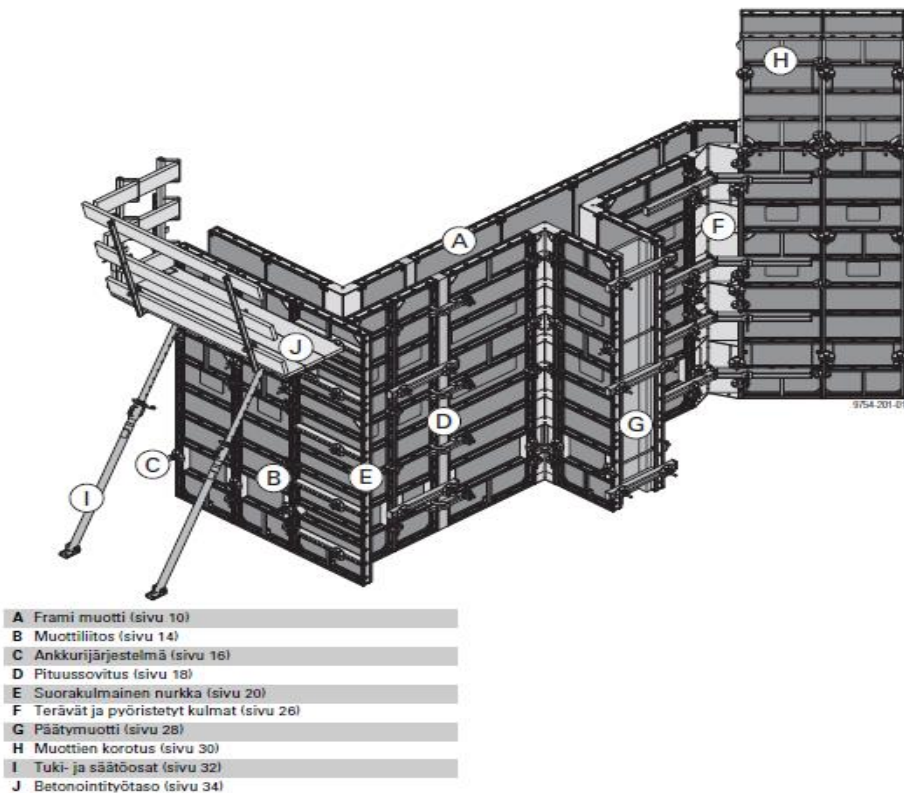
Markkinoilla on laaja valikoima sahatavaraa, josta voi rakentaa muotteja: vanerilevyä, koolinkia ja lautoja. Niiden ominaisuudet vaihtelevat käyttötarkoituksen perusteella. Melkein jokaisella tuottajalla on olemassa taulukko, jossa näkyy jokaisen tuotteen fyysinen kestävyys ja ominaisuus eri tilanteissa. Puun kestävyys tutkitaan laboratorioissa.

Puumuotin käyttö vaatii timpurimieheltä osaamista ja aikaa. Puumateriaalintaan käyttö ei ole vailla ympäristövaikutuksia, koska yhden puumuotin käyttökerrat ovat rajallisia (noin 3-4 kertaa kosteissa olosuhteissa ja 1-2 kertaa märissä olosuhteissa). Tästä syystä paljon metsää menee loppujen lopuksi kaatopaikalle. Puusta voidaan kuitenkin tehdä helposti erilaisia geometrisesti vaikeita projekteja, ja sahatavara on halpaa muihin muottimateriaaleihin verrattuna.



Kuva 1. Seinän paikallavalu, Pitäjän huoltorakennus, Vantaa. Rakentaja: Jerodos Oy.

2.1.2 Järjestelmämuotit



Kuva 2. Doka-järjestelmämuotti Frami 270. [6, s7]

Järjestelmämuotti on yksinkertainen ja nopea yleisratkaisu, jonka avulla pystyy nopeasti rakentamaan muotteja, valamaan ja purkamaan. Järjestelmämuotin vuokrahinta on korkea verrattuna sahatavaraan. Järjestelmämuottien käyttö ei vaadi paljon työvoimaa, joten ne säästävät työmaaresursseja, mutta ne edellyttävät hyvää suunnittelua, koska muotin peruskasetin mitat ovat vakaita. Suurimmat valmistajat ovat DOKA (kuva 2) ja PERI. Esimerkiksi Dokan järjestelmämuotti kestää 40 kN/m^2 :n valupaineen, jos muotin korkeus on yli 2,7 metriä [6, s7]. PERI ilmoitti, että maksimissaan muottien betonipaineen kestävyys on 60 kN/m^2 . [7] Tästä syystä järjestelmämuotit eivät ole sopivia kaikkiin projekteihin. Myös järjestelmämuotit vaativat hyvää puhdistusta ja huoltoa.



Kuva 3. Tukimuurin paikallavalu, Espoo. Rakentaja: Jerodos Oy

2.1.3 Suurmuotit

Suurmuotti [3, s. 2] soveltuu isoihin kohteisiin, joissa on isot ja selkeät paikallavalurakenteet ja selvät käyttökerrat. Suurmuottien avulla pystytään valamaan isoja rakenteita, kuten kantavia seiniä ja holveja. Niiden avulla saadaan nopea muottikierto työmaalla.

Suurmuotti vaatii nosturin käyttöä, mutta yleensä niiden asentamiseen ei tarvita paljon työvoimaa, joten ne säästävät työmaaresursseja. Muottien runkona on teräslevy, joten niiden lujuus riittää ottamaan vastaan isoa valupainetta. Markkinoilta löytyy myös lämpöeristettyjä muotteja, jotka voidaan lämmittää termostaatilla juuri valettuja betonirakenteita kylmissä olosuhteissa.

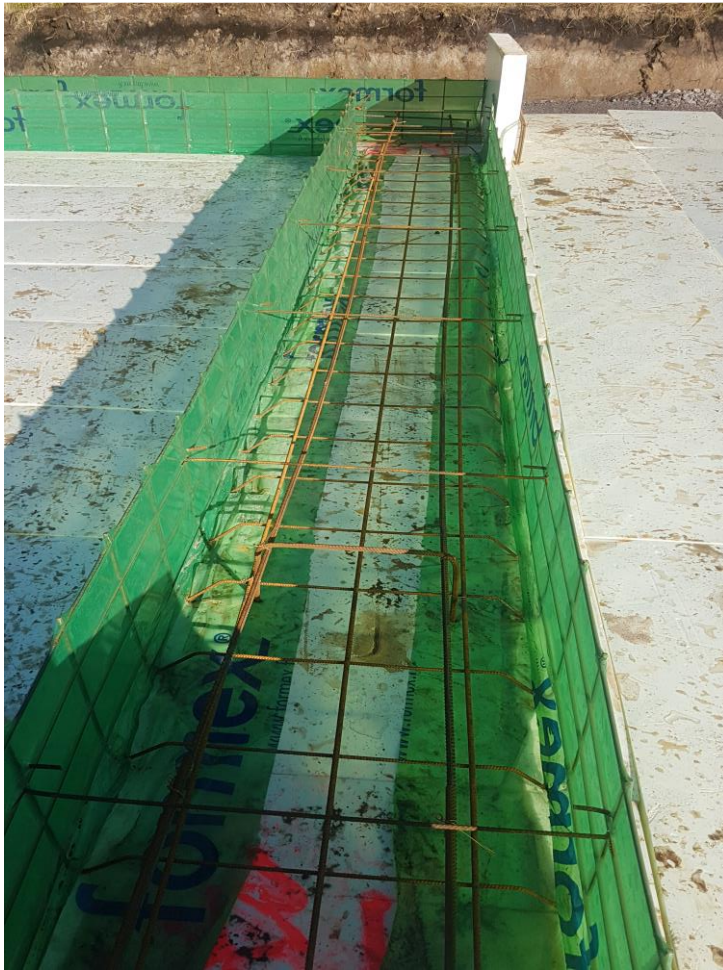
Muotilla on mahdollista saada hyvälaatuista betonipintaa, joka ei vaadi paljon jälkityöstöä.



Kuva 4. Redin työmaalla otettu kuva, missä näkyy suurmuottien käyttö Majakan rakentamisessa. SRV, 14.09.2017.

2.1.4 Muovikelmumuotit

Muovikelmumuotit kuuluvat erityismuotteihin. Ne ovat erittäin nopea ja helppo ratkaisu anturoiden ja maata vasten valettavien rakenteiden tekoon. Muovikelmumuotit (kuva 5) koostuvat teräslankaverkkorungosta, ja muottipintana on molemmin puolin muovikelmu. Yleensä tätä muottityyppiä käytetään silloin, kun betonipinnalla ei ole korkeita laatuvaatimuksia. Valupaineen kestävyys on matala. [8.]



Kuva 5. Jerodoksen anturaprojekti, Tuusula

2.1.5 Kiipeävät muotit

Kiipeävän muotin avulla voidaan rakentaa hyvinkin korkeita rakenteita (kuva 6). Asennus tapahtuu nosturin avulla. Työn tekeminen turvallisesti vaatii osaamista, ja työn kustannukset ovat korkeat. Kiipeävät muotit sopivat isoihin kohteisiin, joissa valetaan isoja rakenteita suurella korkeudella. Suunnittelun aikana täytyy ottaa huomioon erityisesti tuulen vaikutus ja valupaineen suuruus.



Kuva 6 Doka, Kiipeävä muotti MF240. [9, s2]

2.2 Muotin kuormituksen laskenta ja kuorman vaikutus

On pidettävä mielessä, että hyvin monet tekijät vaikuttavat muotin suunnitteluun ja kestävyteen. Ne kaikki huomioon ottaen voidaan minimoida riskejä, säästää rahaa ja saada työlle hyvä lopputulos. Kuormat, rakennefyysiikka sekä muotin toteutusmenetelmä vaikuttavat muotin toimivuuteen, kustannukseen ja työtulokseen.

Lisäksi on otettava huomioon puumuotin taipuman ja sen sallitut arvot. Taipuma johtuu nestemäisestä betonista valun aikana. Taipuman sallittu suurin arvo on $f_{\max} \leq a/300$ [1, s.15].

Valuaikana nestemäisen betonin vaikutus muottiin muuhun kuormaan verrattuna on edullinen. Betonimassan alkuperäinen muoto on nestemäinen, ja se aiheuttaa muotille hydrostaattista painetta, joka johtuu rakenteiden korkeudesta. Paineen yksikkö on kN/m^2 . Mitä korkeampi rakennuskohde on, sitä enemmän se kuormittaa muotia. Hydrostaattista painetta voidaan vähentää käyttämällä nopeasti kovettuvalla, eli rapid-massalla.

Seuraavat kuormat on otettava huomioon muottirakentamisessa:

2.2.1 Muotin oma paino

Muottien ja rakennustelineiden oma paino täytyy ottaa huomioon laskelmissa. Erityisesti ne täytyy ottaa huomioon sahatavaraa käytettäessä, koska ympäröivät olosuhteet vaikuttavat puun ominaisuuksiin.

Puusta tehdyn muotin tiheys: suomalaisen männyn tiheys on $370 - 550 \text{ kg/m}^3$, kuusen tiheys $300 - 470 \text{ kg/m}^3$ ja koivun tiheys $590 - 740 \text{ kg/m}^3$ [4]. Tiheydet on mitattu, kun puun kosteus on 15 % (tai 12%) [4]. Märissä olosuhteissa puu alkaa vaurioitua, tiheys kasvaa ja kestävyys laskee melko nopeasti, jos kosteus pysyy yli 20%:na [5]. Tiheyden kasvaessa kosteissa olosuhteissa puun puristus- ja taivutuskestävyys laskee huomattavasti – ja päinvastoin, kuivissa olosuhteissa puun kestävyys kaksinkertaistuu [5].

2.2.2 Betonivalun vaikutus

Betonin vaikutus muottiin valuaikana on melko suuri. Vaikutus kostuu betonin notkeudesta, valupaineesta (betonikoneen oma paine eli miten se työntää betonia letkujen läpi), kiven raakoosta ja kemiallisesta lisäaineesta. Erittäin notkean massan, eli esimerkiksi itsetiivistyvän eli IT-betonin massan vaikutus on suurin: sen konsistentti on kaikista nestemäisin. Se tiivistyy itse painovoiman avulla.

Valuaikana paineen suuruus ja valunopeus vaikuttavat eniten muottikestävyYTEEN, ja ne taas määrää tekniikka, jonka avulla valu tapahtuu. Betonin yleinen tilavuusmassa on 2500 kg/m^3 .

2.2.3 Raudoituksen vaikutus

Raudoituksen vaikutus muotiin voi olla suuri. Yleensä raudoituksen painon voi laskea suunnitelman perustella. Joskus, kun on tarvetta laskea urakkatarjous eikä tarkkoja suunnitelmia ole, käytetään yleisarvoa. Tähän aiheeseen liittyen olen haastatellut Jerodos Oy:n toimitusjohtajaa Mika Häyristä. Hänen mukaansa tarkkojen suunnitelmien puuttuessa voidaan käyttää raudoituksen painon yleisarvona tukimuurille tai seinälle 85 - 100 kg/m³, anturalle 40 - 45 kg/m³, pilarille 100 - 150 kg/m³, palkille 100 – 150 kg/m³, holville 130 – 150 kg/m³ ja väestönsuojalle 100 – 200 kg/m³.

2.2.4 Sääolosuhteen vaikutus

Kylmissä ja lämpimissä [2] olosuhteissa puumuottilevyn kestävydet ovat erilaiset. Jos levyt ovat kuivia, ne kestävät enemmän painetta kuin märkänä. Tuulen, sään (kuiva tai kostea sää) ja ihmisen (työn ja valun aikana) vaikutukset muottiin voivat myös olla suuria. Tällöin kannattaa ennakoida kaikkien näiden tekijöiden vaikutusta ja ottaa ne huomioon muotin suunnittelussa.

3 Muotin valumenetelmät

Markkinoilla on laaja valikoima valutekniikkaa. Eri projekteihin tarvitaan erilaisia valumenetelmiä. Esimerkiksi kohteen sijainti, betonimassan laatu, budjetti ja vuodenaika vaikuttavat valutekniikan valintaan. Tekniikka taas määrittää valittavan betonilaadun. Esimerkiksi betonipumppua käytettäessä raekoko on rajoitettu. Valun suunnittelussa tulee ottaa huomioon, millainen kalusto on kaikista tehokkain juuri tähän projektiin.

Seuraavaksi tutustutaan yleisimpiin betonivalumenetelmiin:

3.1 Kuljetuspumppuauto eli pumi

Kuljetuspumppuauto eli pumi on hyvä vaihtoehto kaupunkityömaalla, kun valukohteen sijainti on vaikeasti saavutettavissa tai kaukana pumppauspaikasta. Kuljetuspumppuautolla on mukana sekoitussäiliö, johon mahtuu 1 – 6 m³. Betonia pumpataan maksimissaan 71 baarin paineella. Maksimisyöttö on 60 m³/h. [10.]



Kuva 7 Kuljetuspumppu.

3.2 Autobetonipumppu puomikoneen kanssa

Jakelupuomilla varustettu autobetonipumppu antaa mahdollisuuden siirtää betonimassan suoraan valumuotiin. Betonipumpulla saadaan enemmän tehoa betonin siirtämiseen. Pumppauspaineen suuruus on maksimissaan 85 baaria. [10.]



Kuva 8 Autobetonipumppu puomikoneen kanssa

3.3 Betonijassikka / Nostoastia

Betonijassikka eli nostoastia on hyvä vaihtoehto, kun valukohde sijaitsee korkealla ja työkohteen saavutettavuus on huono. Jassikan käyttö vaatii sekä nosturia että osaamista. Työturvallisuuden kannalta tällainen betonivalutyö on haasteellinen, koska kohde on korkealla. Betonijassikan tilavuus on noin $1 \text{ m}^3 - 2 \text{ m}^3$. Tästä syystä valun kesto on ajallisesti pitkä, mikä täytyy ottaa huomioon suunnittelussa.



Kuva 9 Betonijässikkä, [11]

3.4 Perässä hinattavat betonipumput

Hinattava betonipumppu ratkaisee massan siirto-ongelmat työmaalla, jos paikan sijainti on ongelmallinen (korkealla, kuten pilvenpiirtäjät ja niiden paikallavalut). Pumpun letkun linjasto voidaan kiinnittää esimerkiksi nosturin runkoon tai linjastoa varten voidaan rakentaa oma runko. Betoniin kohdistuvan paineen suuruus on melko korkea. Esimerkiksi HCP 1410/817 IF8 -pumppun maksimipaine on 172 baaria. [13.]



Kuva 10 HCP 1410/817 IF8 betonipumppu. [13]

3.5 Siirtokuljetinauto (higna)

Higna-auton avulla voidaan valaa lähellä sijaitsevia kohteita, kuten esimerkiksi anturoita, lattioita ja seiniä. Valukohde voi olla vaikkapa toisessa kerroksessa. Ongelmana on se, että auton käyttömahdollisuus riippuu massan notkeudesta. Työturvallisuuden ja käyttömukavuuden kannalta tämä valutekniikka on turvallinen ja helppo. Myös kustannuksiltaan se on edullinen, verrattuna esimerkiksi betonipumppuun.



Kuva 11 Higna-auto.

3.6 Ränniauto, valukouru

Valukouru on kustannuksiltaan edullinen valumenetelmä. Se sopii paikkoihin, jotka sijaitsevat lähellä. Se on helppo ja nopea valumenetelmä, joka ei vaadi paljon työvoimaa. Valukouru on myös turvallinen työmenetelmä. Myös tämä menetelmä antaa betonilaadulle paremman laatu.

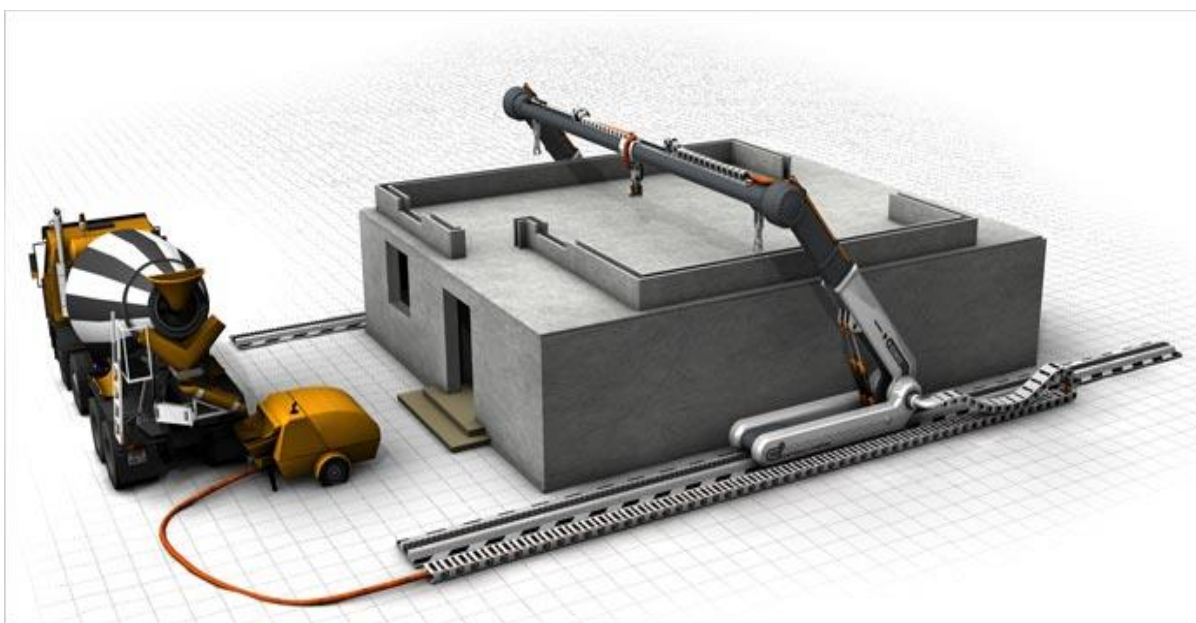


Kuva 12 Ränniauto, [12]

3.7 3D-betonitulostin

3D-tulostus on uusi valumenetelmä, jossa robotilla varustettu kone tekee paikallava-lua. Robotti pystyy ”tulostamaan” esimerkiksi paikallavaluseinän samaan tapaan kuin tavallinen 3D-tulostin. Tämä menetelmä on todella nopea ja kustannustehokas, jos tulostetaan isoja kohteita. Valutyöhön ei tarvita useita työntekijöitä, vaan ainoastaan yksi ohjaaja tarkkailee koneen toimintaa ja ohjaa sitä työn aikana. 3D-mallit syötetään järjestelmään ja sen jälkeen kone se tulostaa osia samoin kuin mikä tahansa 3D-tulostin. Esimerkiksi Suomessa valmistettu RoboCatt pystyy myös raudoittamaan koh-teen ja sen jälkeen valamaan sen. [15.]

3D-tulostus on kuitenkin aivan uusi menetelmä, eikä sen ole käytöstä ole vielä paljon kokemuksia. Täten on vielä vaikeaa arvioida kaikkia sen hyviä ja huonoja puolia. Omasta mielestäni huonoja puolia voivat olla esimerkiksi massan laadun heikkenemi-nen, kantavien rakenteiden valamisen mahdottomuus ja koneen vuokrauksen tai han-kinnan korkeat kustannukset. Sitä mukaa, kun enemmän koneita ja valmistajia tulee markkinoille, laitteet kehittyvät ja niiden käyttökustannukset laskevat.



Kuva 13 3D-betonitulostin tulostaa taloa, Moskova, 3D-malliesitys. [16]

4 Teoreettinen laskumenetelmä muotille

4.1 Valupaineen laskeminen

Jos nestemäinen betoni valetaan yhdellä kertaa, sen vaikutuksen muottiin voi laskea peruskaavalla.

Peruskaava, jonka avulla lasketaan nesteiden paineen vaikutus pohjaan ja seinään:

$$P = \rho * g * h = Pa \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Missä,

$$\rho = \text{betonin tiheys, joka on } 2500 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$g = \text{vapakappalen pudotusnopeus, joka on } 9,81 \left[\frac{M}{s^2} \right]$$

$$h = \text{korkeus [m]}$$

$$P = 2500 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 4,7m = 115268 \frac{N}{m^2} = 116 \frac{KN}{m^2}$$

Tämä on valupaineen perusmitta-arvo. Jos aletaan rakentaa muottia tämän kaavan perustella, syntyy materiaali- ja työaikahukkaa, koska tarvitaan enemmän materiaalia, työaikaa ja työvoimaa.

On otettava huomioon myös se, että yleensä betonivalu ei tapahdu kerralla. Peruskaavassa ei oteta huomioon betonimassan alkulämpötilaa, massan notkeusluokkaa (itsestivistyvän notkean S4-betonimassan valupaineen vaikutus muottiin on paljon korkeampi kuin jäykän S2- tai S1- massan), kemiallista hidastusta (jos on) tai valupaineen perusarvoa. Sen takia on parempi käyttää Ratu 06-3029 [1], missä on otettu huomioon nämä kaikki tekijät.

Muotin seinään vaikuttavan paineen suuruus lasketaan seuraavan kaavan mukaan:

$$P = K_t * K_H * K_Y * P_0 [1, s2]$$

Missä,

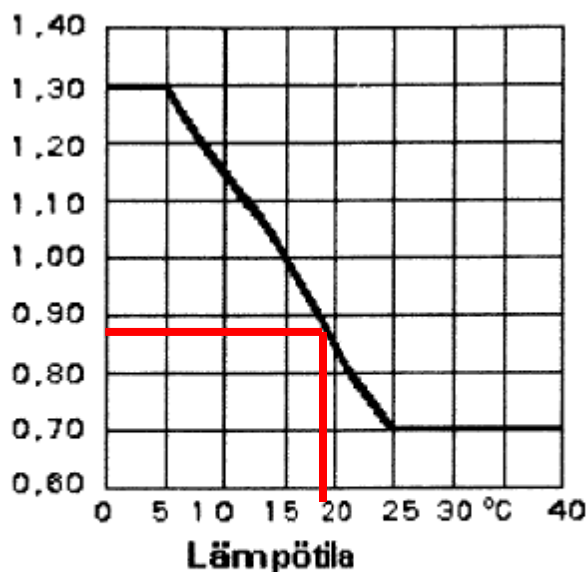
K_t = betonimassan lämpötilan vaikutuksen korjauskerroin (Kuva 14)

K_H = betonimassan sitoutumisen hidastumisen korjauskerroin (Kuva 15)

K_Y = betonimassan tilavuuspainon vaikutuksen korjauskerroin (Kuva 16)

P_0 = valupaineen perusarvo (Kuva 17)

Esimerkkitapauksessani valettiin tukimuuriseinä, jonka korkeus oli 4,7 m. Valuaikainen betonimassan nousunopeus oli 1,5 m/h. Betonin tilavuuspainoksi on otettu 25 kN/m³. Betonimassan lämpötila toimittaessa oli 18 C°. Massan notkeusluokka oli sVB3 (notkea).



Kuva 14. Betonimassan lämpötilan vaikutuksen korjauskerroin K_t . [1, s3]

Tästä taulukoista saadaan korjauskerroin $K_t = 0,88$, kun lämpötila betonimassan savuttaessa oli 18 C°. Todellisuudessa betonimassan lämpötila oli enemmän kuin 18 C°, noin 20 C°. Korjauskerroin vaikuttaa suoraan valupaineeseen, ja tästä syystä olin ottanut lämpötilaksi pienemmän arvon, jotta voitaisiin olla varmoja muottien kestävydestä.

Betonimassan notkeus	Hidastusaika		
	5h	15h	24h
Jäykkä	1,15	1,45	1,70
Plastinen	1,25	1,80	2,30
Notkea, vetelä	1,40	2,15	2,70

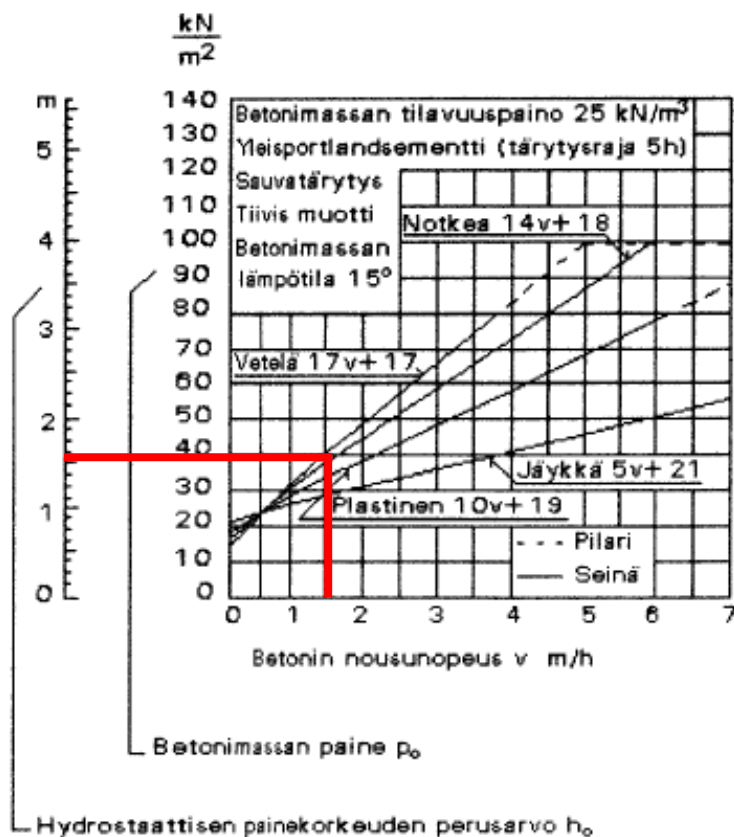
Kuva 15. Betonimassan sitoutumisen hidastumisen korjauskerroin K_H . [1, s3]

K_H kertoimen avulla voidaan ottaa huomioon massan nestemäisyys eli notkeus ja sen vaikutus lopulliseen valupaineeseen. Meidän tilanteessamme betonimassassa ei ollut lisäaineena hidastinta, ja tästä syystä hidastusaika on alle 5 tuntia. K_H korjauskerroin on siten 1,40.

Tilavuuspaino (kN/m^3)	10	15	20	25	30	35	40
k_T	0,40	0,59	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60

Kuva 16. Betonimassan tilavuuspainon vaikutuksen korjauskerroin K_T . [1, s3]

Betonimassamme tiheys on 25 kN/m^3 . K_T korjauskerroin on sitten 1,00.



Kuva 17. Betonimassan aiheuttama valupaineenperusarvo P_0 ja vastaava hydrostaattinen painekorkeus h_0 valun nousunopeuden ja notkeuden funktiona DIN 18218 mukaan. [1, s3]

Suunnittelun aikana tulee arvioida, millainen valunopeus tulee olemaan. Meidän tilanteessamme otetaan valunopeudeksi 1,5 m/h. Funktion avulla saadaan $P_0 = 40 \text{ kN/m}^2$ ja $H_0=1,6\text{m}$. [1, s3]

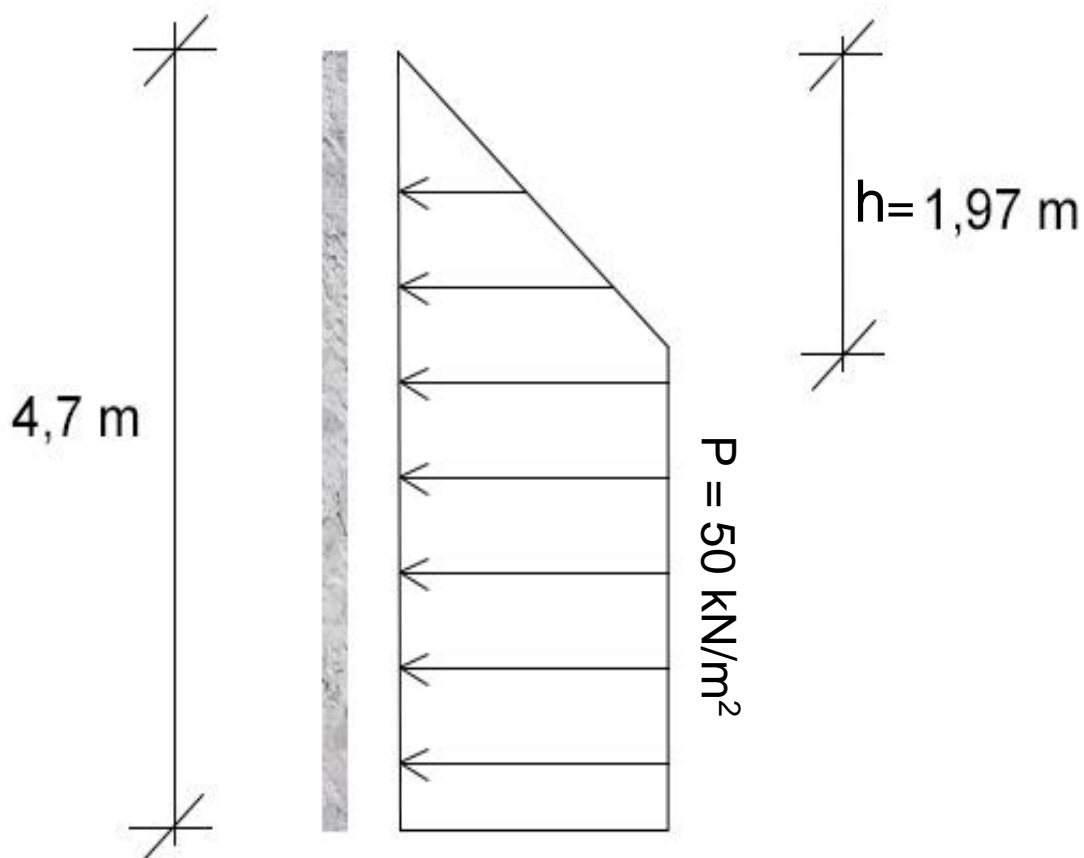
Sijoitetaan arvoja kaavaan:

$$P = 0,88 * 1,40 * 1,00 * 40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 49,728 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \sim 50 \text{ kN/m}^2 \text{ (Kuva 18)}$$

Sitten lasketaan hydrostaattinen painekorkeus:

$$H = K_t * K_H * h_0 \text{ [1, s2]}$$

$$H = 0,88 * 1,40 * 1,6\text{m} = 1,97\text{m} \text{ (Kuva 18)}$$



Kuva 18. Valupaineen laskeminen, hydrostaattinen painekorkeus on $h=1,97 \text{ m}$, valupaine on $P=50 \text{ kN/m}^2$, seinän korkeus on $4,7 \text{ m}$.

4.2 Levypintainen levyvuotti

Muottivanerin ja koolauksen mitoituksessa käytetään diagrammia (kuva 20) [1, s22].

Merkinnän selitys (kuva 19):

a = koolauksen jako

A = muottilukon pinta-ala

b_0 = muottilukon tukipinnan leveys

L_1 = sidejuoksun jako

L_2 = muottisidejako

p = valupaine

P = muottisiteen vetorasitus

t = muottivanerin paksuus

On otettava huomioon käyttörajoitukset, jotka löytyvät KONE-ratusta: [1] levykaiteen vähimmäispituus on $L=3a$. [1, s8], koolaussoirojen vähimmäispituus on $L=3L_1$. [1, s. 8], sidejuoksun vähimmäispituus on $L=3L_2$. [1, s. 8], muottisiteen etäisyys kulmasta saa olla enintään $0,8 L_2$. [1, s. 8].

Lisäksi pitää huomioida, että sidejuoksun 50mmx100mm vetorasituksen maksimiarvo on $15,4 \text{ kN/m}^2$ [1, s. 8].

3 Levypintainen seinämuotti

Merkinnät

a = koolauksen k/k

A = muottilukon tukipinta-ala

b_0 = muottilukon tukipinnan leveys

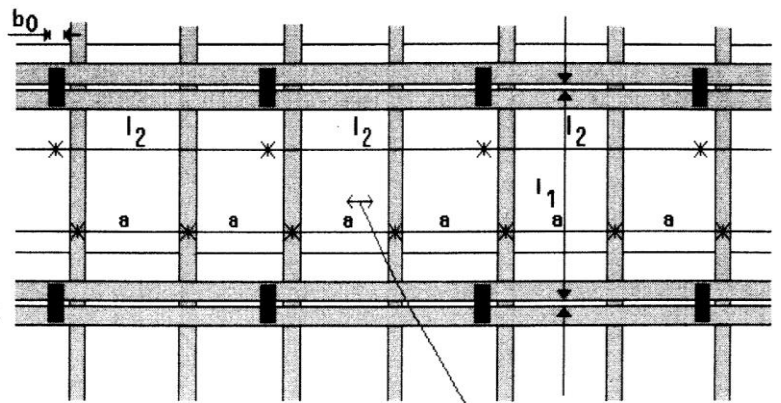
l_1 = sidejuoksun k/k

l_2 = muottisidejako k/k

p = valupaine

P = muottisiteen vetorasitus

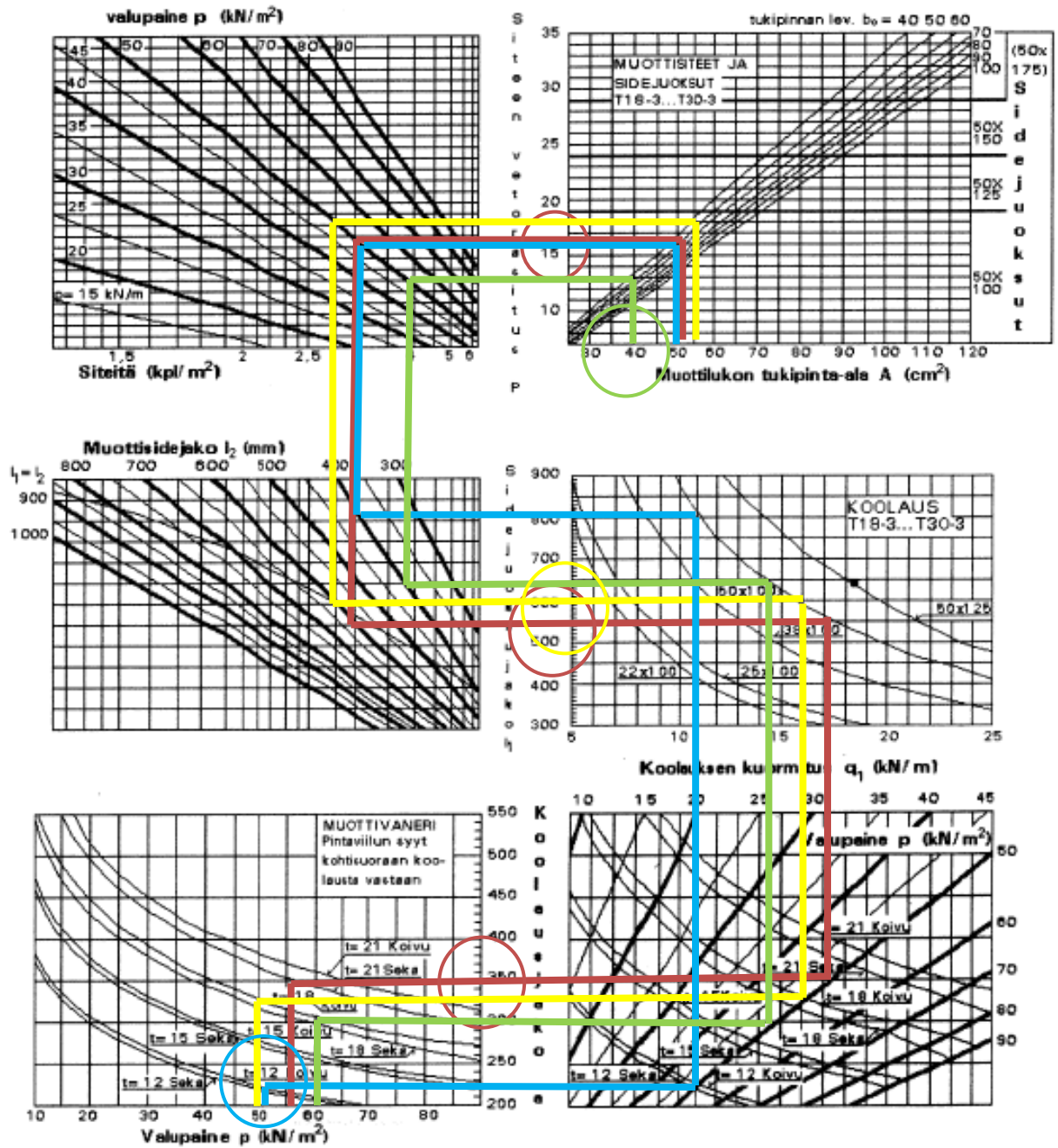
t = muottivanerin paksuus



Kuva 16. Levypintainen seinämuotti

muottivanerin pintaviilujen
syyt kohtisuoraan koolausta
vastaan

Kuva 19 Merkinnän selitys, RATU. [1, s8]



Merkinnät
 α = koolauksen k/k
 A = muottilukon tukipinta-ala
 b_0 = muottilukon tukipinnan leveys
 l_1 = sidejuoksun k/k
 l_2 = muottisidejako k/k
 p = valupaine
 P = muottisiteen vetorasitus
 t = muottivanerin paksuus

Kuva 20 Levypintainen seinämuotti, muottivanerin ja koolauksen mitoitus. [1, s22]

Punainen linja (kuva 20) kertoo, mitkä arvot otettiin käyttöön käyttöön todellisessa tilanteessa työmaalla. Tässä taulukossa punainen linja on oletuslinja. Sen avulla vertaillaan muita esimerkkejä. Esimerkkien avulla voidaan katsoa erilaiset tilanteet, joissa erilaiset parametrit tai lähtöarvot vaikuttavat muottien tekoon.

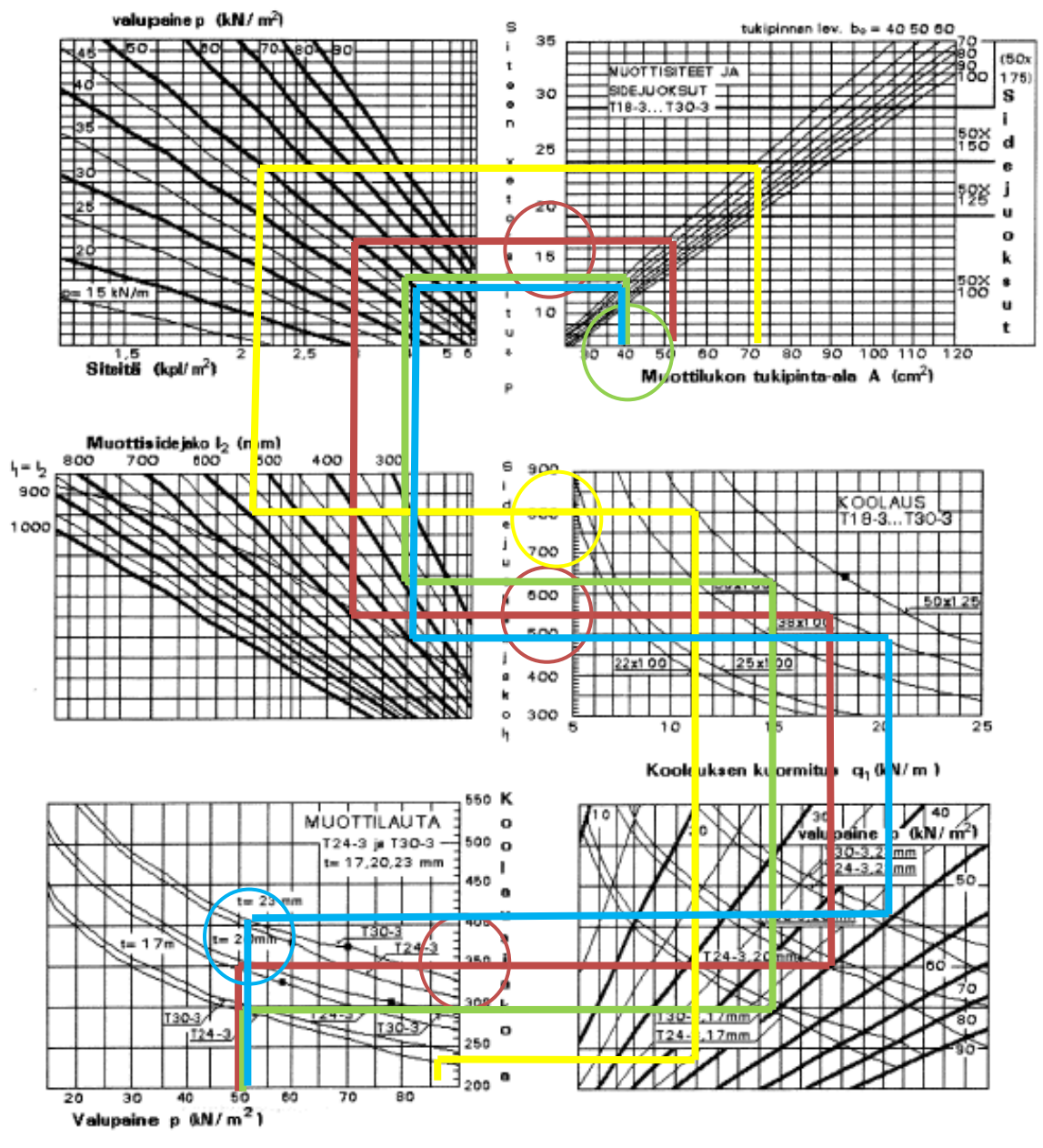
Lähtöarvona [1, s8] on muottilukon tukipinta-ala $A=11.5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 60 \text{ cm}^2$, muottilukon koolaus on $L_2=60 \text{ cm}$, sidejuoksun koolaus on $L_1=60 \text{ cm}$, valupaineen suuruus on $p = 50 \text{ kN/m}^2$. Materiaalisäästön ja työn helpotuksen takia koolaukseksi on valittu $a=35 \text{ cm}$, vanerin paksuus on $t=21 \text{ mm}$ (sekavaneri), muottilukon jako on $L_2=60 \text{ cm}$ ja sidejuoksun jako on $L_1=55 \text{ cm}$. Siteen vetorasitus P on siten noin 16 kN/m^2 , joka toteuttaa annettua arvoa ja tarkoittaa, ettei ole tarvetta tehdä sidejuoksujen jäykistystä. [1, s8] Varmuuden vuoksi kuitenkin tehdään, koska koolauksen vaikuttava tasokuormitus diagrammin mukaan on $q_1=17 \text{ kN/m}$.

Keltainen linja (kuva 20) kertoo sitä, että jos otetaan sidejuoksun vakiojako $L_1=60 \text{ cm}$ lähtöarvona, valupaineen vakioarvo on 50 kN/m^2 , $b_0 = 50 \text{ mm}$, siten koolauksen jako vähentyy arvoksi $a=32 \text{ cm}$, muottilukon tukipinta-ala kasvaa arvoksi 55 cm^2 , siteen vetorasitus P kasvaa arvoksi 18 kN/m^2 , vanerin paksuus t vähentyy arvoon 15 mm sekavaneri.

Jos halutaan säästää vanerimateriaalia tai esimerkiksi työmaalta löytyy vain 12 mm sekavaneria, kertoo *sininen* linja (kuva 20), miten muut arvot muuttuvat. Lähtöarvona valupaine p on 50 kN/m^2 , muottilukon sivumitta $b_0 = 50 \text{ mm}$, sekavanerin paksuus t on 12 mm . Tästä syystä selvästi kasvanut sidejuoksun jako $L_1=80 \text{ cm}$, muottilukon jako on vähentänyt arvoksi $L_2 = 40 \text{ cm}$. Muottilukon pinta-ala A ja siteen vetorasitus P pysyy samana, kun edellisessä esimerkissä.

Vihreä linja (kuva 20) näyttää vain muottilukon A pinta-alan vakioarvon. Valupaineen arvo on oletusarvo 50 kN/m^2 ja muottilukon sivumitta $b_0 = 50 \text{ mm}$. Tässä tilanteessa muottilukon alan arvoksi on otettu 40 cm^2 . Sidejuoksun jako muutu arvoksi $L_1=65 \text{ cm}$, koolauksen jako vähentyy arvoksi $a=30 \text{ cm}$, siteen vetorasitus P vähentyy arvoksi 13 kN/m^2 , muottilukon jako on vähentynyt arvoksi $L_2 = 40 \text{ cm}$, vanerin paksuus t vähentyy arvoon 18 mm sekavaneri.

4.3 Lautapintainen muotti



Merkinnät
 a = koolauksen k/k
 A = muottilukon tukipinta-ala
 b_0 = muottilukon tukipinnan leveys
 l_1 = sidejuoksun k/k
 l_2 = muottisidejako k/k
 p = valupaine
 P = muottisiteen vetorasitus
 t = muottilaudan paksuus

Kuva 21 Lautapintainen seinämuotti, lautapintainen seinämuotin mitoitus, [1, s23]

Lautapintainen muotti suunnitellaan samoilla menetelmillä kuin levymuotti. Käytetään diagrammia (kuva 21), joka annettu Ratu-kortistossa. [1, s 23]

Tässäkin esimerkkinä käydään läpi erilaiset tilanteet, jotka johtuvat erilaisesta parametrista. Punainen linja on se linja, jonka mukaan työmaalla toteutetaan seinämuotti. Muut linjat ovat vain esimerkkilinjaja

Punaisen linjan (kuva 21) avulla nähdään, että materiaaliksi sopii lauta T24-3, $t=20\text{mm}$, koolaus $a=350\text{mm}$, sidejuoksun jako on $L_1=550\text{ mm}$, muottilukon jako on $L_2=600\text{mm}$. Lähtöarvona valupaine p on 50 kN/m^2 , muottilukon sivumitta $b_0 = 50\text{ mm}$.

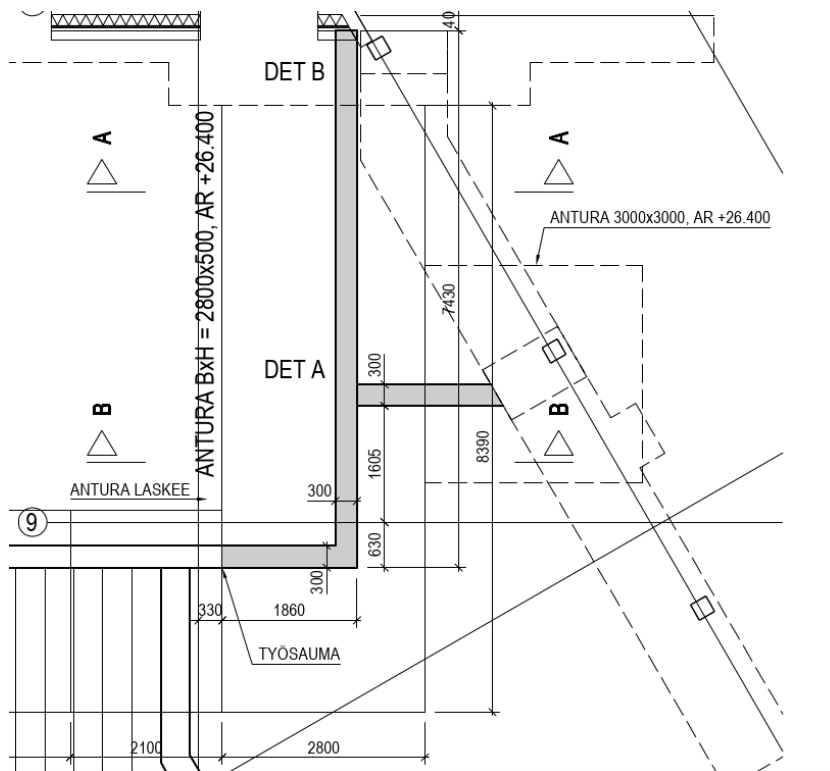
Otetaan huomioon, että laudan puolella vetorasitus P on siten noin 16 kN/m^2 , joka toteuttaa annettua arvoa ja tarkoittaa, ettei ole tarvetta tehdä sidejuoksujen jäykistystä. [1, s8]

Vihreä linja (kuva 21) kertoo, että lähtöarvoksi annettu muottilukon pinta-ala A 40 cm^2 , valupaineen vakioarvo on 50 kN/m^2 , muottilukon sivumitta $b_0 = 50\text{ mm}$. Sidejuoksun jako muuttuu arvoksi $L_1=62\text{ cm}$, koolauksen jako vähentyy arvoksi $a=30\text{ cm}$, siteen vetorasitus P vähentyy arvoksi 13 kN/m^2 , muottilukon jako on vähentynyt arvoksi $L_2 = 40\text{ cm}$, laudan laadun tulee olla sitten T24-3 ja paksuus vähentyy arvoon 17 mm .

Keltainen linja (kuva 21) kertoo, että lähtöarvoksi otettu sidejuoksun arvo $L_1=80\text{ cm}$, valupaineen arvo on oletusarvo 50 kN/m^2 , muottilukon sivumitta $b_0 = 50\text{ mm}$. Koolauksen jako vähentyy arvoksi $a=22\text{ cm}$, siteen vetorasitus P kasvaa arvoksi 25 kN/m^2 , muottilukon jako otettu arvoksi $L_2 = 60\text{ cm}$, muottilukon pinta-ala A kasvaa arvoksi $A = 72\text{ cm}^2$, laudan laatu tulee olla siten T24-3 ja paksuus vähentyy arvoon 17 mm .

Sininen linja (kuva 21) kertoo, että lähtöarvoksi otettu laudan laatu T24-3 ja paksuus $t = 23\text{ mm}$. Valupaineen arvo on oletuslähtöarvo 50 kN/m^2 , muottilukon sivumitta $b_0 = 50\text{ mm}$. Sidejuoksun arvo $L_1=50\text{ cm}$, muottilukon jako otettu arvoksi $L_2 = 50\text{ cm}$, muottilukon pinta-ala A vähentyy arvoksi $A = 39\text{ cm}^2$, koolauksen jako kasvaa $a=40\text{ cm}$, siteen vetorasitus P vähentyy arvoksi 12 kN/m^2 .

5 Toteutus työmaalla



Kuva 22 Tukimuurin piirustus, ylhäältä katsotaan.

Seinän toteutukseen oli varattu kolme työntekijää. Seinän korkeus oli 4,7 m, mistä syystä piti rakentaa telineet. Työturvallisuusnäkökulmasta projekti oli haasteellinen. Rakentamisen laatuun vaikuttavia tekijöitä olivat vuodenajasta (tammikuu) johtuen kosteus ja lumi.

Edellisenä päivänä oli satanut lunta, joka oli päässyt tukimuurin sisään harjaterästen päälle. Tästä syystä harjateräkset olivat jäässä. Ennen tukimuurin valua oli pakko tehdä höyrytys, koska betonimassa ei tartu kylmään harjateräkseen. Jos näin käy, harjateräkset voivat vapaasti liikkua rakenteessa. Lämpötilaerosta johtuen harjateräksiä ympäröivä betonimassa ei myöskään kuivu ja pysyy märkänä, kun muissa paikoissa massa taas kuivuu. Tällöin teräksen jännitykset eivät enää toimi suunnitellusti, ja koko rakenteen kantavuus voi huomattavasti laskea. Sen takia harjateräksen tulee ennen valua olla puhdas jäästä ja lumesta.



Kuva 23 Tukimuurin höyrytys, ilmaan nousee höyryä.

On myös hyvä tarkistaa, ettei muotin sisään ole päässyt mitään ylimäärästä, kuten esimerkiksi sahatun puutavan puruja tms. Jos sahatavaraa jää betoniin, se vaikuttaa eniten ulkonäköön, koska valun aikana puunpalat voivat liikkua valupaineen voimasta muotin ulkopintaan kiinni.

Mika Häyrisen mukaan isot puupalat ja puupuru, jotka jäävät betoniin, voivat aiheuttaa myös homehtumista. Puun homehtuminen aiheuttaa mikrobien syntymistä. Tämä on vaarallista ihmisille [18] ja lain mukaan kielletty Suomessa. Tällainen tilanne vaatii korjauksia ja aiheuttaa lisäkustannuksia tahoille, jotka olivat syyllisiä puuaineksen jäämiin betonissa. Puupurun takia voi jopa syntyä ylimääräinen sauma / liikuntasäily eikä rakenne ei enää toimi massiivirakenteena. Säilymyksen myötä vettä pääsee harjateräkselle, mikä aiheuttaa ruostumista.

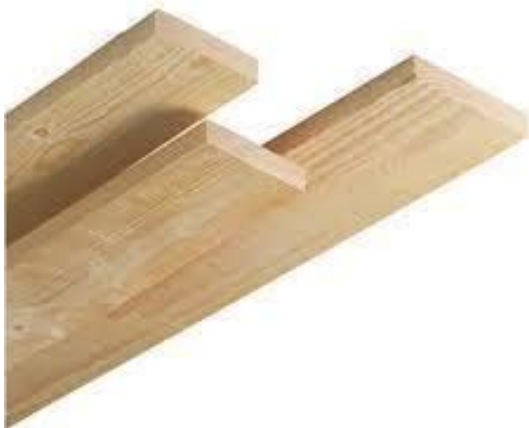
5.1 Materiaalin valinta

Muottiin käytetty materiaali: Ratun [1] mukaan materiaaliksi oli valittu sekavaneri 21 mm (kuva 24), koolingit 47mm x100mm (kuva 24) ja lauta c24 22mm x 100mm (Kuva 25).

Alumiinitangolla (kuva 26) saadaan muottilukot (kuva 26) kiinni.

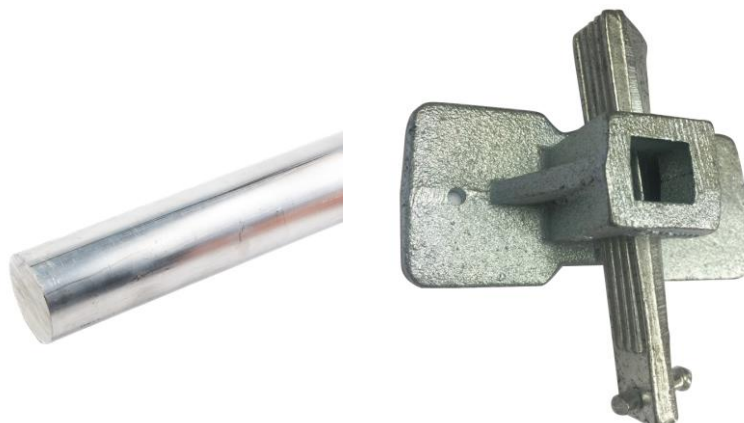


Kuva 24 Vasemmalla kuvissa on sekavaneri (21 mm) [19] ja oikeassa kuvassa koolinki (47mmX100mm). [20]



Kuva 25 Lauta [21] C24 22mm x 100mm.

Betonilaatu ja tyyppi: C30/37, muurissa pakkasenkestävä. Notkeus S3. Rasitusluokat: xc3,4, xd1, xf1, betonipeitteen nimellisarvo 45 mm, suunnittelukäyttöikä 100 vuotta.



Kuva 26 Vasemmalla kuvissa on 10 mm alumiinitanko [22] ja oikealla kuvissa on muotilukko [23].

5.2 Muotin rakentaminen

Levymuotin pystytys oli nopea työ. Ensin rakensimme muottirungon koolingista. Rungon suunnitteluun oli otettu Ratu [1] mukaan mitattuja arvoja, jotka ovat pystysidejuoksun k/k, vaakakoolaus k/k ja muottisidejako k/k. Sen jälkeen laitettiin vaneria muotirunkoon.

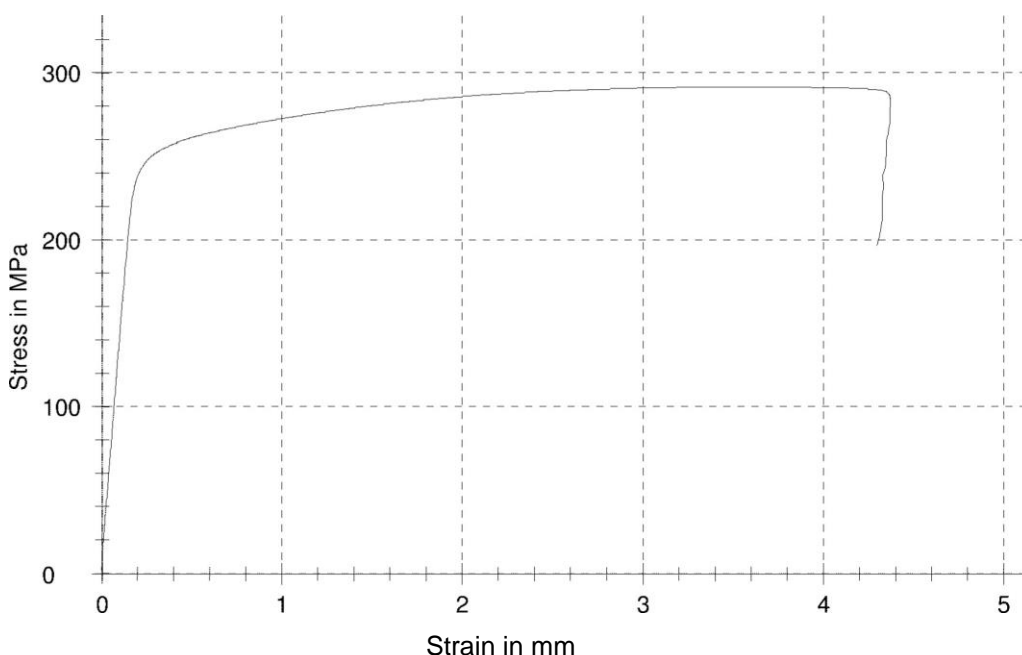
Kun työmuotti oli tehty, jatkettiin työmuotin raudoituksella. Raudoituksen periaate oli perusverkko ja haat jokaisessa nurkassa ja yläpinnassa. Raudoituksena käytettiin Ø12 mm verkko (#150 mm), haat olivat myös Ø12 mm harjateräksestä tehtyjä osia. Raudoitustyön aikana täytyy aina muistaa suojaetäisyydet. Työmaalla suojaetäisyys on yleensä vähintään 30 mm muottipinnasta.



Kuva 27 Muotin rungon pystytys vaihe.

Kun raudoitus oli tehty, järjestettiin raudoitustarkastus, johon osallistuivat YIT:n edustajat ja suunnittelija. Seinän raudoitus oli perustyö, jossa ei ollut mitään erikoista. Tästä syystä tarkastus meni läpi ensimmäisellä kerralla.

Tämän jälkeen alettiin vetämään alumiinitankoja muottilukkoja varten. Reiät porattiin jaolla 60 cm. Alumiinitankoa käytettäessä saadaan parempi kiinnitys muottilukoille, koska se on pehmeä materiaali, jossa kitkavoima toimii paremmin verrattuna tavalliseen harjateräkseen. Valuaikainen vetojännitys syntyy valupaineesta ja sen arvo 50 kN/m^2 (Ks. kappale 4.1) tai $0,05 \text{ MPa}$. Toimittajalta oli pyydetty alumiinitangon kestävyystaulukkoa [liite 1], jotta oltiin varma niiden kestävydestä. Taulukossa (kuva 28) selvästi näkyy, että 10 mm alumiinitanko kestää maksimissaan noin 250 MPa vetojännitystä. Taulukon mukaan ylitettäessä 250 MPa jännitys tanko venyy 4 mm ja sen jälkeen murtuu.



Kuva 28 Alumiinitangon kestävyys taulukko, BE Group oy Ab. [liite 1]

Muotteihin käytettiin alumiinitankoja siitä syystä, että tangot jäävät betoniin valun jälkeen. Alumiinitangot eivät normaalissa olosuhteessa ulkona ruostu. Niiden pinnalle syntyy $5\text{-}10 \text{ mm:n}$ oksidikalvo, mikä antaa mahdollisuuden jättää ne betonipinnalle näkyviin (ajan mittaan ne harmaantuvat oksidikalvon takia). Ruosteen etenemiseen voivat toki vaikuttaa aggressiiviset kemialliset olosuhteet. Tämä kyseinen seinä sijaitsee koulun sisäpihalla, joten siihen ei kohdistu huomattavaa kemiallista vaikutusta. Oli myös otettu huomioon, että seinä jää näkyviin. Tankoja voi muottipurkamisen jälkeen katkoa pois, niin ettei mitään ylimääräistä jää näkyviin ulkopintaan.

Alumiinitankojen huono puoli on se, että ne ovat huomattavasti tavallista harjaterästä kalliimpia. Alumiinitankometrin keskihinta markkinoilla on noin $1,8 \text{ €/m}$, kun 10mm har-

jateräksen metrihinta on 0,75 €/m. Hinta on siis kaksinkertainen. Joskus alumiinitangon hinta on ollut jopa 7,5 €/m. Tavallinen harjateräs on siten huokeampi vaihtoehto.



Kuva 29 Vasemmanpuoleisessa kuvassa nähdään, että muotin sisällä on lunta ja jäätä. Oikeanpuoleisessa kuvassa on esitetty muottilukon jako asennettuna alumiinitangoilla.



Kuva 30 Muotin pystytys ja raudoitus.

5.3 Ongelmat ja niiden ratkaisu

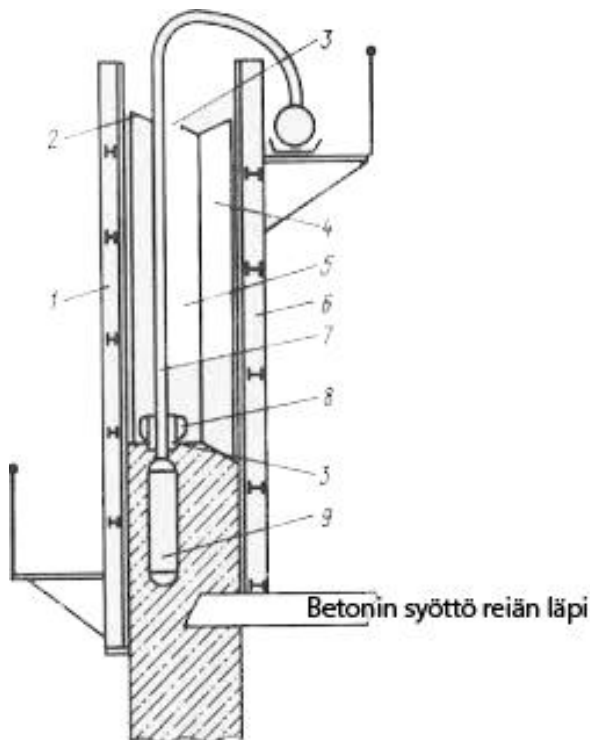
Ongelmana oli saada tehtyä lautamuotti siten, ettei jokaista lautaa tarvitsisi naulata erikseen muottirunkoon. Lautojen kiinnitys muottiin ei myöskään ollut helppoa, kun runko oli jo rakennettu. Jokainen lauta asennettiin paikoilleen ylhäältä alaspäin ja vasta sen jälkeen ne naulattiin. Verrattuna levymuotin valmistukseen, lautamuotin pystytys kesti noin kaksi kertaa kauemmin. Yleensä näkyvän puolen muotti tehdään ensimmäisenä, koska se jää näkyviin. Esimerkkitalanteessa oli päätetty, että tehdään muottirunkoon ensimmäiseksi sisäpuoli, joka jää maan alle. Syy oli se, että vain tällä suunnitelmalla pystyimme raudoittamaan seinän. Muuten muottiin olisi jäänyt pieni reikä, mistä oltaisiin päästy muotin sisälle ja raudoitustyö olisi ollut melkein mahdotonta tässä tilanteessa.

Koska tukimuuri rakennettiin ulkona ja talviolosuhteet vaikuttavat tuorebetonin lämpötilaan, asennettiin lisäksi lämmityskaapeleita raudoitukseen. Lämmityskaapelin asennus tehtiin Ruduksen ”Betoniin lämmittäminen talvivaluissa” -ohjekirjassa sivulla 17 esitetyn ohjeen mukaisesti. Lämpötilan hallinta on tärkein asia betonivalun jälkihoidossa. Nyrk-

kisääntönä ulko- ja sisälämpötilan ero ei saa olla enempää kuin $\Delta 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Jos lämpötilan ero ylittää $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, se aiheuttaa betonipinnan halkeilua. Nykyaikana käytetään laitteita, jotka automaattisesti seuraavat lämpötilan kehittymistä betonissa ja ilmoittavat, jos lämpötila laskee tai nousee liian nopeasti.

5.4 Muotin valaminen

Seinävalu vaatii suunnittelua. Huonosti tehty suunnitelma johtaa virheiden syntymiseen. Jos kyseessä on erittäin korkea seinäprojekti, valu kannattaa jakaa kerroksittain niin, että jokainen kerros valetaan omasta kanavastaan. Seinän kokonaiskorkeus jaetaan sopiviin väleihin, joihin porataan reikiä. Reistä letkun avulla valetaan betonia sisään. Kun betoni nousee sopivasti, tulpataan reiät ja jatketaan seuravasta kerroksesta (kuva 31).



Kuva 31 Betonin syöttö reiän läpi

Joskus käy niin, ettei seinän valu onnistu. Esimerkkinä voidaan esittää Tyksin työmaan valu vuonna 2016. (kuva 32) Siinä valu tapahtui ylhäältä, eikä betoni päässyt seinän korkeuden takia valumaan alas saakka.



Kuva 32 Tyksin t3-sairaalan työmaalla epäonnistunut seinän valu, turun sanomat. [25]

Esimerkkiurakassa seinän korkeus oli 5 metriä, eli korkeus ei vaatinut betonin syöttöreikien tekoja. Valuaikana betonimassan lämpötila oli alussa 23 C° , mutta aaloitus viivästyi, ja tästä syystä massan lämpötila oli laskenut pari astetta, ollen noin 21 C° . Viivästymisen syynä oli se, että muotin alajuoksuun syntyi reikä, josta betoni valui pois. (Kuva 33)



Kuva 33 Kuvan vasen puolella näky, miten betoni valui pois päin muotista. Oikean puolella valetaan betonia autolla, joka on varustettu puomilla.

Reiän syntyminen johtui alatukijuoksusta ja laudan kiinnityksestä. Lauta oli 2 cm irti maasta. Rakentamisvaiheessa sitä oli todella vaikea huomata. Suunnittelussa täytyy aina ottaa huomioon virhemahdollisuus ja yrittää ennakoida kaikki mahdolliset virheet, vaikka se onkin hyvin vaikeaa. Muotin korjaukseen jonkin verran aikaa. Siinä aikana valu oli pysähdyksissä ja massa pääsi vähän jämähtämään, mikä vaikutti seinän ulkonäköön. Muottipurun jälkeen pinnalle jäi näkyviin työsauma, joka syntyi juuri siitä syystä, että valuun tuli tauko. Kaikeksi onneksi sauma sijaitsi paikassa, joka jäi maan alle, eikä se vaatinut korjausta.

Kun reikä oli tukittu, valu jatkui. Valunopeus oli nostossa 1,5 m/h. Nopeuden valinta perustuu siihen, että koko seinän valuun menee 4 tuntia. Jos nostonopeus olisi 1 m/h, valu kestäisi enemmän kuin viisi tuntia. Kustannusten kannalta se olisi kallista, kun jokainen tunti maksaa kolme työntekijän ja työnjohtajan palkan.

6 Lopputulos ja lopputarkastus

Muottipurun saa aloittaa, kun betonin lujuus savuttaa 60 % nimellislujuudesta. Tilaaja oli seurannut lämpötilan kehittymistä ja antoi luvan muottipurulle 3 päivän sen jälkeen, kun valu oli tehty. Muottipurku kesti 2 päivää. Puumuotti oli liimaantunut betoniseinään tiukasti, vaikka oli käytetty muottiöljyä. Kuvassa (kuva 35) näkyy näkyviin jäävä pinta muottipurun jälkeen.

Näkyvä pinta toteutui (kuva 34) suunnitelmien mukaisesti (paitsi työsauma, joka jäi piiloon maan alle). Toisessa kuvassa näkyy pinta, joka jäi maan alle, ja siihen syntynyt taipuma. (kuva 35) Taipuman syntymiseen vaikutti se, että vanerin varastointi oli väärä ja se pääsi kastumaan.



Kuva 34 Seinän näkyvä pinta muottipurun jälkeen. Kuva 35 Vaneri on huomattavasti taipunut.

6.1 Muotin teoreettinen taipuma

Perustaituman mitoituksessa käytetään seuraavaa kaavaa:

$$\text{Taipuma} = \frac{5}{384} * \frac{Pd * L^4}{EI}$$

$Pd=50 \text{ kN/m}^2$ (valupaine, hetkellinen kuorma, ks. 4.1 otsikkoa)

$L=a=35\text{cm}$ (kolauksen jako)

$E=9386 \text{ N/mm}^2$ (ks. Kuva 36 Vanerin lujuudet, vanerikäsikirja. [24, s19])

$$\text{Taipuma} = \frac{5}{384} * \frac{50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 350^4 \text{ mm}}{9386 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \frac{600\text{mm} * 15^3}{12}} = 6,2\text{mm}$$

Taulukko 3-3. Combivaneri							Ominaislujuus						Keskimääräinen kimmomoduuli			
Rakenne	Poikkileikkaussuureet						Taivutus		Puristus		Veto		Taivutus		Veto ja puristus	
	Nimellis-paksuus	Viilujen lukumäärä	t keskim. mm	A mm ² /mm	W mm ³ /mm	I mm ⁴ /mm	$f_{m\parallel}$ N/mm ²	$f_{m\perp}$ N/mm ²	$f_{c\parallel}$ N/mm ²	$f_{c\perp}$ N/mm ²	$f_{t\parallel}$ N/mm ²	$f_{t\perp}$ N/mm ²	$E_{m\parallel}$ N/mm ²	$E_{m\perp}$ N/mm ²	$E_{v/c\parallel}$ N/mm ²	$E_{v/c\perp}$ N/mm ²
	6.5	5	6.4	6.4	6.83	21.8	50.8	29.0	24.5	22.8	19.1	32.8	12690	4763	8859	7656
	9	7	9.2	9.2	14.1	64.9	43.9	32.1	22.5	23.7	17.5	34.2	10983	6105	8141	7989
	12	9	12.0	12.0	24.0	144	40.0	33.2	21.5	24.3	16.7	35.0	10012	6781	7758	8167
	15	11	14.8	14.8	36.5	270	37.5	33.8	20.8	24.6	16.2	35.5	9386	7184	7520	8277
	18	13	17.6	17.6	51.6	454	35.8	34.1	20.4	24.8	15.8	35.8	8950	7452	7358	8352
	21	15	20.4	20.4	69.4	707	34.5	34.3	20.0	25.0	15.6	36.0	8628	7642	7240	8407
	24	17	23.2	23.2	89.7	1041	32.9	34.4	19.8	25.1	15.4	36.2	8381	7783	7151	8448
	27	19	26.0	26.0	113	1465	31.2	34.5	19.6	25.2	15.3	36.3	8185	7893	7081	8481
	30	21	28.8	28.8	138	1991	29.9	34.6	19.5	25.3	15.1	36.5	8026	7981	7024	8507

Kuva 36 Vanerin lujuudet, vanerikäsikirja. [24, s19]

Ratu [1] mukaan tehdään tarkastelu motille. Taipuma arvon ei saa ylittää $f_{\max}=a/300$. [1, s16]

$$f_{\max} = \frac{0,0068 * q * a^4}{EI} \leq a/300$$

Missä:

$$q = 0,025 * h_f + 0,008 * t$$

$h_f=300\text{mm}$ (betoniseinän paksuus)

$t = \text{vanerin paksuus} = 15\text{mm}$

$$q = 0,025 * 300\text{mm} + 0,008 * 15\text{mm} = 0,87 \text{ MN/m [1, s16]}$$

$$a_{max} = \sqrt[3]{\frac{E*t^3}{24,48*q}} = \sqrt[3]{\frac{9386 \frac{N}{\text{mm}^2} * 15^3 \text{mm}}{24,48 * 0,87 \frac{\text{MN}}{m}}} = 114,15$$

$$E = 9386 \text{ N/mm}^2 \text{ (ks. kuva 36)}$$

$t = \text{vanerin paksuus}$

$$f_{max} = \frac{0,0068 * 0,87 \text{ MN/m} * 114,15^4}{9386 \frac{N}{\text{mm}^2} * \frac{600 * 15^3}{12}} = 0,000634 \leq \frac{0,6}{300} = 0,002$$

Tästä saadaan, että Ratun annettu ohjeet ovat noudettu.

6.2 Todellinen taipuma

Todellinen taipuma työmaalla on erilainen verrattuna teoriaan. Vanerin taipuman syy oli se, että muottivaneri oli asennuksen aikana kastunut liikaa. Rakentamisvaiheessa sääolosuhteet olivat erittäin kosteat, ja vaneri oli huonosti suojattu. Tästä syystä vanerin kestävyys oli huomattavasti pienentynyt. Olin mitannut eri paikat metallisuorakulman avulla. Siinä paikassa keskitaipuman arvo oli noin viisi mm. Maksimissaan taipuman arvo oli 7 mm (kuva 37)



Kuva 37 Vanerin maksimi taipuma.

6.3 Tuloksen analysointi

Taipuman tulokset eivät olleet yhtenevät, muttei ero ollut kuitenkaan kovin iso. Teoreettinen taipuma oli 6,2 mm (ks. otsikko 6.1) ja todellinen taipuma tuli noin 7 mm. Laskiesani teoreettisen taipuman käytin varmuuden vuoksi valupaineen maksimiarvoa, jonka sain Ratu-kortistosta. (ks. otsikko 4.1) Todellisuudessa valupaineen arvo ei ollut niin iso, eikä taipuman arvon pitäisi ylittää 6.2 mm. Todelliseen taipumaan vaikuttivat huonosti tehty vanerin varastointi ja valunaikainen tärytys. Myös voidaan ottaa huomioon vanerin laatuominaisuudet, eli mahdolliset laatuauriot valmistuksen aikana. Tässä tapauksessa vaneri oli varastoitu väärin ja materiaali pääsi kastumaan, koska Suomen talviolosuhteet ovat kosteat.

7 Yhteenveto

Näytetyön tavoite oli näyttää, miten voi suunnitella muotteja sekä valumenetelmiä. Hyvin suunniteltu muotti säästää materiaalia ja työtunteja, sekä estää virheiden syntymistä. Käyttämällä Ratu-kortiston ohjeita, esimerkiksi ”lauta- ja levymuottirakenteiden suunnitteluohjetta”, voidaan huomattavasti helpottaa suunnittelua. Näytetyön luvussa 4 kerrotaan, miten taulukon avulla voidaan toteuttaa puumuotteja eri tavoin, kun lähtöarvona voi olla sekä vanerin paksuus että muotilukon pinta-ala. [1, s. 22.]

Työmaalla voi syntyä erilaisia tilanteita, jotka suoraan vaikuttavat muotin toteutukseen ja virheiden syntymiseen. Onkin tärkeää ennakoida ja suunnitella huolellisesti kaikki työhön vaikuttavat tekijät: materiaalin valinta, sopivat valumenetelmät, työmaan logistiikka, materiaalin varastointi ja ammattitaitoiset työntekijät. Meidän työssämme varastointi oli suunniteltu huonosti, mikä vaikutti lopputulokseen.

Tämän näytetyön aiheena oli tavallisen seinämuotin suunnittelu ja toteutus työmaalla. Haasteellista oli valita oikea materiaali ja muottirakentamisen toteutustapa. Haastattelin työtimpuria ja toimistohenkilöstöä saadakseni tietoa materiaaleista. Tulimme siihen tulokseen, että muotti rakennetaan kappaletavarasta eli puusta. Syynä valintaan oli se, että yhden puolen muotista piti olla lautapintainen. Työhön toi lisähaastetta se, että ulkolämpötila oli siihen vuodenaikaan paitsi alhainen, myös hyvin vaihteleva: lämpötila saattoi laskea -28 °C:een ja seuraavana päivänä hypätä lähes nolnaan. Seinän toteutuksen ajankohtana säätila siis vaikutti sekä työskentelyolosuhteisiin että materiaaliin. Vaneri pääsi kosteaksi ja työn edistyminen oli hidasta. Kylmät olosuhteet vaativat myös hyvää valusuunnittelua ja betoninlämpötilan seuraamista.

Taipuman suhteen suunnitellun ja toteuman ero ei ollut huomattava, mutta sitä kuitenkin oli. Suunnittelussa on vaikea ottaa huomioon esimerkiksi valunaikaisen täryn vaikutus. Myös valupaine on muuttuva hetkellinen kuorma, joka vaikuttaa suoraan muotin kestävyYTEEN. Olin laskenut sen teoriassa, mutta todellisuudessa valun aikana putkessa syntyy korkea paine, noin 85 baaria maksimissaan. Paineen vaikutuksesta massa osuu valussa suurena pistekuormana muottiin. Tästä syystä taipuman määrä teoriassa ja todellisuudessa ei täsmää. Laskennallinen taipuma oli 6.2 mm ja todellinen maksimitaipuma oli 7 mm.

Toteutus kuitenkin onnistui ja tilaaja oli tyytyväinen, mikä on tärkeää yritykselle. Kustannuksiltaan tämä muottimenetelmä ei ole kaikista halvin. Materiaali ja työtunnit maksoivat enemmän verrattuna siihen, jos käytössä olisivat olleet moduulit tai valmiit alumiiniseinämuotit. Myös alumiinitangon hinta oli kaksinkertainen verrattuna harjateräkseen. Lauttapintainen muotti on työläs, tarkka ja hitaanpuoleinen valmistettava – se vaatii aikaa rakentamisvaiheessa. Hyvin tehty suunnittelu antaa kuitenkin mahdollisuuden säästää materiaalia ja ennakoida virheitä sekä taipumaa.

Tässä yhteenvedossa haluan painottaa, että nykyaikana muoti- ja valumenetelmät kehittyvät koko ajan. Tulevaisuudessa rakentamistapa voi olla aivan erilainen, ja nykypäivän menetelmät jäävät historiaan. Esimerkiksi 3D-tulostimet voivat ehkä tulevaisuudessa tulostaa kokonaisia taloja, robotit korvaavat työmiehiä ja materiaalit kehittyvät jatkuvasti. Materiaaliesimerkkeinä voidaan mainita Ruotsissa keksitty itsekorjautuva betoni, joka korjaa itse halkeamat tai uusi Japanissa keksitty puumateriaali, jonka kestävyys on sama kuin titaanipalkilla.

Nykymaailmassa kehitys etenee todella nopeasti. Mielestäni tämä on hyvä asia. Uudet materiaalit ja menetelmät voivat pelastaa meidät ekologisessa kriisissä, antaa mahdollisuuden toteuttaa valtavia projekteja ja vaikkapa rakentaa uutta kaupunkia toisella planeetalla.

Lähteet

- 1 Lauta- ja levymuottirakenteiden suunnitteluohje, Kone – Ratu 06-3029, viitattu 2.2.2019

- 2 Puuinfo, Lujuusteknisiä ominaisuuksia, viitattu 2.2.2019

<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/lujuusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

- 3 Rakennustieto, Paikallavaletut puhdasvalubetonipinnat, Jenni Korpela tekn.kand., Seppo Petrow DI, viitattu 2.2.2019

<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120502.pdf>

- 4 Puuinfo, Lujuusteknisiä ominaisuuksia, viitattu 2.2.2019

<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/lujuusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

- 5 Puuinfo, Kosteusteknisiä ominaisuuksia, viitattu 2.2.2019

<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/lujuusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

- 6 Doka, Doka-järjestelmämuotti Frami 270, Asennus- ja käyttöohje, viitattu 2.2.2019

https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999754011_2008_01_online.pdf

- 7 Peri, DOMINO-järjestelmämuotti, viitattu 2.2.2019

<https://www.perisuomi.fi/tuotteet/muotit/seinamuotit/domino-panel-formwork.html>

- 8 Kivitalo, MUOTTIJÄRJESTELMÄT, viitattu 2.2.2019

<https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/muottijarjestelmat/>

- 9 Doka, Kiipeävä muotti MF240, viitattu 2.2.2019

https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999710002_2018_11_online.pdf

10 Betomik, kalusto, viitattu 2.2.2019

<http://www.betomik.fi/kalusto>

11 Fiin-Foarm Oy, viitattu 11.2.2019

<http://www.finnform.net/betoninnostoastia.htm>

12 Omataloyhtiö, Autokatoksen valutöitä, viitattu 11.2.2019

https://www.omataloyhtio.fi/tv/tulosta1093autokatoksen_valutoita.aspx

13 Talhu Oy, hinattavat betonipumput, viitattu 11.2.2019

<https://www.talhu.fi/tuotteet/betonin-valmistus-ja-kuljetus/hinattavat-betonipumput/>

14 Betoni, betonin kuljetus ja siirto, viitattu 11.2.2019

<https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonin-kuljetus-ja-siirto/>

15 Rakennuslehti, Imatralla tehtiin maailman suurin 3d-betonitulostin, joka valmistaa kolme metriä korkeita rakennus-elementtejä, viitattu 11.2.2019

<https://www.rakennuslehti.fi/2017/05/imatralla-tehtiin-maailman-suurin-3d-betonitulostin-joka-valmistaa-kolme-metria-korkeita-rakennus%C2%ADelementteja/>

16 Postroi Dom, ContourCrafting, viitattu 11.2.2019

<http://postroy-dom.com/novye-tehnologii-v-stroitelstve/72-stroitelnyi-3d-printer.html>

17 Rudus, Betoni lämmittäminen talvivaluissa, viitattu 11.2.2019

<https://www.rudus.fi/Haku?term=betoni%20l%C3%A4mmitt%C3%A4minen%20talvivaluissa&type=file>

18 Sisäilmayhdistys ry, Mikrobikasvun edellytykset, viitattu 11.2.2019

<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobit/Mikrobikasvun-edellytykset>

19 Metsäwood, tuotteet, viitattu 01.03.2019

<https://www.metsawood.com/fi/tuotteet/vanerit/spruce-havuvaneri/Pages/Spruce-FireResist.aspx>

20 Lakkapää, tuotteet, viitattu 01.03.2019

[https://www.lakkapaa.com/rakentaminen/tuote/sahatavara-47x100-vs-vl-sahattu-\(p\)-vajaasarma-kakkosnelonen-47x100/438249/](https://www.lakkapaa.com/rakentaminen/tuote/sahatavara-47x100-vs-vl-sahattu-(p)-vajaasarma-kakkosnelonen-47x100/438249/)

21 Puukeidas, tuotteet, viitattu 01.03.2019

<https://www.puukeidas.fi/oulu/sahatavara-tayssarma-22x100-vi-st-kuusi.html>

22 Tarvikevaltti, tuotteet, viitattu 01.03.2019

<https://tarvikevaltti.fi/verkkovaltti/alumiinitanko-50mm/>

23 Taloon, tuotteet, viitattu 01.03.2019

<https://www.taloon.com/muottilukko-meltex/MELXA142710/dp>

24 VANERIKÄSIKIRJA, © METSÄTEOLLISUUS RY, Kirjapaino Markprint Oy, Lahti, 2005. ISBN 952-9506-64-3

25 Turun sanomat, Tyksin T3-sairaalan työmaalla näkyi ongelmia jo syyskuussa, 9.11.2016, viitattu 01.03.2019

<https://www.ts.fi/uutiset/paikalliset/2987841/Tyksin+T3sairaalan+tyomaalla+nakyi+ongelmia+jo+syyskuussa>

Alumiinitangon vetojännitys

Standard report:

27.11.2018

Parameter table:

Customer. BE Group oy Ab

Order-No. 200007/5714

pos 50

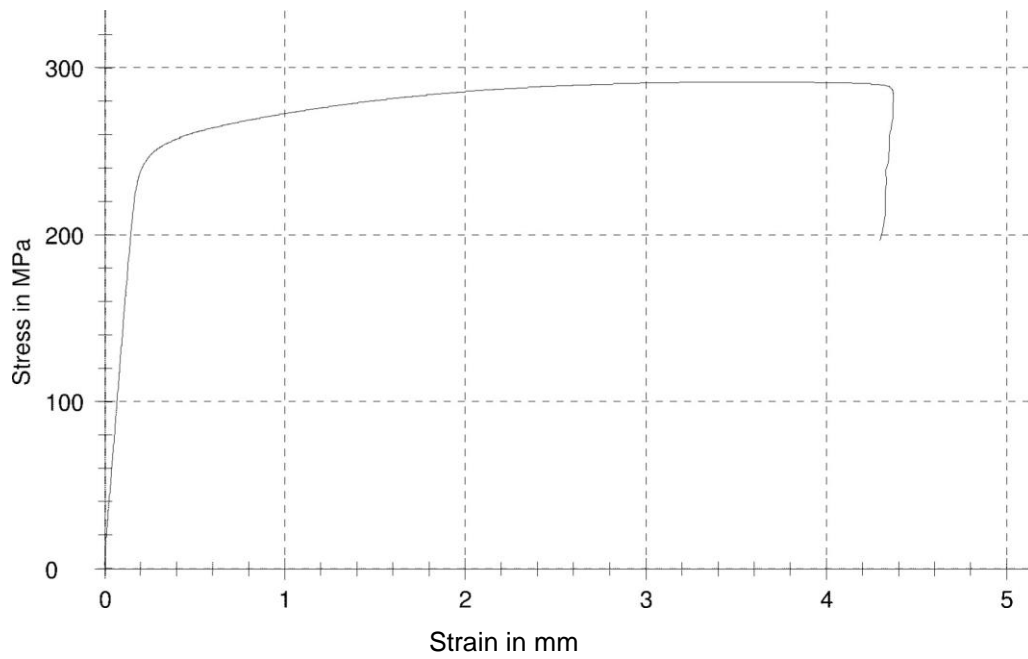
Profile No. 127 PTIO

Test standard: P066511

Results:

	Order-No.	Profile No.	Alloy	Temp	GPa	MPa	Rm MPa	A50mm	A-50 auto	MS/m
+1	200007/5714	127 PTIO	6082	6	65,3	236,74	279,03	1 0,98	11	
+2	200007/5714	127 PTIO	6082	6	67,9	244,45	285,76	1 0,98	7,31	
+3	200007/5714	127 PTIO	6082	6	68,3	246,33	285,80	1 0,98	6,40	
+4	200007/5714	127 PTIO	6082	6	142,1	233,23	279,45	1 0,98	7,67	
+5	200007/5714	127 PTIO	6082	6	66,0	245,51	287,17	1 1,72	7,63	
+6	200007/5714	127 PTIO	6082	6	69,0	246,53	288,68	1 3,04	7,78	
7	200007/5714	127 PTIO	6082	6	67,0	250,63	291	1 4,44	8,74	

Series graph:



Statistics:

Series	E G pa	Rp MPa	Rm MPa	A50mm	MS/m
x	67,0	250,63	291,38	14,44	
s					