



Aki Tallgren & Eemeli Pulkkinen

Automatisoitu valamismuotti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

26.4.2023

Tiivistelmä

Tekijät: Aki Tallgren & Eemeli Pulkkinen
Otsikko: Automatisoitu valamismuotti
Sivumäärä: 49 sivua + 2 liitettä
Aika: 26.4.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka
Ammatillinen pääaine: Koneautomaatio
Ohjaajat: Lehtori Pekka Salonen
Kehittäjä Antti Kärkkäinen

Insinööriyössä suunniteltiin automatisoitu valamismuotti kylpyhuonemuodulleita varten Modello® Nordic Oy:lle. Tarve valamismuotille ilmeni, kun aiemmat kylpyhuonemuodulit valmistettiin valamalla vain lattia asiakaskohteen mukaisilla mitoilla, mutta tarvittavat mitat vaihtelivat jatkuvasti, joten aina uutta kohdetta varten jouduttiin valmistamaan uusi valamismuotti. Uuden valamismuotin valmistaminen oli lisäksi työlästä ja aikaa vievää, joten nykyaikaisemmalla automaatoratkaisulla muotin valmistusaikaa ja näin ollen valmistuskustannuksiakin voitaisiin merkittävästi vähentää.

Automatisoitu valamismuotti mahdollistaisi seinien ja lattian yhdenaikaisen valmistamisen yhdellä valutyöllä ja helpottaisi lukuisia työvaiheita ja nopeuttaisi yrityksen toimintaa suuresti, sillä moduuleita voitaisiin valaa paljon nopeampaan tahtiin pienemmällä työmäärällä ja hävikillä. Insinööriyön lopputuloksena syntyi toimiva ja tavoitteiden mukainen kokonaisuus, jonka asiakasyritys aikoo valmistaa työssä luotujen suunnitelmien avulla.

Avainsanat: Valaminen, Valumuotti, Automatiikka, Hydrauliiikka, Lujuslaskelma, FEM-analyysi, Moduuli, SolidWorks, CAD-mallinnus

Abstract

Authors: Aki Tallgren & Eemeli Pulkkinen
Title: Automated casting mold
Number of Pages: 49 pages + 2 appendices
Date: 26th of April 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine automation
Supervisors: Pekka Salonen, Lecturer
Antti Kärkkäinen, Developer

The subject of this Bachelor's thesis is an automated casting form. The purpose for an automated casting mold was discovered as the company, Modello Nordic Ltd, was using single use molds for molding only the floor for a bathroom module. Every time Modello casted a mold, they had to make a new one for a different work site, since the bathrooms for every apartment building has a different sized bathroom.

An automated casting mold also makes it possible to cast not only the floor for different measurements but also the walls can be casted from concrete, making the bathroom modules much more stable, strong, and easier to make. Using this device deletes a lot of work stages, so it saves a lot of time and resources, so employees are freed for different tasks.

The outcome of this Bachelor's thesis was a functional design of a well working assembly, which easy and cost efficient to manufacture. Design was done using modern tools and accessories for building the machine as simple as possible. Some parts of the assembly had to be hidden from the public version as a patent is pending for some of the parts and assemblies.

The design includes full 3D-models and assemblies, FEM-analysis for most critical parts, program code for PLC controller, schematic diagram for hydraulic components and calculations of possible loads from the cast.

Keywords: Casting, Mold, Automation, Hydraulics, Strength calculation, FEM-analysis, Module, SolidWorks, CAD-modeling

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Insinööriyön aihe	1
1.2	Asiakas	1
1.3	Työn tavoite	2
2	Rakenteiden valaminen	3
2.1	Valaminen	3
2.2	Betonin valaminen	4
2.3	Modulaarisuus	4
3	Suunnittelu	6
3.1	Konseptisuunnittelu	7
3.2	Ulkomuotti	8
3.2.1	Ulkomuotin lukitus	13
3.2.2	Ulkomuotin liikutushaarukat	16
3.3	Hoito/aputasot	18
3.3.1	Ohjainyksikkö	19
3.3.2	Hydrauli- ja automaatiokomponentit	22
4	Automatisointi	23
4.1	Hydrauliikka	23
4.2	Hydraulikaavio	24
4.3	Sähköohjaus	25
4.4	Ohjelmointi	26
5	Lujuuslaskelmat	28
5.1	Lujuusopin käsitteet	28
5.2	Normaalijännitys ja venymä	29
5.3	Hydrostaattinen paine	31
5.3.1	Hydrostaattisen paineen laskeminen	31
5.3.2	Teoreettinen tilavuus	32
5.4	FEM-analyysi	35
5.5	Rungon rakenne	37

5.6	Ulkoseinän rakenne	41
5.7	Alakehän kestävyys	43
5.8	IPE-palkin kestävyys	45
5.9	Materiaalivalinnat	47
6	Yhteenveto	48
	Lähteet	50
	Liitteet	53

Lyhenteet

IPE:	Europa-Profil I, teräspalkki	(EN 10365)
PLC:	Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikka	
FEM:	Finite Element Method, Elementtimenetelmä eli numeerinen menetelmä differentiaaliyhtälöiden, erityisesti osittaisdifferentiaaliyhtälöiden ratkaisemiseen tietokoneella	
PEX:	Polyeteeni, ristosilloitettu. Ristosilloituksessa putkeen saadaan verkomainen rakenne.	
MPa:	Paineen yksikkö, Megapascal	
CAD:	Computer Aided Design, 3D- mallinnusohjelma	

1 Johdanto

1.1 Insinööriyön aihe

Insinööriyön aiheena oli automatisoitu valamismuotti. Tavoitteena oli suunnitella Modello Nordic Oy yritykselle automatisoitu valamismuotti kylpyhuonemoduuleiden valamista varten. Perinteisesti kylpyhuoneen lattia valetaan betonista muotin avulla, jonka jälkeen erikseen valmistetut seinä- sekä kattoelementit kiinnitetään lattiaelementtiin, joten huoneet saadaan toivotun kokoisiksi ja mallisiksi. Kylpyhuonemoduuleiden muotit ovat aiemmin luotu käsin aina työmaan mittojen mukaisesti.

Automatisoitu valamismuotti mahdollistaa kylpyhuonemoduulien valamisen yhdellä muotilla, joka muuttaa muotoaan tilauskohteen mittojen mukaiseksi syöttämällä laitteelle tarvittavat parametrit. Automaattisesti muotoa muuttava muotti mahdollistaa monen työvaiheen automatisoimisen, sekä integroi rakenteen pysyttämisen työvaiheet yhdeksi.

Työ on soveltuva insinööriyöksi, koska työ sisältää automatiikkaa, voimansiirtoa, konseptisuunnittelua ja lujuusoppia. Insinööriyö haastaa hyvin ja monipuolisesti eri opintokokonaisuudet konetekniikan opinnoista, sekä tarkoituksena on myös insinööriyön avulla suunnitelmien valmistuttua valmistaa kyseinen laite. Insinööriyö oli ehdottomastiärkevin valmistaa kahdestaan yhteistyössä, sillä projekti on todella työllistävä suunniteltaessa uutta innovatiivista laitetta ja kehittäessä moduulirakentamista.

1.2 Asiakas

Asiakkaana projektissamme oli Modello Nordic Oy. Modello Nordic Oy tuottaa ja kehittää pääsääntöisesti kylpyhuonemoduuleita. Kylpyhuonemoduulien valmistus tehdasolosuhteissa alkoi keväällä 2022, johon yritys tällä hetkellä painottuu. Modello toimittaa myös rakennusteollisuudelle erilaisia rakennusteollisuuden

osaelementtejä. Modello Nordic Oy on vuonna 1969 perustettu yritys, joka perustettiin nimellä Peltisepänliike Hyvönen Oy. Yritys tunnettiin silloin päätoimialana peltitöistä, jonka kädenjälkeä näkee ympäri Helsinkiä.

Yrityksen historiassa muita toimialoja ovat olleet muun muassa kiinteistöpalvelu, metallirakenteet, teräsrakenteet sekä kattorakenteiden asennus ja kattaminen.

Asiakkaina toimii pääsääntöisesti rakennusalan yritykset ja asiakkaat, jotka haavevat uusia ja nykyaikaisia tapoja rakentaa. Markkina-alueena tällä hetkellä toimii Suomi, mutta tulee mahdollisesti laajenemaan muualle pohjoismaihin sekä Eurooppaan. (Modello 2022.)

1.3 Työn tavoite

Tavoitteena oli suunnitella, laskea ja mitoittaa yritykselle muotti, joka olisi taloudellisesti kannattava ja käytännössä toimiva. Insinööriyössä suunnitellaan valmis konsepti automatisoidusta valumuotista, jonka Modello aikoo valmistaa jatkopäiväiseen käyttöönsä.

Valamismuotti oli suunniteltava automatisoidusti muuttamaan muotoaan annettujen parametrien mukaisesti mahdollisimman itsenäisesti ilman, että käyttäjä joutuisi paljoa muuta työtä tekemään kuin syöttämään parametrit minkä kokoisen valamismuotin käyttäjä haluaa. Näin ollen käyttäjälle jää työtehtäviksi tukiraidoitukset, talotekniikka valun sisään ja valun kaato, jonka kuivumisen jälkeen kylpyhuonemuodulin rakenne olisi valmis. Valamismuotti automaattisesti ajaisi itsensä kuivumisen jälkeen auki, jolloin käyttäjä voi poistaa läpivientimuotit, kuten oven paikkamuotin ja nostaa kylpyhuoneen rakenteen ulos laitteesta.

2 Rakenteiden valaminen

2.1 Valaminen

Valamisella tarkoitetaan yleisesti prosessia, jossa nestemäinen aine kaadetaan muottiin ja annetaan kuivumalla tai jäähtymällä kovettua saadakseen jokin haluttu muoto tai rakenne. Valamisessa voidaan käyttää erilaisia aineita, kuten metalliseoksia, muoveja tai betonia. Valamisessa käytetään monenlaisia eri menetelmiä, kuten esimerkiksi hiekkavalaminen, tarkkuusvalaminen, kestopuottivalaminen, kuorimuottivalaminen, replicast-valaminen, Shaw ja unicast-valaminen, kokillivalaminen, painevalaminen, keskipakovalaminen, jatkuvavalaminen, puristusvalaminen ja liitosvalaminen.

Projektissamme laitteisto suunniteltiin toimimaan kestopuottivalamisperiaatteella käyttäen yhtä tiettyä kokonaisuutta eri kappaleiden valamiseen ilman uuden muotin valmistamista. Kestomuottimenetelmässä käytetään perinteisesti samaa muottia monien, jopa tuhansien tuotteiden ja muotojen valamiseen. Kestomuottimenetelmä soveltuu kätevästi betonivalamiseen, sillä betonivalamisessa ei tarvitse todella suuria lämpötiloja valettavan aineen sulattamiseen ja juoksevaksi muodostamiseen, joka rajoittaisi merkittävästi valumuotin käyttöikä.

Valamisessa on tärkeää huolehtia valamisessa käytettävän aineen oikeasta sekoitussuhteesta ja menetelmästä, kaatamisesta, lämpötilasta, kuivattamisesta ja jäähtymisestä, jotta valettava tuote on laadukasta ja kestävä. Lisäksi on tärkeää huolehtia turvallisuudesta valamisprosessin aikana. Valamisessa edellytetään usein materiaalista ja menetelmästä riippuen erityisiä suojarusteita, kuten hengityssuojaimia ja suojalaseja. Kylpyhuonemuodulien valamisessa käytetään materiaalina betonia, joka vahvistetaan lisäraudoituksella. (Honkavaara 2014.)

2.2 Betonin valaminen

Betonin käyttäminen valamisaineena on suhteellisen yksinkertaista ja käytännöllistä, sillä se ei tarvitse valamista varten suurta lämmitystä, kuten metallivalaminen. Metallivalamisessa aine on lämmitettävä sulamispisteeseen, jonka avulla aine muodostuu juoksevaksi, jotta sula aine voidaan kaataa muottiin valamista varten. Betoni kuitenkin monesti valamisen aikana tarvitsee tärylaitteistoa, jolla varmistetaan, että betoni varmasti tasoittuu tasaisesti muotin muotoiseksi ilman ilmakuplia tai muita rakenteita heikentäviä epätäydellisyyksiä. Betonin käyttäminen valamisessa on myös kustannustehokasta sen halvan hinnan ansiosta ja riittävän kestävää kuivuessaan käytettäväksi esimerkiksi talotekniikan rakenteissa.

Ennen betonin valamista, valamismuotin on oltava valmis ja tarvittaessa oikean kokoiseksi muotoiltu. Sitten betoniseos sekoitetaan oikeassa suhteessa ja kaadetaan muotoon. Betonin valamisen jälkeen se on annettava kovettua kuivumalla riittävän ajan, jotta se saavuttaa tarvittavan lujuuden. Betonin valamisessa on tärkeää huolehtia seoksen oikeasta suhteesta ja valmistustekniikasta, jotta betonista saadaan riittävän laadukas ja kestävä.

Betoni valmistetaan valamisvalmiiksi ennen valun aloittamista. Valettavaan betoniin tarvitaan raaka-aineeksi vettä, hiekkaa, sementtiä ja sepeliä. Raaka-aineet sekoitetaan keskenään oikeassa suhteessa, jonka jälkeen betoni on valmis kaadettavaksi valamista varten. (Betoniteollisuus Ry)

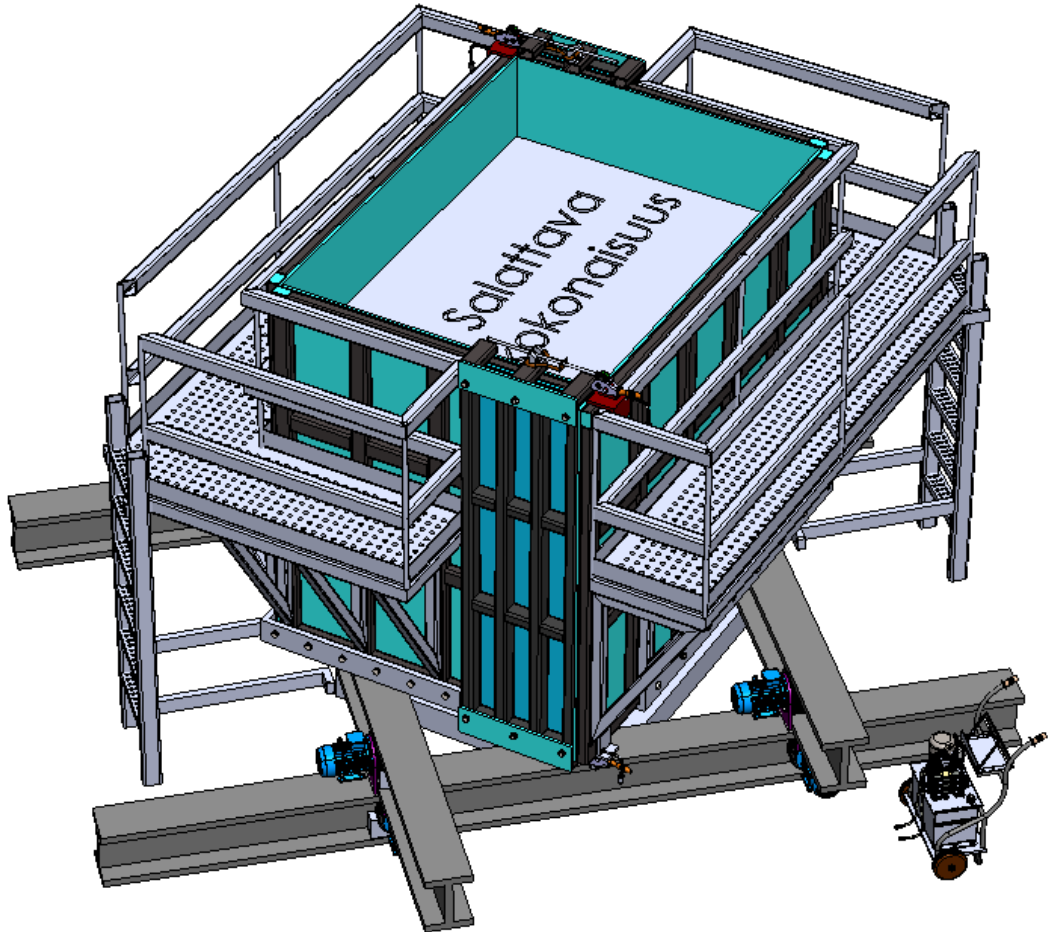
2.3 Modulaarisuus

Modulaarisuus tarkoittaa yleisesti jonkin järjestelmän jakamista pienempiin kokonaisuuksiin, jotka voidaan yhdistää myöhemmin kokonaiseksi järjestelmäksi. Modulaarisuus tuo mahdollisuuden skaalautuvuuteen ja kokonaisuuden valmistamisen nopeuttamiseen tasalaatuisemmin.

Modulaarinen rakennustekniikka mahdollistaa rakennuksen nopeamman valmistumisen sen toistuvan periaatteen takia. Erityisesti teollisuusrakennukset, varastot ja toimistot hyötyvät modulaarisesta rakennustekniikasta, koska suurin osa niiden rakenteista valmistetaan työmaan ulkopuolella. Tämä insinööritoiminta keskittyy kehittämään modulaarista rakennustekniikkaa, tarkemmin kylpyhuonemoduuleita, joka koskee suuria asuintaloja, kuten kerrostaloja.

Kylpyhuonemoduulien käsite muodostuu modulaarisuudesta, eli kylpyhuoneraakenteet valetaan muualla kuin työmaalla, yleensä tehdasolosuhteissa, ja ne toimitetaan valmiina täysin kalustettuna työmaalle asennettaviksi. Kylpyhuoneet voidaan valmistaa räätälöitynä asiakkaan toiveiden mukaisesti. Kylpyhuoneisiin asennetaan valmiiksi talotekniikka, sekä ne toimitetaan täysin asennusvalmiina ja kalustettuina työmaalle. Kylpyhuonemoduulin kuljetuksen jälkeen työmaan osa elementin asennuksesta on torninosturilla nostaa ja asentaa elementti kohteen rakenteisiin. Työmaalla tapahtuu tämän lisäksi elementin ja talon rakenteen väliin putki- ja sähköliitoksien asennus sekä saumabetonointi rakennussuunnitelmien mukaan. (Ratu 0395; Haara 2018: 427.)

3 Suunnittelu



Kuva 1. Lopullinen kokonaisuus keerna salattuna

Kuvassa näkyy automatisoidun valamismuotin lopullinen kokoonpano ja opinnäytetyöstä on salattu keernan kokonaisuus, eikä sitä käsitellä julkisessa opinnäytetyössä.

Suunnittelu aloitettiin luonnostelemalla erilaisia konsepteja piirtämällä perinteisesti paperille. Tarkoituksena oli suunnitella toimintaperiaatteeltaan mahdollisimman yksinkertaisesti toimiva laite, sen kuitenkin toimiessa varmatoimisesti jokapäiväisessä käytössä mahdollisimman vähin mekaanisin työvaihein.

Suunnittelun edetessä luotiin ensimmäinen konsepti laitteesta, jossa sisä- ja ulkomuotit olivat yhtä kappaletta ja muodonmuutos tapahtuisi sähkömoottoreiden avulla liikuttamalla sivuja ja sähköisesti ohjattavien magneettien avulla pitäen ne paikallaan halutussa muodossa. Suunnitelma todettiin olevan käytännössä liian monimutkainen toimiakseen käytännössä, joten suunnitelmaa oli muutettava.

Ulkokehä suunniteltiin ensimmäisenä, jonka jälkeen keernan suunnittelu aloitettiin. Muotin ulkokehän suunnittelun edetessä monen konseptin jälkeen päädyttiin ratkaisuun, jossa ulkomuotin tulisi olla kaksiosainen. Kyseisellä tavalla horisontaalinen ja vertikaalinen liike olisi mahdollinen, jotta valamismittojen muuttaminen haluttuun kokoon onnistuu muotin neliömuodon ollessa mitä tahansa. Näin ollen muottien väliin pääsee myös tekemään mahdolliset toimenpiteet koskien talotekniikkaa ja tukirauδοituksia. Monimutkaisin ja haastavin suunnittelu oli keernan mekanismi ja automatisointi. Keernan tulisi kutistua betonin kuivumisen jälkeen, jotta valettu kylpyhuone saataisiin irtoamaan turvallisesti muotista rikkomatta vedeneristyskangasta, sekä muuttamaan kokoa parametrien sisässä. Keernan voimansiirron toimintaperiaatteena tulisi olemaan hydraulikka ja hydrauliset sylinterit, jotka yhdessä sähkömoottorien avulla liikuttavat muottia haluttuihin mittoihin. Hydrauliset sylinterit liikuttaisivat keernan seiniä ja kulmia anturien ja venttiilien avulla tiettyyn paikkaan, jotta haluttu mitta saavutettaisiin.

3.1 Konseptisuunnittelu

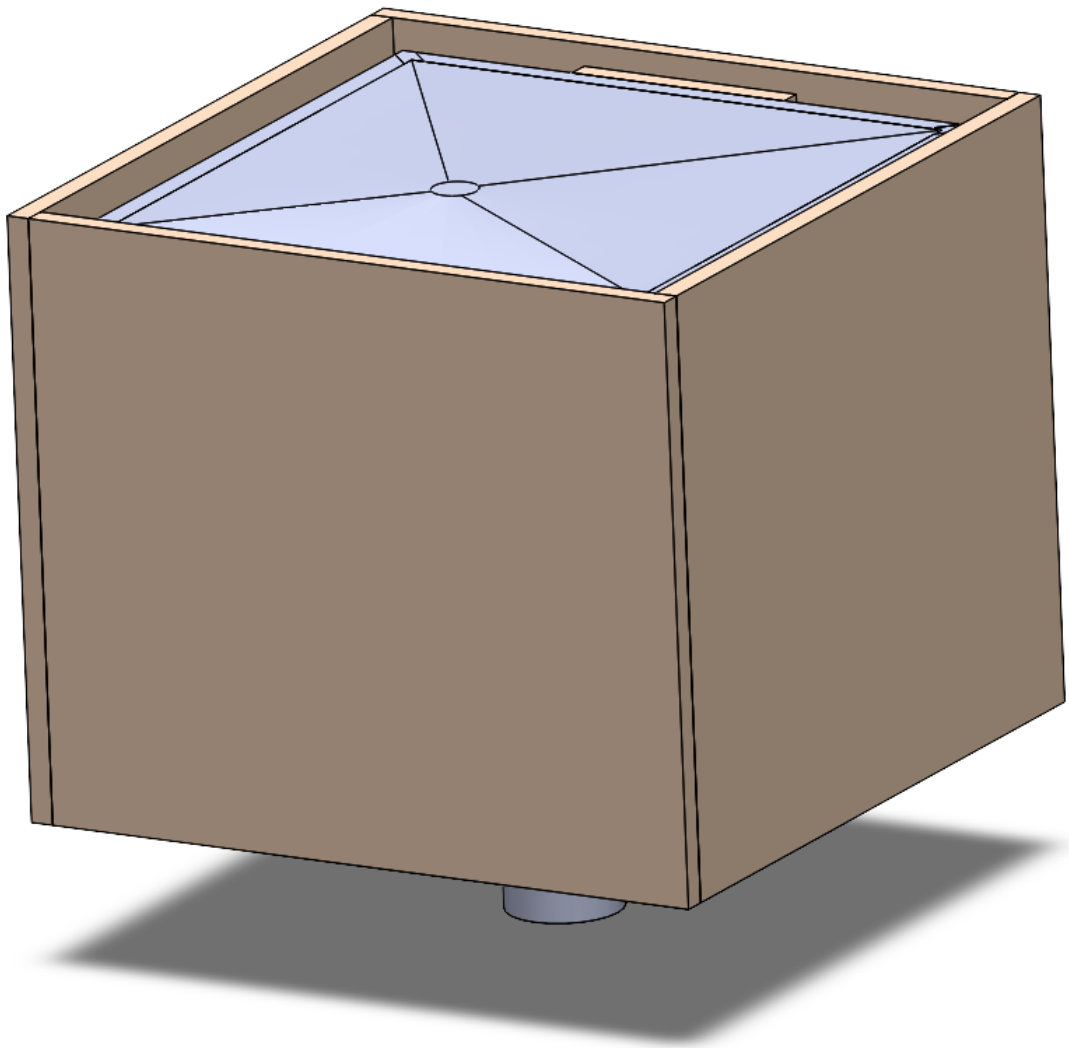
Suunnittelua jatkettiin palaverilla asiakasyrityksen kanssa projektista ja aihe käytiin läpi tarvittavine ominaisuuksineen. 3D-mallin suunnittelu aloitettiin SolidWorks-ohjelmalla.

Suunnittelussa hyödynnettiin saatavilla olevaa massatavaraa suunnitellen ulkomuotin liikkumaan IPE-palkkien avulla X- ja Y-suunnassa, sillä IPE-palkit ovat standardisoitua ja hyvin saatavilla olevaa kestäväää rakennetta. IPE-palkkien avulla myös lujuslaskennat olisi helpompi toteuttaa, sillä palkkien tarkat tiedot ja kestävyudet ovat hyvin tunnettuja. Sähkömoottorien ja pyörien avulla myös liikkuminen olisi helppo toteuttaa palkkien sisällä.

3.2 Ulkomuotti

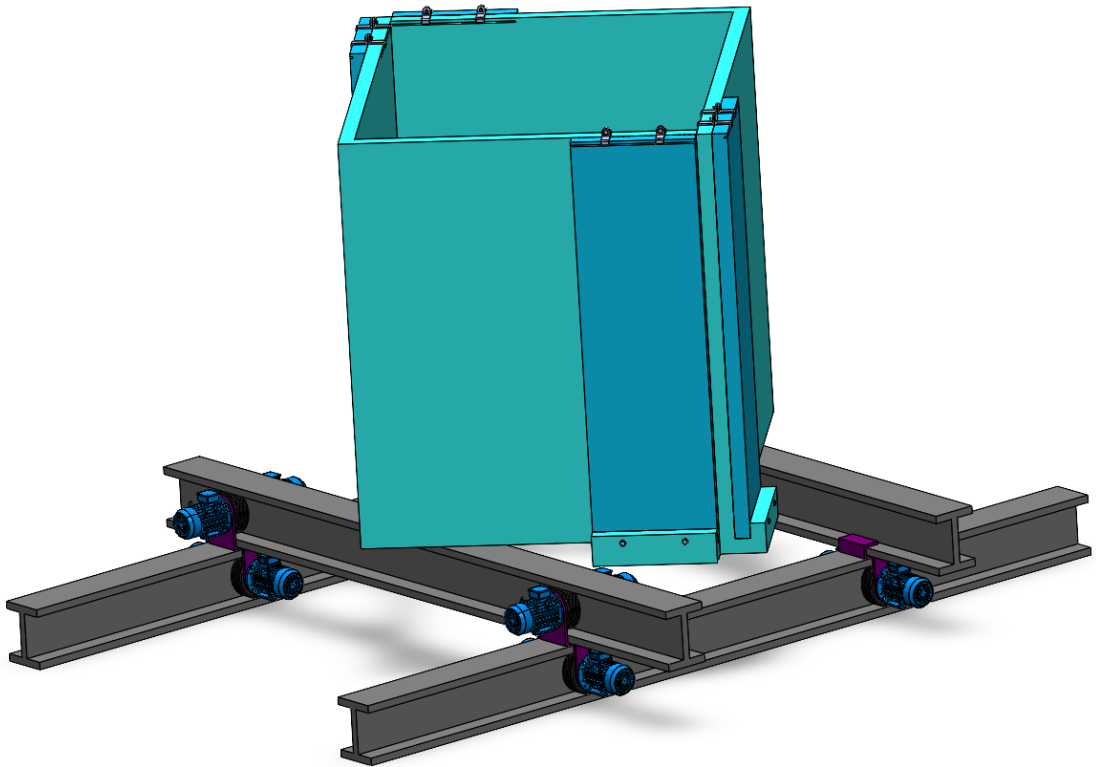
Ulkomuotin suunnittelu aloitettiin mallintamalla kuvan 1 malli, jossa ulkoseinät olisivat kaikki poikittain toisiinsa liikkuvat ja kulmat ylittäisivät toisensa kappaleen kutistuessa tai kasvaessa. Seinät pysyisivät halutussa positiossa sähköisesti ohjattavien magneettien avulla ja seinien liike tapahtuisi sähkömoottoreilla. Seinien välissä olisi itse asennettava muottipala moduulin oviaukkoa varten. Sisämuotin keskellä olisi yksi iso hydraulisylinteri, joka nostaisi kattoa ylös ja alas päin.

Idea kuitenkin todettiin käytännössä huonoksi ja epäkäytännölliseksi, joten uutta ideaa ulkoseinille aloitettiin mallintamaan. Ulkomuotin muoto ja liikeperiaate suunniteltiin uusiksi.



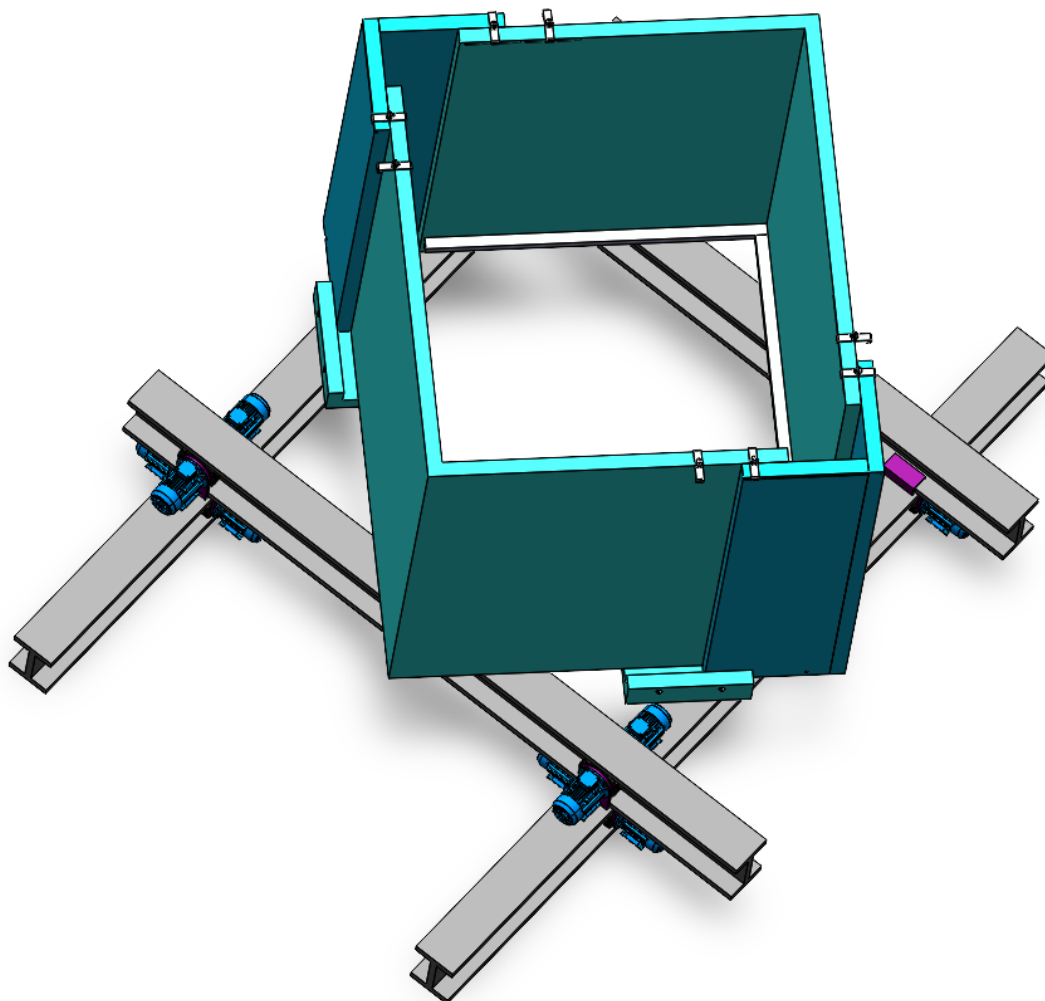
Kuva 2. Ensimmäinen karkea konseptimalli

Ulkomuotin ideaksi muodostui kaksi L-muotoista seinäkappaletta, joista toinen liikkuisi X- ja Y-akseleilla kiinni ja ulospäin toisesta, toisen L-seinän liikuessa vain yhdessä suunnassa lähemmäksi ja kauemmaksi. L-kappaleet olisivat IPE-palkkien päällä, jotka olisivat sähkömoottoroitujen haarukoiden avulla liikuteltavissa. Sähkömoottoreiden ohjaus toteutettaisiin PLC-ohjauksella, jotta ne voitaisiin ohjata aina tiettyyn position tietyn kokoisen moduulin valmistuksessa käyttäjäturvallisella käyttölaiteella.



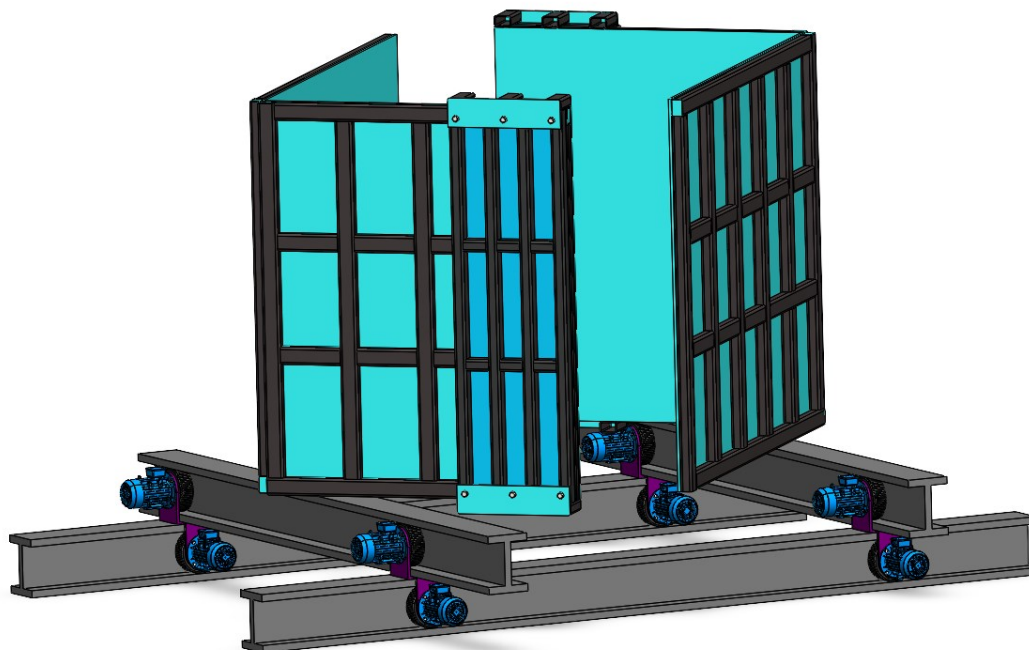
Kuva 3. Päivitetty ulkoseinämalli IPE-palkkien päällä

Ulkoseinien mittojen kasvaessa niiden liikkeessa IPE-palkkien päällä tulisi lisääntyvä seinän pinta-alan tarve paikata mekaanisesti liikuteltavalla lisäseinän palalla, jonka syvennys paikattaisiin käsin asennettavalla levyllä seinän väliin. Lisäseinä olisi rullallinen alapäästä, jotta liike olisi mahdollisimman käytännöllistä käsin liikuttaa. Lisäseinän ollessa oikealla paikalla, kiinnitettäisiin se alapäästä kiinteäksi alapäässä olevien pulttien avulla, jotka painautuisivat kiinni seinään. Yläpäähän valmistettaisiin kynnelliset pannat, jotka pulttien ja muttereiden avulla purisivat seiniin jyrskittyihin uriin.



Kuva 4. Lisäseinät avattuna ja kiinnitettynä kynsien avulla

Ulkoseiniä paranneltiin kuitenkin muuttamalla niiden toimintaa käytännöllisemmäksi. Kaksi liikuteltavaa lisäseinää poistettiin ja toisellekin IPE-palkille suunniteltiin sähkömoottorit ja mahdollisuus liikkua poikittaissuunnassa. L-seinille luotiin myös vahvistuksia teräspalkeista, joka mahdollistaa seinien valmistamisen kapeammaksi minimoiden valmistuskustannukset ja seinien massan säilyttäen kuitenkin riittävän kestävyuden.



Kuva 5. Ulkoseinien lopullinen malli

Ulkoseinät ovat suunniteltu vaaka- ja vinositeillä, jolla ratkaistaan koneen rakennekorkeuteen liittyvät seinien rakenteellista kestävyyttä haastavat ongelmat. Kyseiset palkkirakenteet hitsataan kokoon ja rakenne on suunniteltu 120 x 80 mm teräspalkista. Tämä teräspalkki kestää ulkoseinille tulevan kuormituksen, sekä hoitotason kannatuksen. (Haara 2018: 245-246.)

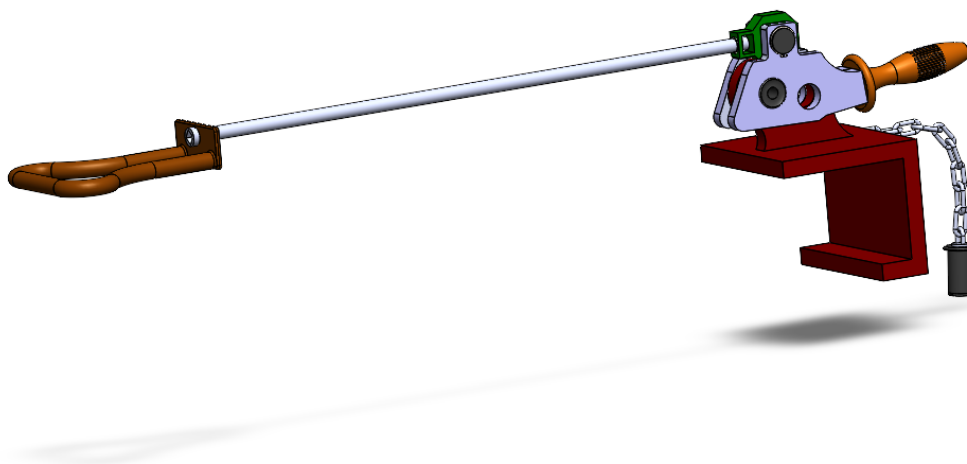
Liikuteltavien lisäseinien yläpäähän myös lisättiin samanlainen kiinnityspiste kuin alapuolellakin ja se muutettiin rakennettavaksi myös teräspalkeista, joissa seinän liike voidaan kiinnittää pulttien avulla kiinteäksi. L-seinät olisivat kiinnitettynä poikittaisen IPE-palkin päälle alakehien avulla 45 asteen kulmaan palkista, joka mahdollistaa seinien tuomisen toisiinsa muodostaen erikokoisia neliömuotoja.

Ulkoseinien olisi määrä liikkua ulos, jotta väliin voitaisiin asentaa tarvittavat raudoitukset ja läpiviennit vesilähtöjä ja sähköjä varten. Läpiviennit vesilähdöille ja sähkörasioille asennettaisiin magneettien avulla keernaan, jotta ne pysyvät kiinni valamisen ajan. Magneetit poistetaan moduulista valmiin moduulin

sisäpuolelta. Myös muotti moduulin ovea varten asennettaisiin ulkoseinien ja keernan väliin. Keernan ollessa oikeassa mitassa ja tarvittavien tukien ja lähtöjen asennuksen jälkeen ulkoseinät siirtyisivät kiinni vasten alakehiä, jotta valaminen voidaan aloittaa.

3.2.1 Ulkomuotin lukitus

Valumuotti oli suunniteltava mekaanisesti lukitettavaksi valamisen ajaksi, jotta sisään kaadetun märän betonin hydrostaattinen paine ei avaisi muottia muotin ollessa halutussa positiossa. Muotti ei saisi antaa yhtään periksi, sillä pienikin liike ulkoseinissä vaikuttaisi lopullisen valun muotoon negatiivisesti. Ulkoseinille suunniteltiin yksinkertainen mekanismi, joka voidaan ennen valamista vain asettaa paikalleen ja se lukitsee laitteen tiukasti kiinni.

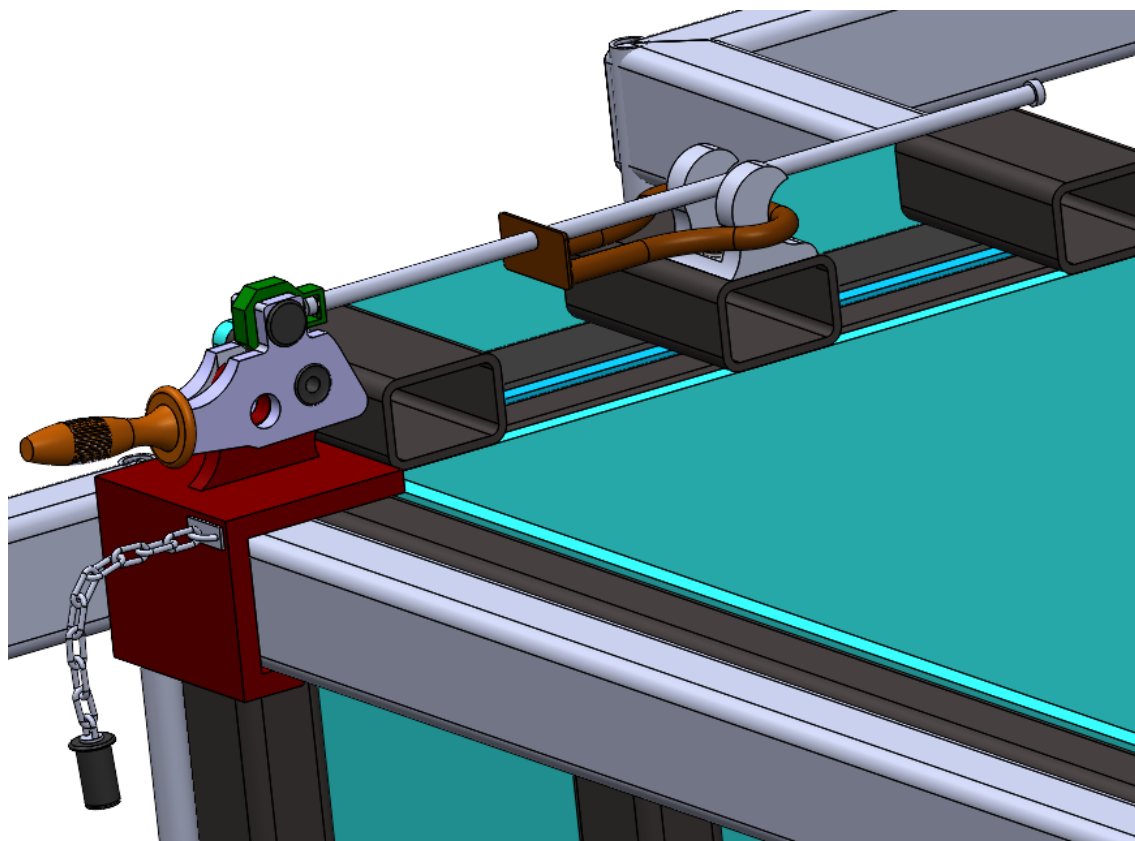


Kuva 6. Ulkoseinien lukitusmekanismi, jossa salpa lukittuu kynsiin

Ulkoseinille suunniteltiin mekaanisesti käytettävät lukot, joissa käsikäyttöinen kahva, joka lukitsee salvan kynsiin. Kynnet asennettaisiin pulteilla keskeltä ulkoseinien päälle ja itse kahvan jalka kiinnittyisi kulmallisen jalan avulla hoitotason kaiteeseen. Kahvanmekanismin jalka oli suunniteltava helposti liikuteltavaksi,

sillä tarvittavan valun koon muuttuessa on mekanisme oltava mahdollista liikuttaa eri kohtiin.

Lukitusmekanismi oli suunniteltava myös säädettäväksi, jotta valumuotin koon vaihtuessa voidaan edelleen käyttää samaa lukitusmekanismia vain säätämällä se suurempaan tai pienempään mittaan. Mekanismin säätöruuvissa on ½” istukka, joka on helposti säädettävillä yleisillä pulttipyssyillä tai räkillä suoraan ilman erillistä hylsyä. Säätö mahdollistettiin siten, että säätöruuvissa on pitkä kierre, joka kiertyy salvan levyssä olevissa kierteissä. Säätöruuvi pysyy paikallaan kahvamekanismissa laakerin ja sokkien avulla.

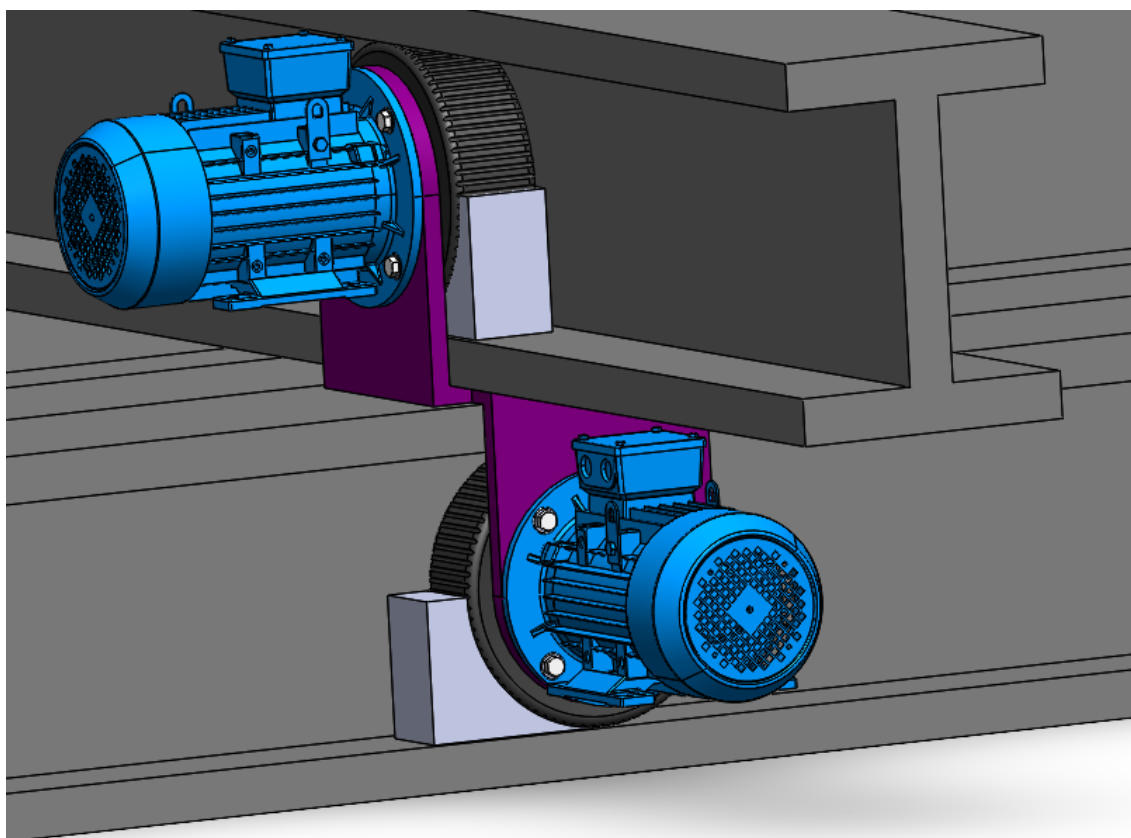


Kuva 7. Lukitusmekanismi asennettuna muotin ollessa minimimitassa

Lukitusmekanismin lukitus voidaan myös varmistaa mekanismin läpi asennettavalla tapilla, joka varmistaa mekanismin kiinnipysymisen valamisvaiheessa. Tappi on asennettu ketjun päähän, joka roikkuu mekanismin vieressä, jotta se pysyy varmasti tallessa ja on kätevä asentaa mekanismiin. Samanlainen

kiinnitysmekanismi suunniteltiin myös laitteiston alapäähän takaamaan maksimaalista kiinnipitovoimaa korkeaa hydrostaattista painetta vastaan. (EN 1997-1. 91.)

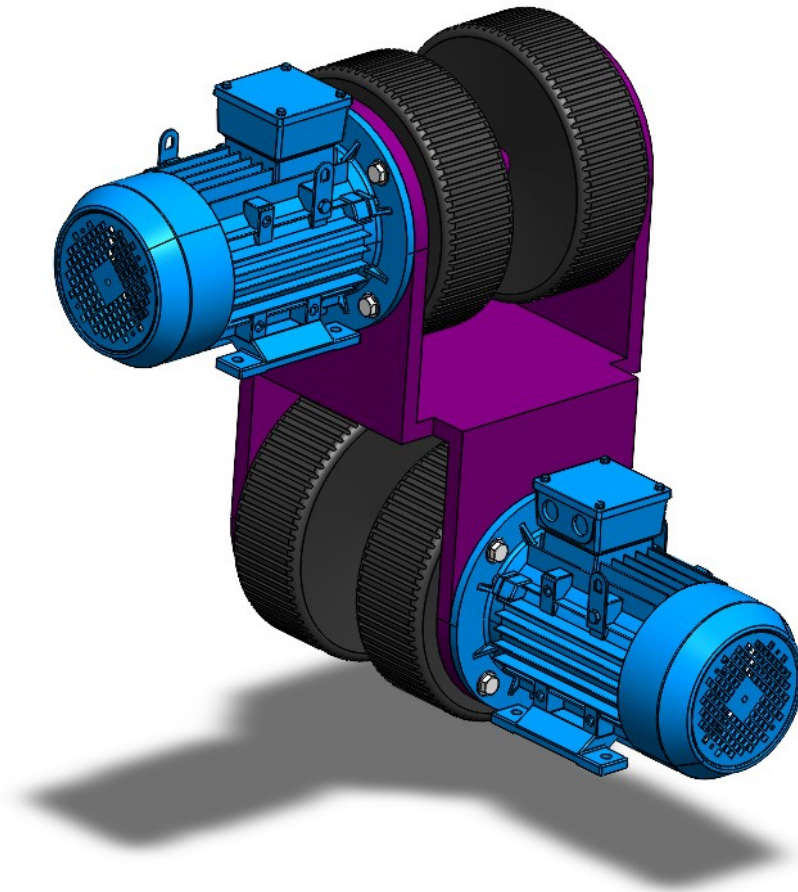
Ulkoseiniin oli kuitenkin varmuuden vuoksi suunniteltava helposti asennettavat lisätuet ulkoseiniä liikuttavien haarukoiden pyöriin asennettavaksi. Lisätuen avulla varmistetaan, etteivät pyörät pääse missään tapauksessa luistamaan valamisen tai minkään muun työvaiheen aikana, jona pyörät eivät saisi liikkua. Pyöriin suunniteltiin asennettaviksi kiilat, jotka hakataan nuijalla pyörään paikalleen. Kiilassa on pyörän halkaisijan mukainen kaari, joten kiila painautuu kätevästi pyörän muotoihin lukittuen sen IPE-palkkiin. Valamisen jälkeen muotin kuituttua ja valmiin moduulin ulosnostettua seinät mahtuvat liikkumaan sisäänpäin hieman, jotta kiilat vapautuvat pyörien alta ja ne voidaan vain kätevästi nostaa pois.



Kuva 8. Lukituskiilat asennettuna ulkoseiniä liikuttaviin pyöriin

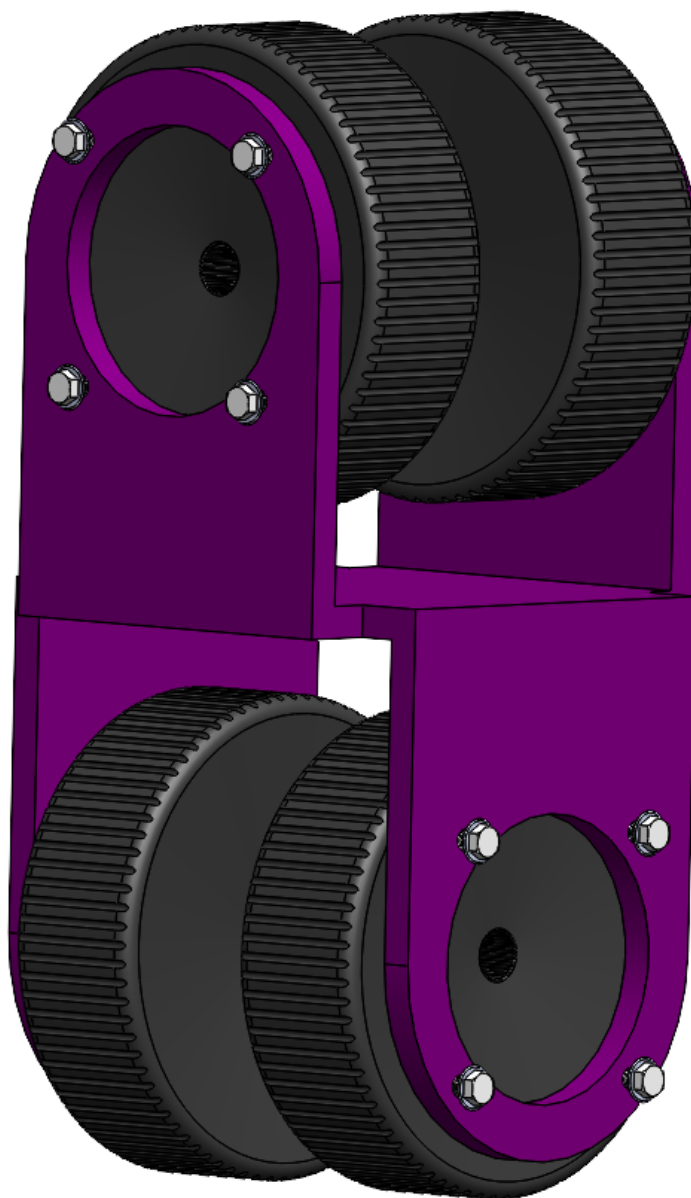
3.2.2 Ulkomuotin liikutushaarukat

Ulkomuotin liike toteutettiin ulkomuottia liikuttavilla haarukoilla, joissa sähkömoottorit liikuttaisivat pyörien avulla poikittaista IPE-palkkia pitkittäisen päällä luoden ulkomuotille mahdollisuuden ajautua eri kokoisiksi muodoiksi kompensoimaan keernan muuttuvaa muotoa. Sähkömoottorit kiinnitettäisiin haarukkaan pulteilla ja sähkömoottorin akseli kiinnittyisi booreilla pyörään sokan avulla. Haarukkakokoonpanon pyörät liikkuisivat IPE-palkkien sisällä, toinen pyöristä moottoroituna ja toinen vain laakeroituna seuraamaan liikkuvaa liikettä, mutta kuitenkin luoden tukea haarukalle ja laitteistolle, ettei niissä olisi mahdollisuutta lähteä kaatumaan missään vaiheessa.



Kuva 9. Ulkomuotin liikutushaarukat, jotka asennetaan IPE-palkkien väliin liikuttamaan seiniä

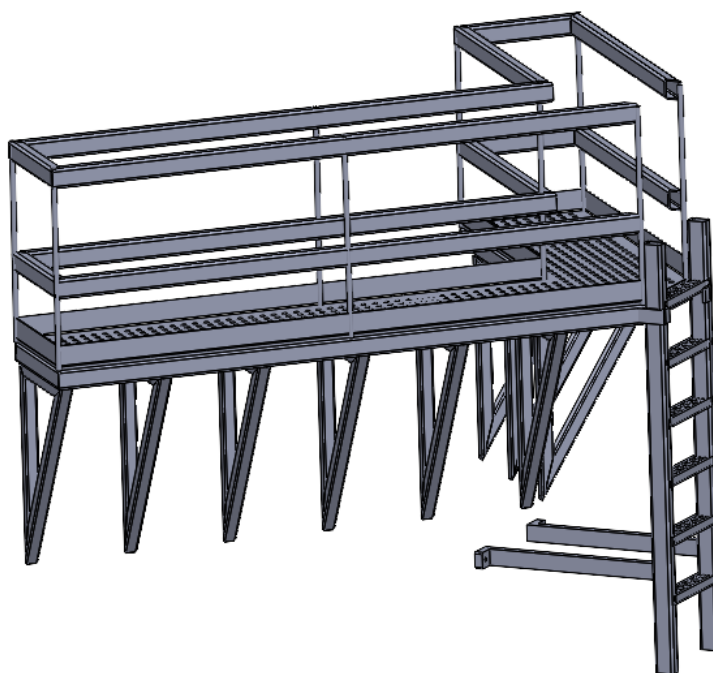
Haarukan runko valmistettaisiin teräksestä takaamaan riittävän kestävyuden rakenteelle, sillä haarukalle muodostuva kuorma tulisi olemaan todella suuri, sillä niiden varassa tulisi olemaan monta kokonaisuutta.



Kuva 10. Haarukan rakenne ilman sähkömoottoreita

3.3 Hoito/aputasot

Valumuottiin suunniteltiin myös hoitotasot helpottamaan mekaanisia työvaiheita. Käyttäjä pääsee tikapuiden avulla laitteen yläpuolelta kätevästi asettamaan väli-levyt paikalleen turvallisesti.

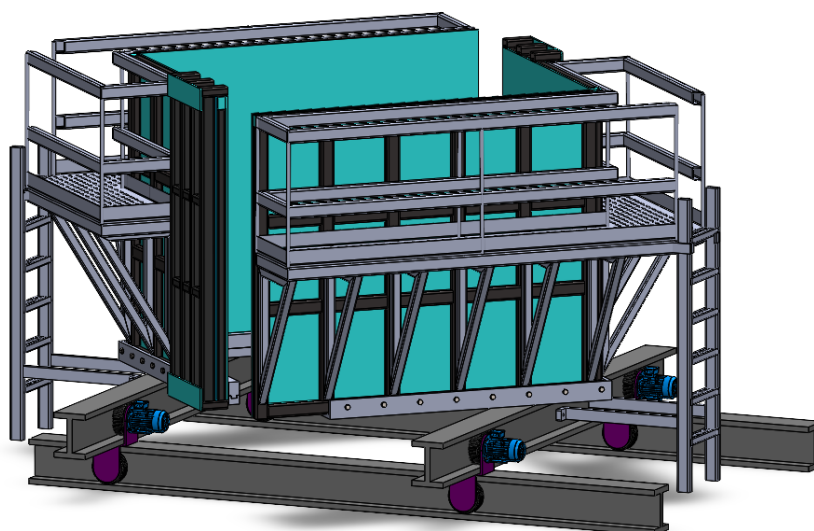


Kuva 11. Yhden puolen hoitotaso, jossa tukirangat, taso, kaiteet ja tikkaat

Hoitotasot ovat rakennettu pääosin teräspalkista tarvittavan vahvuuden takaamiseksi. Tasojen on myös tarvittaessa kestävä kahdenkin työntekijän painot riippuen suoritettavasta työstä. Hoitotasolle suunniteltiin myös tikkaat, joilla on kätevää nousta tasolle työskentelemään, ja ne tuovat myös lisää kestävyyttä niiden ollessa alapäästä tuettuna IPE-palkkiin pulttavilla tassuilla. Tikkaat ovat kiinnitettynä kiinteiksi hoitotasoon.

Tason lattialevynä on rei'itettyä teräslevyä puhtauden takaamiseksi, jotta pienroska tippuvat niistä pois ja työkengät saavat niistä pitoa. Jalkalista myös suunniteltiin tasolle 110 mm korkeaksi standardin EN ISO 14122 (Kuva 34) mukaisesti. Jalkalistojen avulla työntekijän jalan liukastuessa ei ole mahdollisuutta

kaatua kokonaan ulos tasosta. Telinetyöhön ja henkilönostoihin on myös annettu määriteltyjä turvallisuusohjeita, joita on noudatettava suunniteltaessa ja käyttäessä hoitotasoa ja tikapuita. (VNa 205/2009) Muottityön suunnittelustandardin mukaisesti määritellään yli kahden metrin korkeudella olevien muottien työtasojen varusteltavaksi asianmukaisilla suojausmekanismeilla. Muotin reunan on toimittava osana suojakaidetta, poikkeustapauksissa kaide on asennettava myös vastamuottiin. Kulkutien on oltava turvallinen porrastornin. Tikasta käytettäessä on sen oltava kiinteä osa muotin rakennetta. (RatuTT 05-01304. Muottityön suunnittelu.)

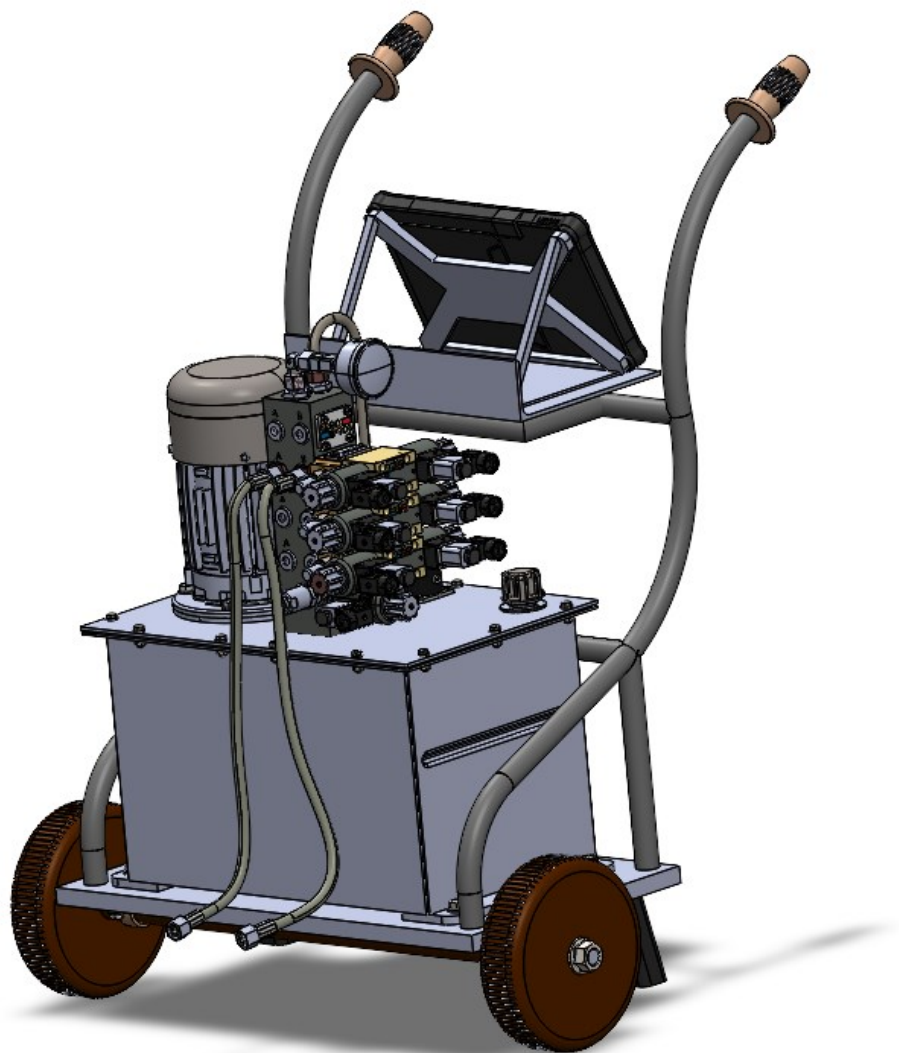


Kuva 12. Hoitotasot asennettuna ulkoseiniin

3.3.1 Ohjainyksikkö

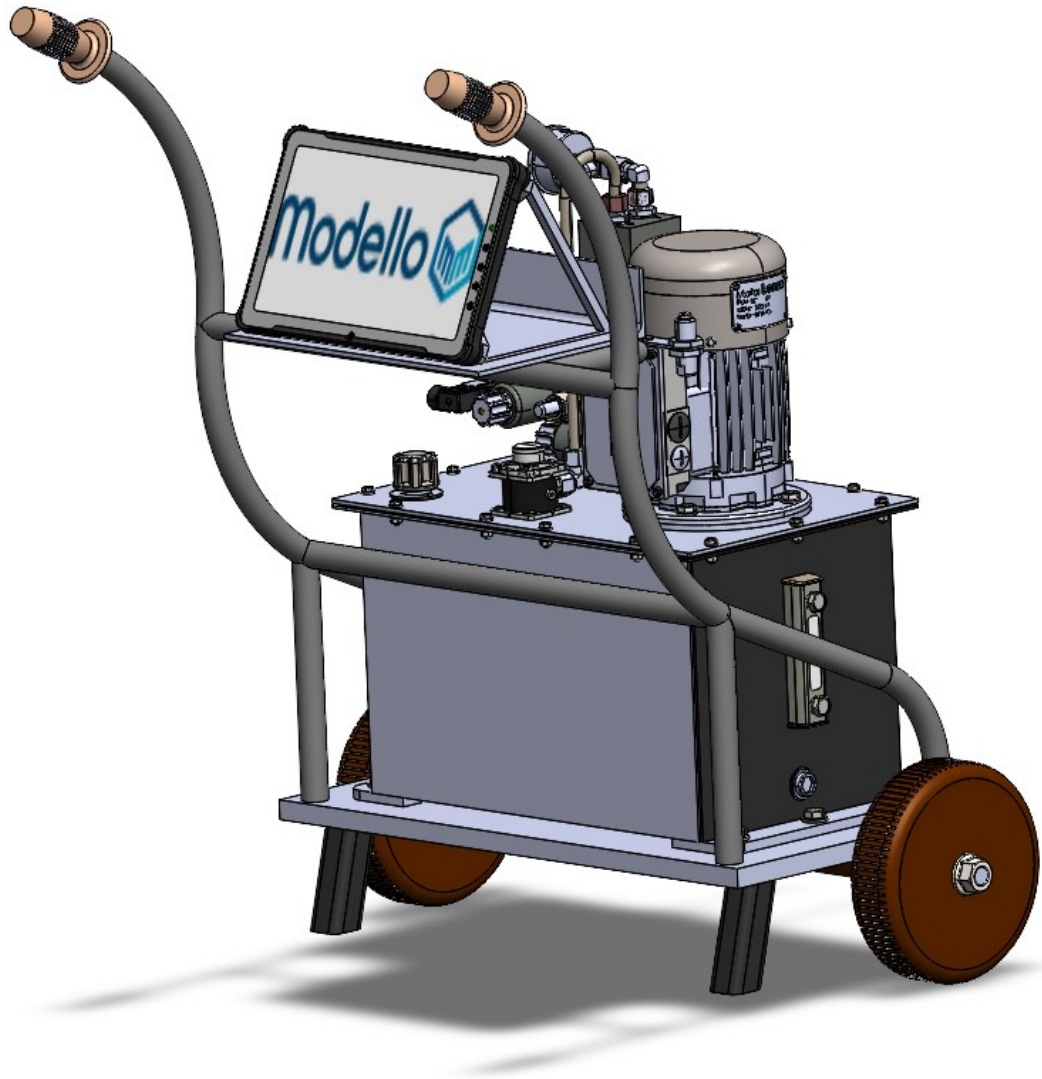
Laitteiston hydrauliiikan ja sähköjärjestelmän ohjaimet suunniteltiin toimimaan siten, että hydraulineistettä pumppaava pumppu ja sähkölaitteistoa ohjaava yksikkö toimisi erillisenä liikuteltavana laitteistona. Yksikkö suunniteltiin kärryyn, jota voidaan kuljettaa aina laitetta käyttäessä paikalle. Kärry helpottaa ja yksinkertaistaa laitteistoa, sillä pumppua ei tarvitse asentaa kiinteäksi osaksi

laitteistoa ja se on näin paljon helpompi huoltaa. Kärky myös mahdollistaa sen, että samalla yksiköllä voidaan käyttää montaa valumuottia.



Kuva 13 Hydraulipumppukärky edestä

Kärryn alatasolla on hydrauliasema, joka sisältää hydraulinesesäiliön, pumpun ja ohjainventtiilit.

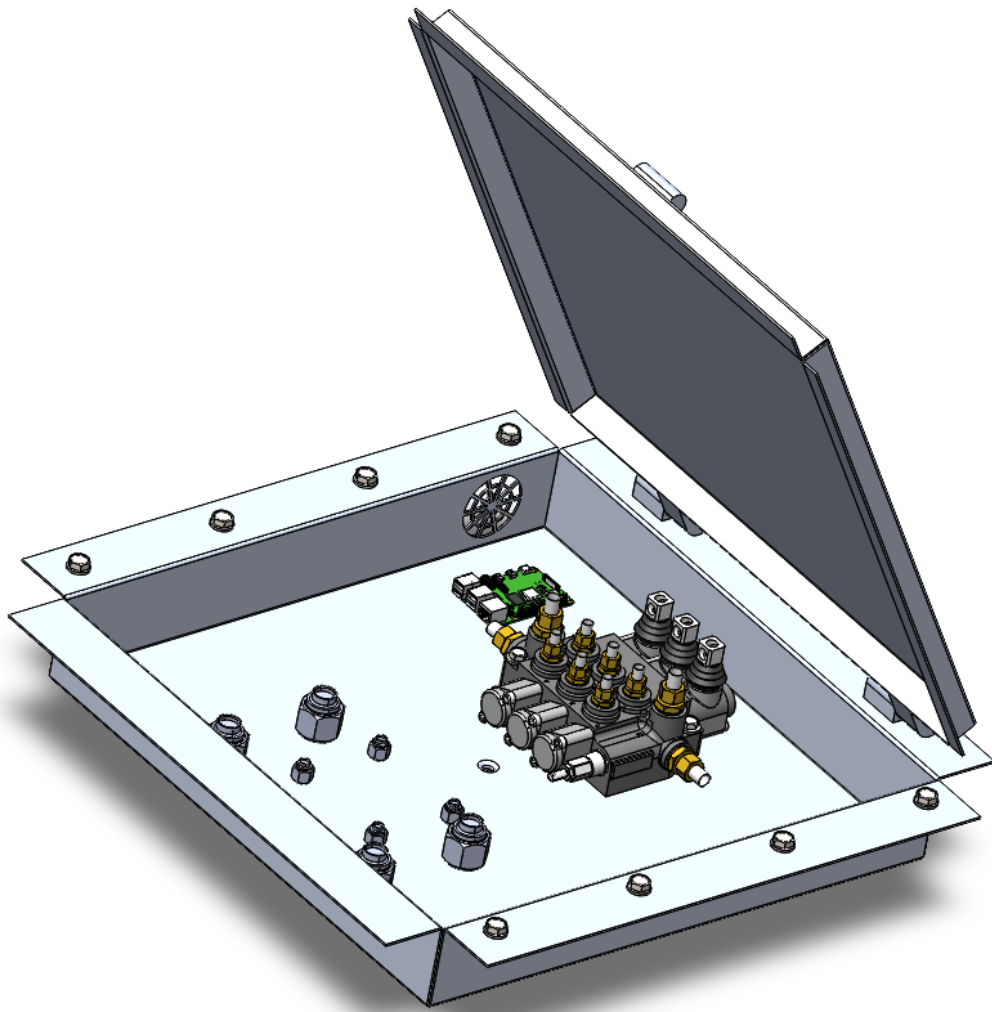


Kuva 14. Hydraulipumppukärryn tasolla helppokäyttöinen tabletti

Laitteistossa on ylemmällä tasolla tabletti, johon on ohjelmoitu käyttöliittymä, jolla käyttäjä voi asettaa valumuotille valamista varten tarvittavat parametrit, jotta oikean kokoinen kylpyhuonemuoduli voidaan valaa. Laitteistoon kytketään vain verkkovirtakaapeli, josta laitteet saavat käyttöjännitteensä. Laitteistossa on tablettia varten muuntajat, jotka muuntavat tarvittavan jännitteen oikean tasoiseksi laitetta varten. Yksikköä käytettäessä kytketään hydrauliletkut ja datakaapeli laitteistoon, jonka jälkeen valumuotin käyttö voidaan aloittaa.

3.3.2 Hydraulii- ja automaatiikomponentit

Hydrauliikkaa ja automaatiota varten suunniteltiin tarvittavia komponentteja, esimerkiksi hydrauliikkaa varten ohjaus- ja paineentasausventtiilit, sekä automaatiota varten PLC (Programmable Logic Controller) tietokone, tarvittavat ohjausreleet yms. Tarvittavat komponentit oli koteloitava turvallisesti ja asianmukaisesti laitteistoon, jotta ne pysyvät suojassa mahdolliselta pölyltä ja muulta lialta, joka vähentäisi merkittävästi niiden käyttöikää.



Kuva 15. Komponenttikotelo, jossa on automaatiikomponentit

Komponentit koteloitiin saranoituun peltikoteloon, joka asennetaan rungon keskikiteeseen ja kiinnitetään pulteilla rungon palkkeihin. Kotelon pohjassa on suorat

hydrauliiletkulähdöt, josta letkut kytketään venttiililtä sylintereille ohjaamaan laitteiston hydrauliikkaa.

4 Automatisointi

Projektin automatisointi suunniteltiin toteutettavaksi hydrauli- ja sähköohjauksella. Sähkökomponentit ohjelmoidaan ohjaamaan hydrauliikkakomponentteja, jotta mahdollistetaan käyttäjäystävällisyys ja helppokäyttöisyys ja minimoidaan mekaanisen työn tarpeet myös hydrauliikkalaitteiston ohjauksessa. Laitteessa on myös jonkin verran mekaanisesti ja manuaalisesti toimivia osia, joita ei järkevästi tai tuotannollisesti tai taloudellisesti ole kannattavaa automatisoida sen ollessa manuaalisesti niin nopeasti ja vaivattomasti tehtävissä. Laite on kuitenkin pääsääntöisesti automatisoitu operoimaan haluttuun muotin kokoon ilman mekaanisen työn tarvetta.

4.1 Hydrauliikka

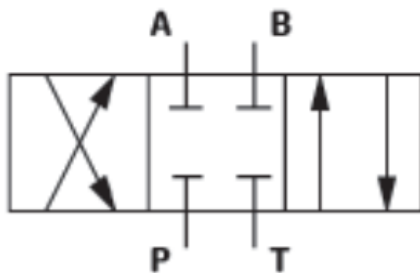
Hydrauliikka on tekninen järjestelmä, jossa nestemäisiä aineita käytetään siirtämään tehoa ja liikettä. Hydrauliikassa voimansiirrossa käytetään usein öljyä tai muita nestemäisiä aineita, ja se perustuu Pascalin lakiin, jonka mukaan paine jakautuu tasaisesti kaikkiin suuntiin astiastossa (5.3 Hydrostaattinen paine). Hydrauliikkaa käytetään laajalti erilaisissa teollisuussovelluksissa, kuten koneiden ja laitteiden liikuttamisessa ja ohjaamisessa ja nostolaitteissa. Hydrauliikka toimii paineensiirron avulla. Paineen alaisena olevaa nestettä ohjataan putkistoissa ja puristetaan erilaisilla pumppu- ja venttiililaitteilla. Hydrauliikka on tehokas tapa siirtää tehoa ja liikettä, koska se ei vaadi mekaanisia välityksiä ja siinä voidaan siirtää suuria tehoja pienillä paineilla.

Hydrauliikan pääosainen voimalähde on hydraulipumppu. Hydraulipumppu toimii sähköän avulla pumpaten hydraulinestettä komponentille. Pumppua pyöritetään sähköisellä moottorilla, joka on mitoitettu pumpun vaatimusten mukaiseksi. Pumpun jälkeen järjestelmässä on paineentasausventtiili, joka huolehtii, että hydraulijärjestelmän nesteen paine pysyy halutunlaisena komponentteja varten.

Ilman paineentasausventtiiliä pumppu vain tuottaisi loputtomasti järjestelmään painetta, joka lopulta rikkoisi komponentit tai letkut ylittäen niiden maksimipaineluokituksen.

Sylintereissä on pysyttävä paine sen jälkeen, kun sylinterit on työnnetty haluttuun mittaan. Tämä mahdollistetaan sähköohjatulla suuntaventtiilillä. Kyseinen venttiili toimii siten, että sähkösyöte avaa tai sulkee nesteen virtauksen. Tämä sallii virtauksen ohjaamisen tiettyyn suuntaan tarpeen mukaan. Venttiilin läpi päästetään nestettä, mutta venttiili ei päästä nestettä enää venttiilistä takaisin eli toisin sanoen säilyttää asetetun paineen.

4/3-luisti



4/3-luisti on yleisin hydraulisissa järjestelmissä käytetty venttiilityyppi. Luistin nimen mukaisesti venttiilissä on 4 eri liitäntäpistettä, 2 tuloa ja 2 lähtöä, sekä 3 eri asentoa. Venttiilillä voidaan ohjata nestettä esimerkiksi kaksitoimisen sylinterin ensi puolelle ja pois toisipuolelta, päinvastoin, sekä käyttää venttiiliä lukkoventtiilinä, joka tällöin lukitsee nesteen virtauksen venttiilillä kokonaan säilyttäen paineen järjestelmässä. (FLUID Finland 2003: 3)

4.2 Hydraulikaavio

Laitteistolle suunniteltiin Automation Studiolla hydraulikaavio, jolla kuvataan laitteiston hydraulijärjestelmän toimintaa. Hydrauliikkaa tullaan ohjaamaan PLC:llä

sähköisten käskyjen avulla. Kaaviolla kuvataan, miten hydraulisia komponentteja ohjataan.

Pumpun tuottama paine ohjautuu punottujen hydrauliletkujen avulla 4/3-venttiileille. 4/3-venttiilit ovat sähköisesti ohjattavia solenoidiventtiilejä, joissa on 3 eri asentoa ja yhteensä 4 eri letkutuloa ja -lähtöä. Letkuliittimistä 2 käytetään tulevalle nesteelle ja paineelle, sekä 2 tuloa käytetään lähtevälle. Venttiilin eri asennot vaikuttavat nesteen ja paineen virtaukseen ja suuntaan. Oletusasento venttiileille on suljettu asento, jolloin hydraulineeste ei pääse venttiilin ohi kumpakaan suuntaan. Venttiilit voidaan ohjata myös päästämään nestettä sylintereille, jolloin sylinterit ohjautuvat ulos - asentoon. Venttiilin letkuliittimistä toinen päästää nestettä sylinterille ja toinen päästää nestettä pois sylinterin toisesta päästä. Venttiilin kolmas asento toimii vastasuuntaisesti, joten sylinteri ohjautuu kiinni - asentoon.

Venttiilit ohjaavat hydraulisyntereitä, jotka ohjaavat fyysisesti keernan toimintaa liikuttamalla seiniä ja kulmia haluttuihin positioihin. Venttiilin lukitusasennolla sylinterit voidaan myös jättää johonkin tiettyyn asentoon luoden mahdollisuuden tarkemmalle seinien ja kulmien muutettavuudelle. Venttiileiden asentoa ohjataan venttiiliin rakennettujen solenoidien avulla, jotka vaihtavat asentoaan sähköisillä signaaleilla.

4.3 Sähköohjaus

Sähköohjaus on tekniikka, jolla sähkömoottoreita ja muita sähkölaitteita voidaan ohjata ja hallita. Se perustuu sähköisiin signaaleihin, jotka lähetetään sähkölaitteen sisälle ja ohjaavat sen toimintaa. Sähköohjaus voidaan toteuttaa sähköisillä impulsseilla tai myös erilaisilla dataväylillä. Dataväylät ovat datamuoto, jossa tietoa liikutetaan montaa eri tietoa ja käskyä vain muutaman johtimen avulla. Erilaisia dataväylätyyppejä ovat esimerkiksi CAN-väylä, RS485 tai RS232, jotka kukin palvelevat eri tarkoitusta ja toimivat eri periaatteilla. Tässä työssä sähköohjausta käytetään hyödyksi paineen hallinnassa

hydraulijärjestelmän sisällä, tukipalkkien jäykistämiseen, sekä ulkoseinien palkkien ohjaamiseen. (Salminen 2017.)

4.4 Ohjelmointi

Ohjelmointi on prosessi, jossa luodaan laitteelle ohjelmia. Ohjelmat taas ovat eräänlaisia käskyjä, jotka kertovat laitteelle, kuinka sen tulee käyttäytyä tilanteen mukaan. Ohjelmointi rakennetaan ohjelmakielellä, joita ovat esimerkiksi C++, Java ja Python. Ohjelmoinnin tarkoitus on vähentää manuaalista työtä eli ohjelmoinnin avulla voidaan parantaa tehokkuutta ja tuottavuutta. Tämän laitteen pääasiallinen ohjelmointikieli on Python, jolla voidaan rakentaa käskyjoukko, jotka ohjaavat muun muassa laitteen sähkömoottoreita ja hydraulisylin-tereitä. (Kamel & Kamel: 2014 9–15.)

Ohjelmakoodi 1. Python-ohjelma, joka siirtää ulkoseinät haluttuihin mittoihin.

```

import RPi.GPIO as GPIO
import time

#Aseta GPIO-moodi
GPIO.setmode(GPIO.BCM)

#Aseta GPIO-pinnit moottoreille ja magneeteille
y_motor_pin = 17
y2_motor_pin = 18
x_motor_pin = 19
x2_motor_pin = 20
y_magnet_pin = 21
y2_magnet_pin = 22
x_magnet_pin = 23
x2_magnet_pin = 24

#Aseta GPIO-pinnit lähdöiksi
GPIO.setup(y_motor_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(y2_motor_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(x_motor_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(x2_motor_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(y_magnet_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(y2_magnet_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(x_magnet_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(x2_magnet_pin, GPIO.OUT)

#Määritä vakiot moottorin nopeudelle ja suunnalle
DIR = 1 # Aseta 1 myötä- ja -1 vastapäivään
STEP_MODE = (14, 15, 18) # Mikroaskeleen tarkkuus
FULL_STEP = (25, 24, 23) # Täysaskeleen tarkkuus

#Määritä vakiot moottorin nopeudelle ja kierrosten määrälle
RPM = 10 # Moottorin nopeus RPM
TURN = 100 # Askeleita kierrosta kohden

def siirrä_akseli(sijainti, aika, magneetti_pin, motor_pin):
    # Sammuta magneetti
    GPIO.output(magneetti_pin, False)
    # Siirrä moottori haluttuun sijaintiin
    GPIO.output(motor_pin, True)
    time.sleep(aika)
    GPIO.output(motor_pin, False)
    # Käynnistä magneetti
    GPIO.output(magneetti_pin, True)

def siirrä_y_akseleita(y, y2):
    y_time = y / (RPM * TURN)
    y2_time = y2 / (RPM * TURN)
    siirrä_akseli("y", y_time, y_magnet_pin, y_motor_pin)
    siirrä_akseli("y2", y2_time, y2_magnet_pin, y2_motor_pin)

def siirrä_x_akseleita(x, x2):
    x_time = x / (RPM * TURN)
    x2_time = x2 / (RPM * TURN)
    siirrä_akseli("x", x_time, x_magnet_pin, x_motor_pin)
    siirrä_akseli("x2", x2_time, x2_magnet_pin, x2_motor_pin)

while true:
    y = int(input("Syötä y:n arvo (2000-3000): "))
    if y < 2000 or y > 3000:

```

```

        print("Virhe: y:n arvon tulee olla 2000 ja 3000 välillä")
        continue
y2 = int(input("Syötä y2:n arvo (2000-3000): "))
if y2 < 2000 or y2 > 3000:
    print("Virhe: y2:n arvon tulee olla 2000 ja 3000 välillä")
    continue
# Kysy käyttäjältä x ja x2 arvot
x = int(input("Syötä x:n arvo (2400-2900): "))
if x < 2400 or x > 2900:
    print("Virhe: x:n arvon tulee olla 2400 ja 2900 välillä")
    continue
x2 = int(input("Syötä x2:n arvo (2400-2900): "))
if x2 < 2400 or x2 > 2900:
    print("Virhe: x2:n arvon tulee olla 2400 ja 2900 välillä")
    continue

siirrä_y_akseleita(y, y2)
siirrä_x_akseleita(x, x2)

```

Koodi asettaa 8 GPIO-pinniä ulostuloiksi ja asettaa kaksi vakiotekijää moottorin nopeudelle ja suunnan kääntymiselle. Sitten koodi määrittelee kaksi funktiota, jotka siirtävät moottoreita tiettyyn asemaan. Ensiksi se kysyy molempien ulko-seinien eli y - akselin moottorin siirtymää, joka kuvaa pitkittäisten IPE - palkkien mukaista siirtymää ja toiseksi x - akseleita, joka liikuttaa IPE-palkkeja, jotka ovat pitkittäisten IPE-palkkien päällä. Lopuksi koodiin on kirjoitettu toistorakenne (while - silmukka), joka toistaa käyttäjältä kysymystä x- ja y-akselien halua-maa siirtymää ja siirtää käyttäjän jälkeisen syötön jälkeen moottorit annettuihin positioihin.

5 Lujuuslaskelmat

5.1 Lujuusopin käsitteet

Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan lujuusopin käsitteitä sekä niihin liittyviä lakeja. Näitä käytetään hyödyksi otettaessa selvää rakenteen käyttäytymisestä kuormituksen alla ja näin ollen suunniteltujen rakenteiden kestävyysvarmistamiseen ja optimointiin.

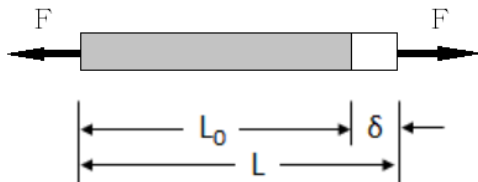
5.2 Normaalijännitys ja venymä

Kappaleeseen kohdistuessa voimaa, se kehittää sekä venymää että jännitystä voiman seurauksena. Yleisesti rakenneterästä voidaan verrata jousen toimintaan; jännittämällä jousi venyy ja palautuu jännityksen poistuttua takaisin alkuperäiseen muotoonsa, ja liian suuri jännitys jättää pysyvän venymän. Normaalijännitys on kappaleen kantama voima jaettuna pinta-alalla ja sen yleisenä yksikönä käytetään SI-järjestelmässä N/mm^2 (MPa). (EN 1992-1-1 33)

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (1)$$

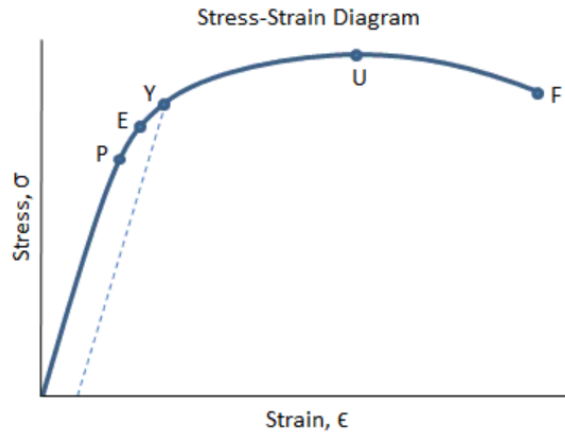
Suhteellinen pituuden muutos eli venymä taas on jännityksen suhde alkuperäiseen osan pituuteen (Shigley & Mischke 2001: 102).

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\delta}{L_0} \quad (2)$$



Kuva 16. Havainnollistava sauvan pituuden muutos (Aalto 2012: 1-2)

Seuraavaksi tarkastellaan jännityksen σ ja venymän ε yhteyttä, jota voidaan kuvata seuraavanlaisella kuvaajalla, missä kuvataan rakenneterästä jännityksessä.



Kuva 17. Tyypillinen jännitysvenymä käyrä, $\sigma\epsilon$ -käyrä, missä

- P: Suhteellisuusraja σ_p , joka edustaa maksimiarvoa jännitykselle σ , johon asti jännitysvenymä käyrä on lineaarinen.
- E: Elastinen raja tai kimmoraja σ_E , joka edustaa maksimiarvoa jännitykselle σ , jossa ei ole kappaleelle pysyvää asetusta. Vaikka käyrä ei ole lineaarinen suhteellisuusrajan σ_p ja elastisen rajan σ_E välillä, materiaali on edelleen elastinen tällä alueella ja jos kuorma poistetaan tämän pisteen tai sen alapuolella, kappale palautuu alkuperäiseen muotoonsa.
- Y: Myötöraja R_e , joka edustaa jännityksen σ arvoa, jolla jännitys σ alkaa kasvaa nopeasti ja kappale alkaa antamaan myöten. Kappale ei tämän pisteen jälkeen palaudu enää alkuperäiseen muotoonsa.
- U: Piste vastaa murtorajaa tai murtolujuutta R_m , joka on maksimiarvo jännitysvenymä käyrällä.
- F: Murtumispiste, jossa materiaali hajoaa ja jakautuu kahteen osaan.

On huomattava, että $\sigma\epsilon$ -käyrä on materiaalikohtainen, mutta jokaiselta materiaalilta löytyy edelliset esitetyt ominaisuudet. Tässä insinööriyössä keskitytään vain rakenneterästen $\sigma\epsilon$ -käyrään. (EN 1992-1-1. 34–41.)

5.3 Hydrostaattinen paine

Hydrostaattinen paine tarkoittaa nestemäisen aineen aiheuttamaa painetta. Se perustuu Pascalin lakiin, jonka mukaan paine jakautuu tasaisesti kaikkiin suuntiin astiassa. Hydrostaattinen paine muodostuu, koska nesteessä vallitseva painovoima pyrkii tasautumaan. Tässä insinööriyössä hydrostaattisen paineen huomioonottaminen on yksi olennainen osa laitteen seinien mitoituksessa ja sitä kautta turvallisuuden, kestävyuden sekä vastavoimien laskemiseen. On myös tärkeää huomata, että nesteen kokonaistilavuus tai kokonaismassa ei koske hydrostaattista painetta vaan nestepatsaan korkeus määrittää hydrostaattisen paineen. (RT 83-11032. 1–2.)

Muottiin on tarkoitus kaataa nestemäinen betoni yhtäjaksoisesti, joten betoni ei ehdi jähmettyä huomattavasti valuvaiheessa. Tämä on otettava huomioon, koska silloin hydrostaattinen paine kasvaa huomattavasti verrattuna siihen, jos betoni kaadettaisiin jaksoissa. Jaksottainen valun kaataminen vähentäisi hydrostaattista painetta muotin pohjalla, koska alemmat betonikerrokset alkavat jähmettyä, eli neste ei luo enää niin suurta painetta ympärillä oleviin seiniin. Negatiivista tämän kaltaisessa valussa on sen hitaus, joka eliminoidaan tässä työssä mitoittamalla seinät niin vahvoiksi, että yhtäjaksoinen valun kaataminen on mahdollista.

5.3.1 Hydrostaattisen paineen laskeminen

Hydrostaattinen paine lasketaan peruskaavalla (Halko 1998: 76.)

$$P = \rho * g * h = Pa \left[\frac{N}{m^2} \right], \text{ jossa} \quad (3)$$

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

$$g = \text{putoamiskiihtyvyys, } 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right],$$

$h = \text{nesteen korkeus, [m], joten}$

$$P = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2,8 \text{ m} = 68\,670 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (4)$$

Tämä on teoriassa suurin mahdollinen paine, minkä nestemäinen betoni synnyttää 2.8 metrin syvyydessä.

5.3.2 Teoreettinen tilavuus

Moduulin teoreettinen tilavuus lasketaan, koska näin saadaan tietää, miten korkeaksi nestemäinen betonipatsas nousee tunnissa. Tilavuus lasketaan pienimmällä mahdollisella valumuotin koolla, koska silloin moduulin kuutiomäärä on pienin mahdollinen ja vastaukseksi tulee suurin mahdollinen betonin nousunopeus.

Betonin valunopeudeksi valitaan $3\text{m}^3/h$. Nousunopeus lasketaan seinien tilavuuden ja valunopeuden suhteesta.

Suurin mahdollinen teoreettinen tilavuus tyhjällä muotilla. Tilavuus lasketaan laskukaavalla

$$\text{kanta} * \text{korkeus} * \text{syvyys} \quad (5)$$

$$((x * y * z) * 2) + ((x_2 * y_2 * z_2) * 2) + (x_3 * y_3 * z_3) \quad (6)$$

$$((2.4\text{m} * 2.9\text{m} * 0.08\text{m}) * 2) + ((2.56\text{m} * 2.9\text{m} * 0.08\text{m}) * 2) + (2.56\text{m} * 3.06\text{m} * 0.3\text{m}) = 4.651\text{m}^3 \quad (7)$$

Moduulin seinät jaetaan neljään eri kuution, jossa seinän mitat ovat

Taulukko 1. Muotilla moduuliin muodostuvien seinien mitat.

Seinien mitat	Lyhyt seinä	Pitkä seinä
kanta	2 m	2.56 m
korkeus	2.5 m	2.5 m
syvyys	0.08 m	0.08 m

Taulukon 1. mukaan voidaan laskea moduuliseinien kokonaistilavuus

$$((2m * 2.5m * 0.08m) * 2) + ((2.56m * 2.5m * 0.08m) * 2) = 1.824m^3 \quad (8)$$

Muotti jatkuu lattiavaluun, jonka tilavuus on

$$2.56m * 2.16m * 0.3m = 1.659m^3. \quad (9)$$

Tätä tarvitaan rungon kestävyuden laskemiseen. Lasketaan kuutiomäärä siihen asti, kunnes valu tavoittaa $3m^3$.

$$3m^3 - 1.824m^3 = 1.176m^3 \quad (10)$$

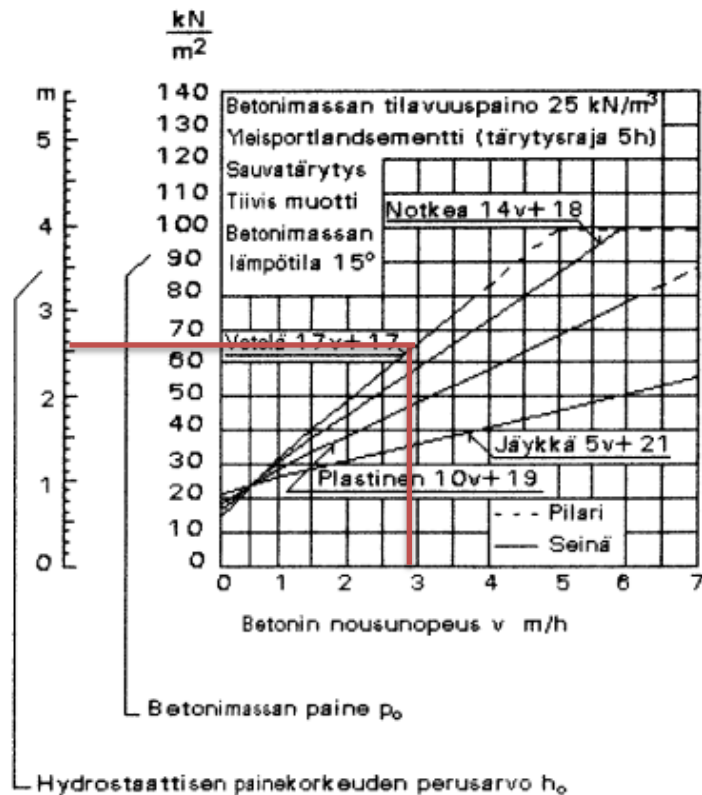
Tämä on jäljelle jäävä kuutiomäärä, jonka avulla lasketaan kuinka paljon keerran yläpinnan jälkeen valu nousee metreissä, kunnes saavutetaan $3m^3$.

$$2.56m * 2.16m * x = 1.176m^3 = x = 0.213 m \quad (11)$$

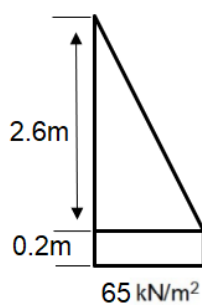
Näin ollen voidaan laskea betonin nousunopeus $\frac{m}{h}$, joka on

$$0.213m + 2.5m = 2.713m, \quad (12)$$

luetaan nousunopeuden avulla painekorkeuden perusarvo h_0 .



Kuva 18. Betonimassan aiheuttama valupaineen perusarvo P_0 ja vastaava hydrostaattinen painekorkeus h_0 valun nousunopeuden ja notkeuden funktiona DIN 18218 standardin mukaan. (Haara 2018: 246.)



Kuva 19. Todellinen hydrostaattisen paineen kuvaaja kuvan 18. mukaan (Haara 2018: 246)

Laskun mukaan voidaan todeta, että tasaisesti kaadettavan S4 betonin $3 \text{ m}^3/\text{h}$ valunopeudella todellinen hydrostaattinen paine on lineaarisesti nouseva 2.6

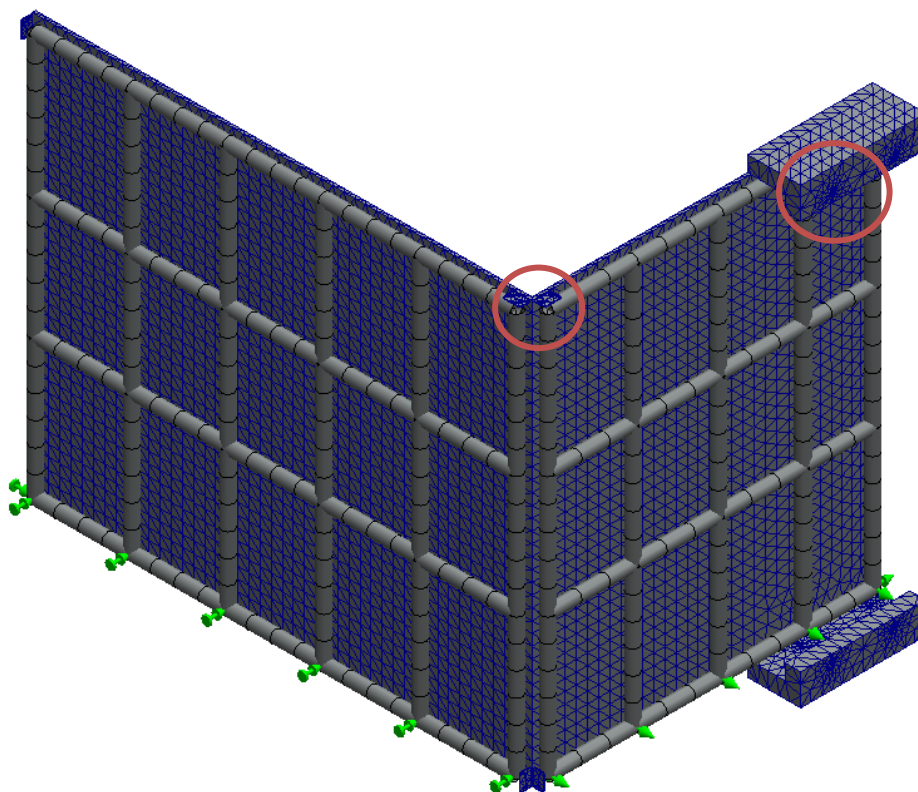
metriin saakka, jonka jälkeen paine pysyy noin 65 kN/m^2 . Tämä tapahtuu siksi, koska pohjalla oleva betoni alkaa jähmettyään ajan kuluessa, eli hydrostaattisen paineen vaikutus seinään vähenee.

5.4 FEM-analyysi

Laitteen rakenteiden lujuustarkastelu on tehty SolidWorks-ohjelman FEM-laskentatyökalulla (Finite Element Method). Työkalun avulla pystyy laskemaan komplekseja 3D-malliin kohdistuvia voimia sekä analysoida kappaleeseen vaikuttavien voimien tuloksen 3D-maailmassa. Työkalun ollessa integroitu työssä käytettyyn suunnitteluohjelmaan, voidaan jo suunnitteluvaiheessa tarkastella kappaleiden kestävyys ja optimoida tai muuttaa kappaleiden rakennetta sopivammaksi.

Seuraaviin FEM-analyyseihin on ensiksi tutkittu kappaleeseen tai kokonaisuuteen kohdistuvat kuormitukset sekä niiden kuormitusten suunnat ja lopuksi laskettu käsin voimien suuruudet. Kappaleille on myös määritetty reunaehdot eli miten se on kiinnitetty kokonaisuuteen, jonka jälkeen kappale jaetaan elementteihin.

Nämä elementit muodostavat elementtijoukon, jota kutsutaan elementtiverkoksi. Elementtiverkkoon muodostuu näin ollen risteymiä, joita kutsutaan solmuiksi. Elementin geometria riippuu kappaleen geometriasta, sekä siitä kuinka tarkkaa laskentaa halutaan suorittaa. On siis tärkeää ottaa huomioon kappaleen geometria jo suunnitteluvaiheessa, jotta luodulla kappaleen geometrialla voidaan toteuttaa laskelmallisesti tehokas elementtiverkko. Elementtiverkko on joukko vektoreita, jotka lasketaan käyttäen jäykkyyismatriisia. Jäykkyyismatriisi on riippuvainen muun muassa kappaleen geometriasta sekä materiaalivalinnasta, jolla saadaan reunaehtojen kanssa yhtälöiden kokonaisuus. Elementtiverkosta muodostuvien yhtälöiden määrä on niin korkea, että tietokoneen käyttö on ehdottomasti tarpeellista. (Hietikko 2014: 170–173.)



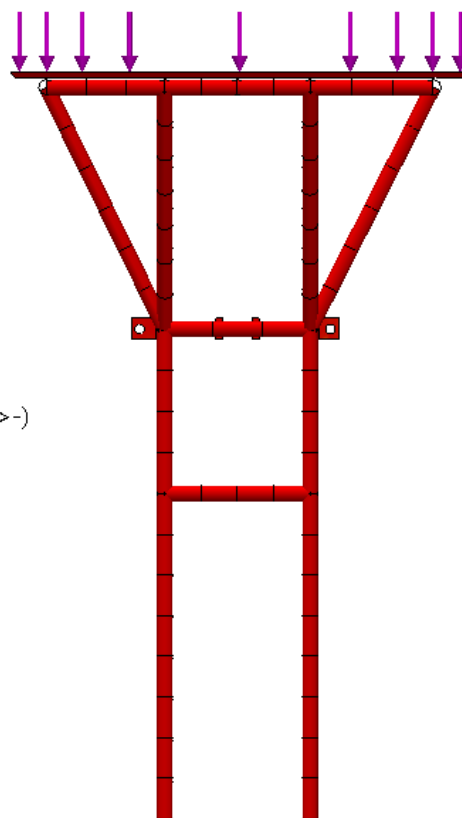
Kuva 20. Esimerkki elementtiverkko ulkoseinän takapuolelta sekä epäoleelliset elementtiverkon osat

Kappaleen tarkkaan geometriaan suoraan tehty elementtiverkko saattaa luoda epäoleellisia yksityiskohtia, jotka muokataan pois ja tilalle jää tarkoituksenmukainen riittävän tarkka likiratkaisu. (Kuva 20. Punaiset ympyrät.)

Näiden tietojen mukaan seuraavien lujuuslaskelmien pohjalla on matemaattinen perusta, jotka on ratkaistu FEM-analyysillä. Jokaiselle kappaleelle tai kokonaisuudelle on tehty sopiva elementtiverkkoratkaisu, mihin FEM-analyysien loppuratkaisut pohjautuvat.

5.5 Rungon rakenne

Model name: Katto_6
 Study name: Katon_kuormitus(-Default<As Machined>-)
 Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1
 Criterion : Automatic
 Factor of safety distribution: Min FOS = 37



Kuva 21. Rungon varmuuskerroin laskettu FEM-analyysillä

Keernan rungon rakenteen kestävyys valun painon alla on laskettu FEM-analyysillä, joka laskee rakenteen varmuuskertoimen ja onko rakenne turvallinen. Nuolet rakenteen päällä kuvaavat kuormitusta, joka rakenteeseen vaikuttaa. (15) Rakenne teoreettisen hetkellisen maksimaalisen voiman alla on varmuuskertoimeltaan 37. Runko itsessään on hieman ylimitoitettu kestävyydeltään, koska sen kestävyden varassa on keernan mekanismi ja rakenne. Reaalitilanteessa varmuuskerroin olisi kylpyhuonemuodulin valussa tarpeettoman suuri ja ei täysin vastaa laskettua teoreettista varmuuskerrointa, koska lattiavalun tilavuuteen ei olla huomioitu muun muassa viemäröintiä, sekä lattian kaatoa. Näitä ei kannata käytännöllisesti ottaa huomioon lujuuslaskelmissa, koska ne ovat tilannekohtaisia. Runko on ylimitoitettu, joten laitetta voidaan käyttää muuhunkin hyötykäyttöön, kuten esimerkiksi rakenteiltansa korkeampaan hissikuilumoduulin valamiseen.

Rakenteeseen kohdistuva kuormitus on laskettu seuraavanlaisesti:

$$F = mA \text{ eli Newton II laki} \quad (13)$$

$$2.56m * 2.16m * 0.3m = 1.659m^3 \text{ lattiavalun tilavuus}$$

$$2.96m * 2.56m * 0.3m = 2.273m^3$$

suurin mahdollinen lattiavalun tilavuus, kun muotti ajetaan parametreihin

$$\left(1.659m^3 * 2500 \frac{kg}{m^3}\right) * 9.81 \frac{m}{s^2} = 40\,686,975\,N \quad (14)$$

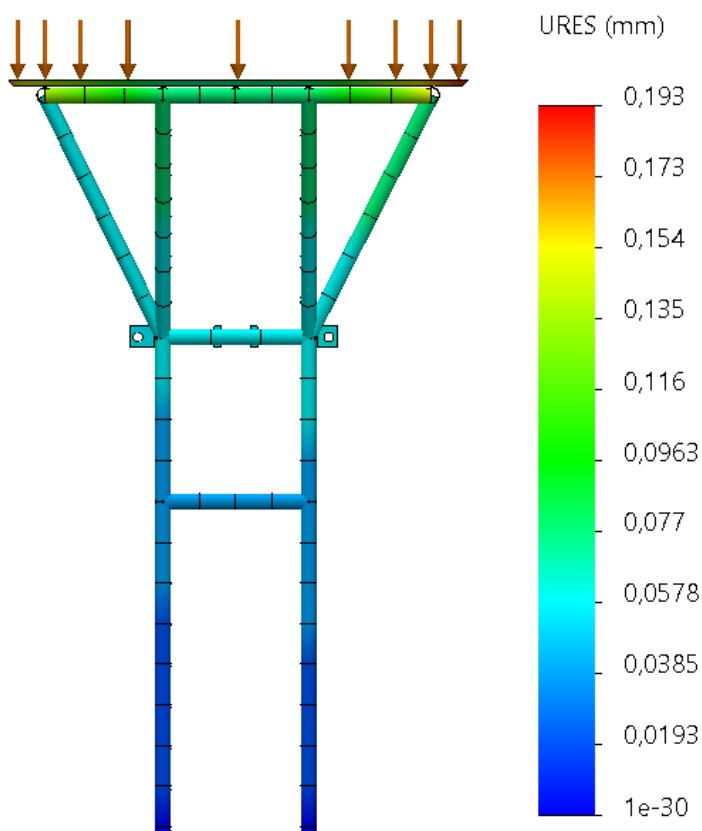
voima, joka kohdistuu runkoon muotin ollessa pienin mahdollinen

Tämä voima kohdistuu rungon yläosaan, joka on jaettu tasaisesti koko rungon katolle. Valumuotin kuitenkin ollessa kokoa muuttava, on laskettava runkoon kohdistuva voima suurimmalla mahdollisella valumuotin koolla.

$$2.96m * 2.56m * 0.3m = 2.273m^3 \text{ lattiavalun tilavuus}$$

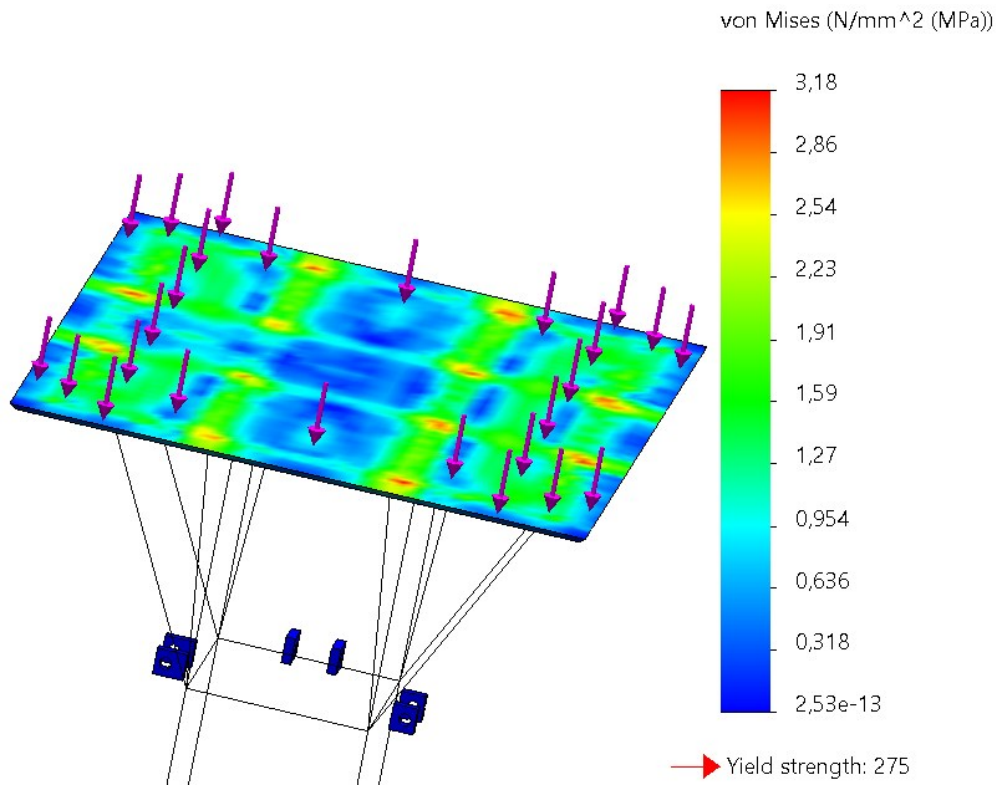
$$\left(2.273m^3 * 2500 \frac{kg}{m^3}\right) * 9.81 \frac{m}{s^2} = 55\,745,325\,N \quad (15)$$

voima, joka kohdistuu runkoon muotin ollessa suurin mahdollinen



Kuva 22. Rungon maksimaalinen poikkeama millimetreissä

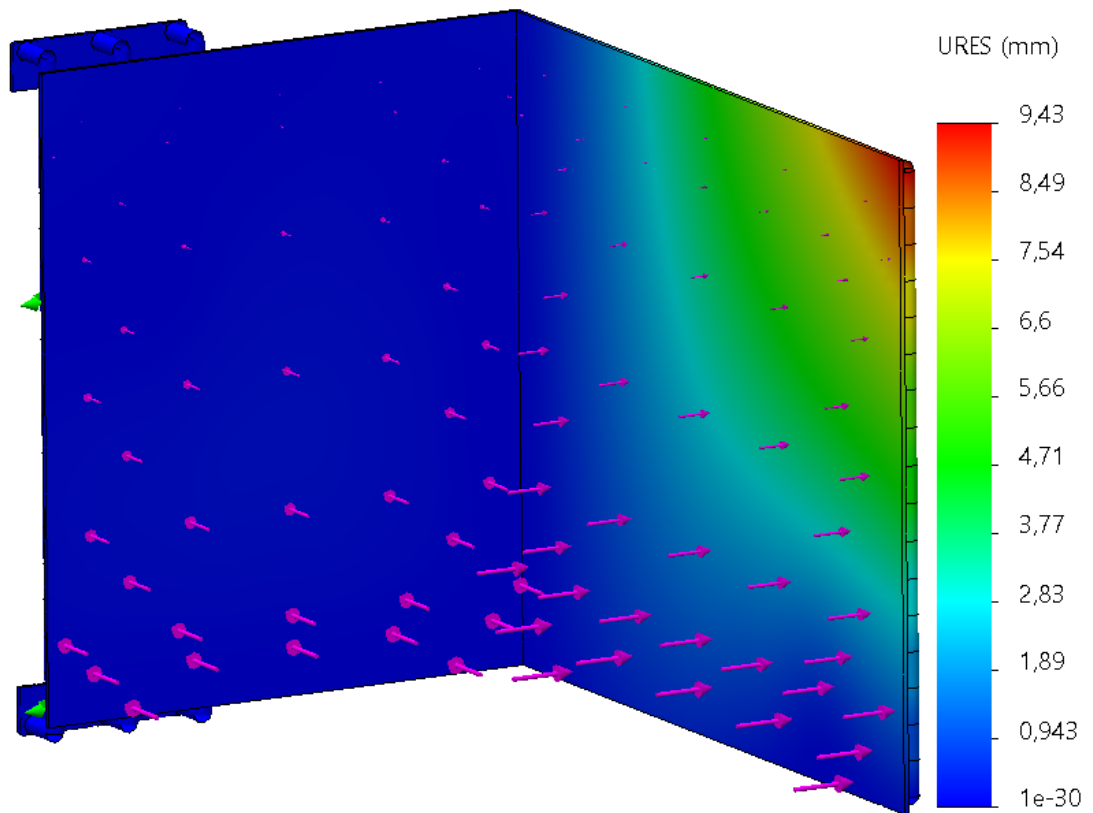
Rungon katto jännityksen seurauksena venyy hetkellisesti kuormituksen alla noin $0,2 \text{ mm}$ voiman suuntaan, mikä ei käytännössä haittaa valutyön toimintaa tai aiheuta rakenteeseen pysyvää muutosta. (ks. 5.2, Kuva 17.)



Kuva 23. Von Misesin lujuushypoteesi katolle

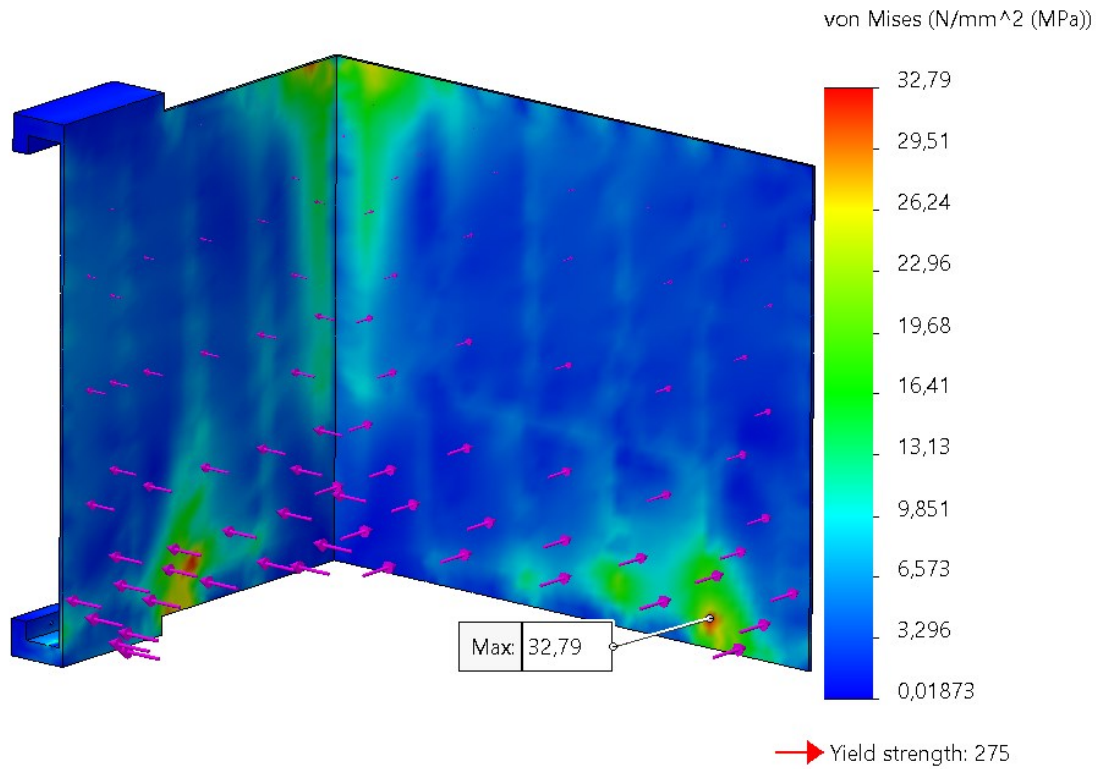
Katon materiaaliksi on valittu yleinen S355-rakenneteräs, jonka myötölujuudeksi on laskettu 275 MPa. Kattoon kohdistuva maksimaalinen 3,2 MPa jännitys betonin massan 56 kN alla (15) pysyy huomattavasti myötörajan R_E 275 MPa alapuolella, joten kattoon ei tule pysyviä muutoksia kuormituksessa. Von Misesin lujuushypoteesia käytetään yleisesti materiaalin muodonmuutoskestävyyttä arvioidessa.

5.6 Ulkoseinän rakenne



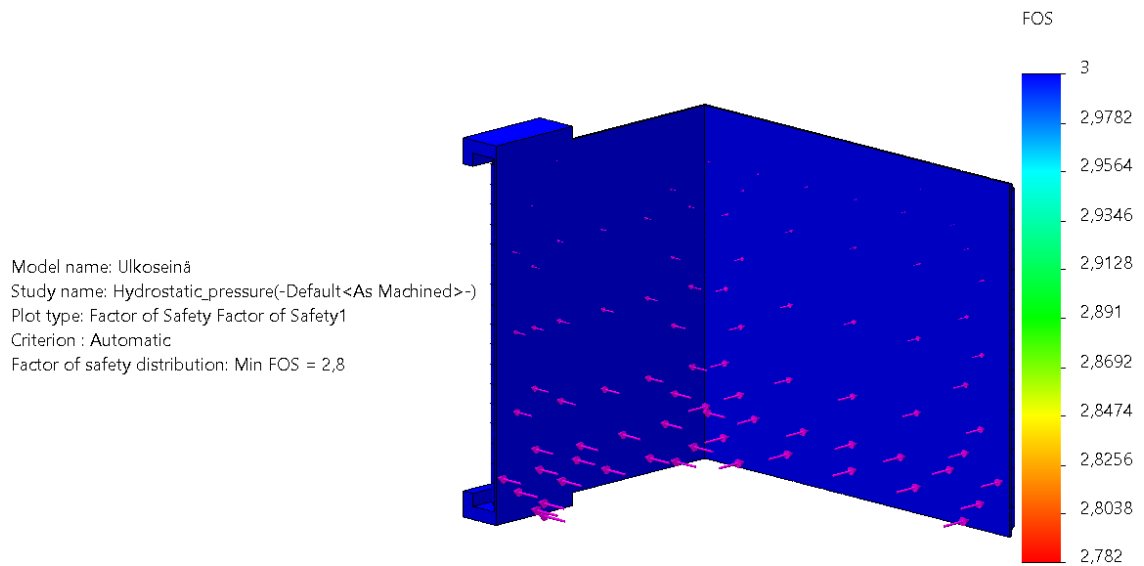
Kuva 24. Ulkoseinään syntyvä siirtymä

Kuvassa näkyy noin 10 mm siirtymä yläkulmassa voiman seurauksena, joka jäykistyy, kun ulkoseinän takapuolelle asennetaan hoitotaso. Hoitotasolta myös asetetaan ennen valuvaihetta lukitusmekanismi, joka lukitsee molemmat ulkoseinät yläpäästä yhteen (Kuva 7.). Näin ulkoseinät yhdessä muodostavat neliön, jonka kaikki kulmat ovat kiinteitä ja toisiinsa nähden, eikä koneeseen jää niin sanottuja roikkuvia kulmia, jotka näkyisivät voiman seurauksesta.



Kuva 25. Von Misesin lujuushypoteesi

Ulkoseinän materiaaliksi on valittu yleinen S355-rakenneteräs, jonka myötölujuudeksi on laskettu 275 MPa . Seinään kohdistuva maksimaalinen 33 MPa jännitys hydrostaattisen paineen $69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ alla (4) pysyy huomattavasti myötörajan R_E 275 MPa alapuolella (Kuva 17).



Kuva 26. Ulkoseinän varmuuskerroin hydrostaattisen paineen alla

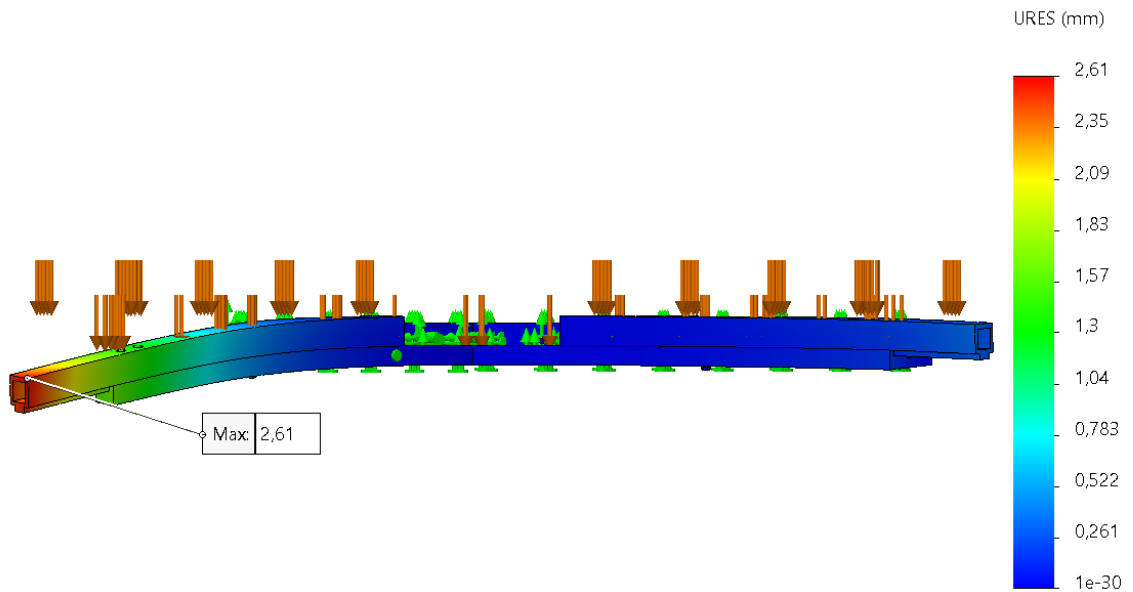
Kuvassa näkyvät kasvavat nuolet kuvaavat hydrostaattisen paineen suuntaa ja suuruutta, jotka on ratkaistu matemaattisesti SolidWorksin FEM-menetelmällä. Nuolten suureneminen mentäessä seinää alaspäin kuvaa luontaisesti paineen kasvamista.

5.7 Alakehän kestävyys

Alakehän kestävyys tulee laskea suurimman valumuotin parametrien mukaan, jolloin määrän betonin paino on suurimmillaan. Alakehälle suurin teoreettinen kohdistuva massa on

$$m = \rho V \quad (\text{Peda.net}) \quad (16)$$

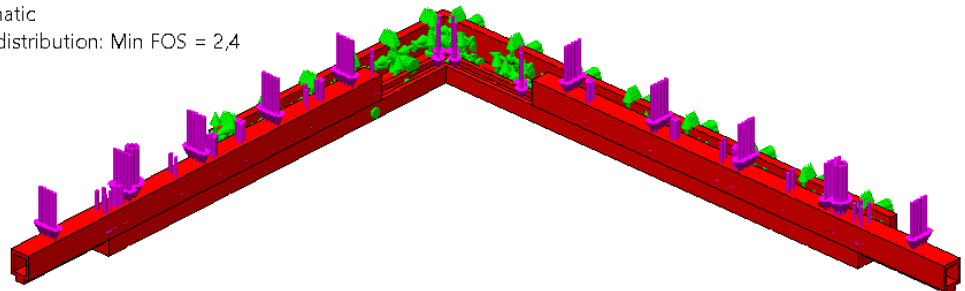
$$m = 4.651 \text{ m}^3 * \frac{2500 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 11628.8 \text{ kg} \quad (17)$$



Kuva 27. Alakehän palkin maksimaalinen siirtymä massan alla

Kuvan mukaan voidaan olettaa, että siirtymä on liian suuri, joka korjataan hitaamalla palkin sisään 20 mm teräslevy, joka poistaa palkin siirtymän. Vihreät nuolet ovat alakehän kiinnityspisteitä kokoonpanossa, joka on yksi reunaehto onnistuneelle FEM-analyysille. Ilman kiinnityspisteiden todentamista kappaleelle, kappale olettaisi olevan avaruudessa, eikä siirtymää voisi laskea kyseisellä tavalla.

Model name: Alakehä_asmbly
 Study name: Alakehään_kohdistuva_paino(-Default-)
 Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1
 Criterion : Automatic
 Factor of safety distribution: Min FOS = 2,4

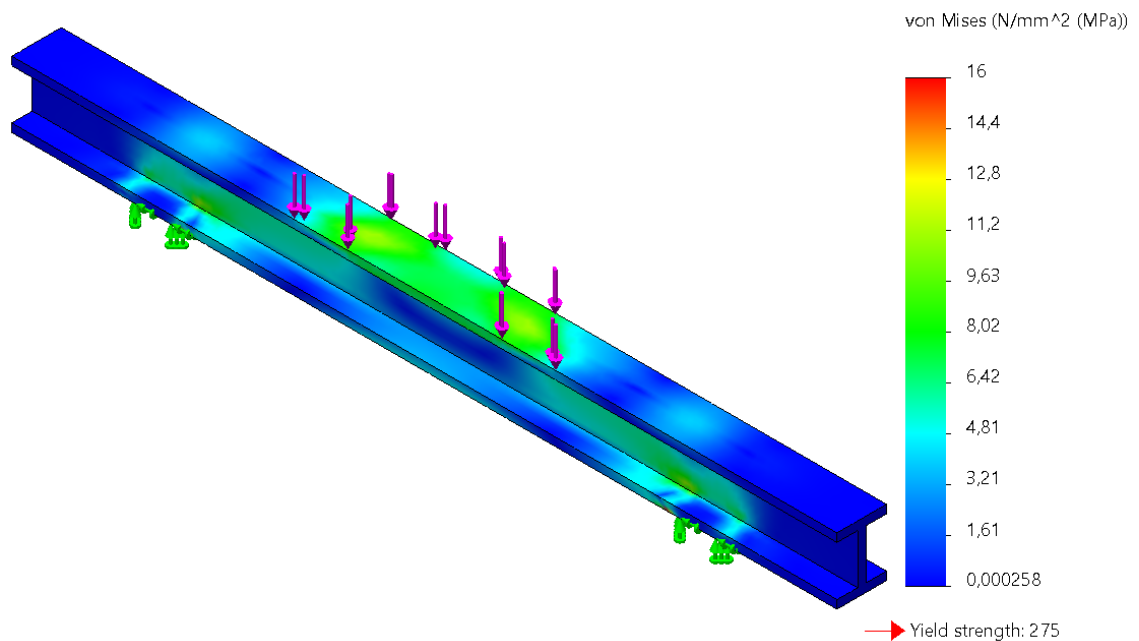


Kuva 28. Alakehän varmuuskerroin

5.8 IPE-palkin kestävyys

$$811kg + 256kg + 3813kg + 4880kg + \left(\frac{11628kg}{2}\right) + 200kg = 11\,000kg \quad (18)$$

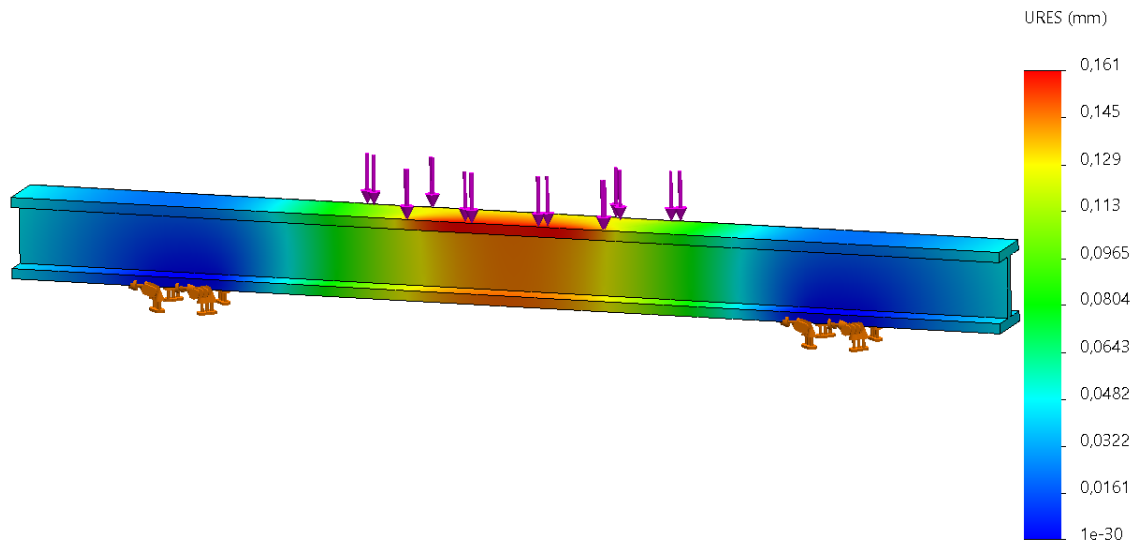
Palkille tuleva kuormitus on laskettu yhteenlaskulla ottaen kaikki komponentit huomioon, jotka IPE-palkin on kannettava. Maksimaalinen kuormitus palkille määräytyy siten, että laite ensiksi ajetaan parametrien mukaan suurimpaan mahdolliseen kokoon ja sen mukaan lasketaan betonin tilavuuden ja tiheyden kautta moduulin paino, johon lisätään kokoonpanon osat, jotka ovat IPE-palkin varassa. (17)



Kuva 29. von Misesin lujuushypoteesi poikittaiselle IPE-palkille

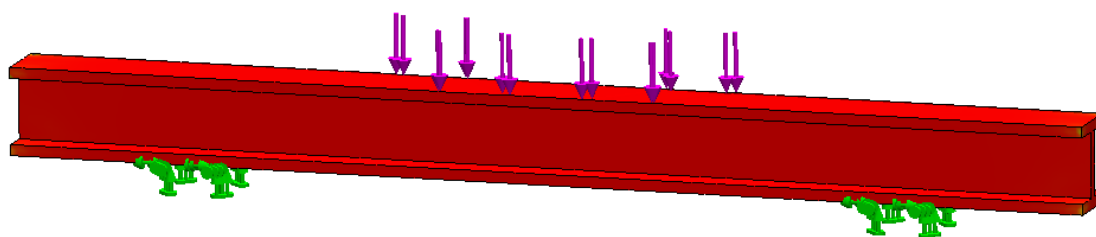
IPE-palkin kestävyys lasketaan koko laitteen massan summan avulla, sekä on tärkeä huomata, että kestävyys lasketaan laitteen ollessa suurimmassa

mahdollisessa koossa. Tämä tehdään siksi, koska betonin massa kasvaa huomattavasti laitteen koon muuttuessa.



Kuva 30. IPE-palkin siirtymä kuormituksen alla

IPE-palkki on suunniteltu antamaan mahdollisimman vähän venymää, jotta mitoitus moduulille on käytännön käytössä tarkka. Violettien nuolien tilalle voi kuvitella laitteen yhden puolen ulkoseinän, hoitotason, kaksi henkilöä, sekä teoreettisesti puolet betonimassasta. Liiallinen venymä saattaisi tehdä valumoduulin seinistä epätarkkoja, joten optimaalisen ja pienen ylimitoittamisen välillä on tehtävä kompromissi.



Model name: Palkki poikittainen
 Study name: Palkki(-Default-)
 Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1
 Criterion : Automatic
 Factor of safety distribution: Min FOS = 17

Kuva 31. Varmuuskerroin IPE-palkille kuormituksen alla

Varmuuskerroin poikittaiselle IPE-palkille, joka lepää pitkittäisten IPE-palkkien päällä on 17. IPE-palkin täytyy olla hieman ylimitoitettu, jotta siihen kohdistuva 11 000 kg kuormitus tekee jännityksen alla mahdollisimman vähän venymää.

5.9 Materiaalivalinnat

Materiaalivalinnalla viitataan sopivimman materiaalin valintaan kutakin tiettyä käyttötarkoitusta tai sovellusta varten. Valinnassa on huomioitava moni tekijä, kuten valittavan materiaalin tarvittavat ominaisuudet, kustannukset, saatavuus ja ympäristövaikutukset. On tärkeää valita materiaali, joka vastaa toivottuja tarpeita palvelemaan toivottua tarkoitusta minimoiden kustannukset kuitenkin varmistuen riittävän lujuuden. Muitakin huomioonotettavia ominaisuuksia riippuen käyttökohteen tarpeista ovat myös materiaalin kovuus, paino, joustavuus ja lämmön vaikutukset. Valinta on tärkeä osa monia teknisiä sovelluksia kaikissa aloissa, esimerkiksi rakennustekniikassa, valmistuksessa ja teollisessa suunnittelussa. Oikealla materiaalissa voidaan merkittävästi vaikuttaa tuotteen kestävyteen, turvallisuuteen, suorituskykyyn ja käyttöikään. (Björk ym. 2014: 73–90.)

6 Yhteenveto

Insinööriyössä asetetut tavoitteet saatiin saavutettua ja lopullinen kokoonpano oli halutunlainen. Työn lähtökohtana oli vain näkemys mahdollisesta laitteistosta ja sen mahdollisesta toimintaperiaatteesta, jota lähdettiin karkeasti aluksi paperilla suunnittelemaan. Laitteisto oli tarkoitus luoda jokapäiväiseen käyttöön nopeuttamaan ja helpottamaan kylpyhuonemoduulien valamisprosessia ja laitteisto suunniteltiin mahdollisimman yksinkertaiseksi samalla sen kuitenkin palvelevan tarkoitustaan.

Modello Nordic Oy tulee saamaan suunnitelmat ja salatut osiot omistukseensa ja aikoo lähteä rakentamaan laitteistoa suunnitelmien avulla. Laitteisto tulee väkisinkin olemaan jo materiaalien puolesta todella hintava, mutta pitkässä juoksussa laitteen käytännössä toimiessa se tulee tuomaan yritykselle todella suuret taloudelliset ja tuotannolliset hyödyt. Automaattinen valumuotti tulee nopeuttamaan kylpyhuonemoduulien valmistusta merkittävästi, joka mahdollistaa yhä useamman moduulin valmistukset pienemmässä ajassa vastaamaan jatkuvasti kasvavaa kysyntää. Jatkossa laitteen valmistuessa valetaan betonista luoden vahvuutta ja kestävyyttä, sekä paloturvallisuutta myös seinille verrattuna aikaisempiin seiniin, jotka valmistettiin Gyproc-kipsilevystä vahvistettuna puurungolla.

Insinööriyöemme oli erinomainen mahdollisuus soveltaa ja hyödyntää opintojemme aikana opittuja taitoja niin mekaniikan kuin automaation kannalta. Työssä myös CAD-mallinnus oli merkittävässä roolissa, sillä ilman CAD-ohjelmistoja, olisi mallinnus ja toimintaperiaatteen suunnittelu sekä konseptointi ollut erittäin vaikeaa. Työn kautta pääsimme myös oppimaan paljon FEM-mallinnuksesta ja käytännön lujuuslaskelmista, jotka vaativat tarkkuutta ja huolellisuutta, mutta palkitsivat onnistuessaan.

Modello Nordic Oy:lle oli toimitettava kustannuslaskelmat, jotta yritys voi niiden avulla laskea, onko automatisoitu valumuotti taloudellisesti ja tuotannollisesti kannattava. Laitteen kokonaishinta tulisi väkisinkin olemaan korkea suurten

materiaali- ja komponenttitarpeiden takia, mutta laite tulisi kuitenkin pitkässä juoksussa nopeuttamaan kylpyhuonemuodulien tuotantoa merkittävästi. Tuottaessa useamman laitteen, voidaan kylpyhuonemuoduleita valaa monta kerralla, joka luo jatkuvaa kehitystä yrityksen toimintaan.

Lähteet

Aalto, Jukka. Rakenteiden lujuusoppi. 2. Luentomoniste. Rak-51.1200. Aalto-yliopisto.

Betonin valaminen ja betoni rakennusaineena. Betoniteollisuus Ry. Luettavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>. Luettu: 7.11.2023

Björk, Timo; Hautala, Pekka; Huhtala, Kalevi; Kivioja, Seppo; Kleimola, Matti; Lavi, Markku; Martikka, Heikki; Miettinen, Juha; Ranta, Aarno; Rinkinen, Jari & Salonen, Pekka. 2014. Koneenosien suunnittelu. 6., uudistettu painos. Sanoma Pro Oy.

Coskun, Baki. 2015. Hydraulinen Tandemsylinteri, CAD-kokoonpano. Saatavissa: <https://grabcad.com/library/double-effect-cylinder-2>. Luettu: 3.1.2023

Haara, Tuomo; Suomen Betoniyhdistys ry. 2018. Betonitekniikan oppikirja. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Halko, Pekka; Härkönen, Sakari; Lähteenmäki, Ilkka & Välimaa, Taisto. 1998. Teollisuuden Mittaustekniikka, Perusmittauksia. Helsinki: VAPK-kustannus.

Hietikko, Esa. 2014. Palkki, Lujuuslaskennan perusteet. 4., uudistettu painos. Helsinki: BoD – Books on Demand.

Honkavaara, Tapani. 2014. Valutuotteiden suunnitteluopas. Verkkoaineisto. https://svy.info/wp-content/uploads/2015/04/Valutuotteiden_suunnitteluopas.pdf. Luettu 16.11.2022.

Kamel, Khaled & Kamel, Eman. 2014. Programmable Logic Controllers: Industrial Control. 2. painos. McGraw-Hill Education: RR Donnelley.

Kent, Gigi. 2022. Sähkömoottori, CAD-kokoonpano. Saatavissa: <https://grabcad.com/library/electrical-motor-10>. Luettu: 7.11.2022.

Ketonen, Laura. Tiheys. Oppimateriaali. Peda.Net. <https://peda.net/p/ketona-laura-ketonen/8-fysiikka2/menneet-kurssit/8e-fysiikka/10-tiheys/tiheys>. Luettu: 9.12.2022

Kylpyhuonemuodut. Verkkoaineisto. Modello Nordic Oy. <https://modello.fi>. Luettu: 24.10.2022.

Lähteenmäki, Matti. 2008. Elementtimenetelmän perusteet. Verkkoaineisto. https://mlahteen.fi/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf. Luettu: 10.1.2023.

Maaranen, Keijo & Heinonen, Mika. 2021. Tekniset piirustukset: Konetekniikka. 1.-3- painos. Sanomapro.

Mandron, Alexander. 2022. Raspberry PI4, CAD-kokoonpano. Saatavissa: https://grabcad.com/library/raspberry-pi-4-5/details?folder_id=13152427. Luettu: 24.1.2023

Mechanical Properties of Materials. 2014. Verkkoaineisto. MechaniCalc, Inc. <https://mechanicalcalc.com/reference/mechanical-properties-of-materials#true-stress-and-strain>. Luettu 27.12.2022.

Mäkelä, Mikko; Soininen, Lauri; Tuomola, Seppo & Öistämö, Juhani: Tammer-tekniikka. 2019. Tekniikan kaavasto. 19. Painos. Porvoo: Bookwell Oy.

Ratu 0395. 2012. Tilaelementtityö. Menekit ja menetelmät. Rakennustieto Oy.

RatuTT 05-01304. 2020. Muottityön suunnittelu. Rakennustieto Oy.

RT 83-11032. 2011. Vedenpaineeneristys. Rakennustieto Oy.

Salminen, Miikka. 2017. Verkkoaineisto. Lovelace. <https://lovelace.oulu.fi/tietokonej%C3%A4rjestelm%C3%A4t/tietokonej%C3%A4rjestelm%C3%A4t-syksy-2017/sarjaliikenne/>. Luettu 30.1.2023.

SFS-EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1. 2004. Yleiset säännökset ja rakennussäännökset. The European Union: European committee for standardization.

SFS-EN 1997-1: Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1. 2004. Geoteknisen suunnittelun yleiset säännökset. The European Union: European committee for standardization.

SFS-EN ISO 14122-3. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet. 2016. Koneturvallisuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 14122-2. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutasot. 2016. Koneturvallisuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Shigley, Joseph E. & Mischke, Charles R. 2001. Mechanical Engineering Design 6th Edition. 100–105.

Structural Simulation. Verkkoaineisto. Dassault Systèmes SolidWorks Corp. <https://www.solidworks.com/domain/simulation>. Luettu 9.12.2022.

Suuntaventtiilit. 2003. Verkkoaineisto. FLUID Finland. <https://www.salhydro.fi/files/PDF/10.suuntaventtiilit.pdf>. Luettu 5.12.2022.

VNa 205/2009. 2009. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Helsinki: Finlex

Zelek, Mateusz. 2022. Hydrauliasema, CAD-kokoonpano. Saatavissa: https://grabcad.com/library/hydraulic-oil-station-and-pump-1/details?folder_id=12465529. Luettu: 24.1.2023

Liitteet

Liite 1. PowerPoint- markkinointivideo

Liite 2. Keernan kokoonpano

Keernan toiminta

Rungon ensimmäinen konsepti

Rungon lopullinen konsepti

Kulmien toiminnan suunnittelu

Sivuseinien toiminnan konseptisuunnittelu

Keerna kokonaisuutena

Alakehä

Hydrauli- ja automaatiokomponentit

Hydraulikaavio