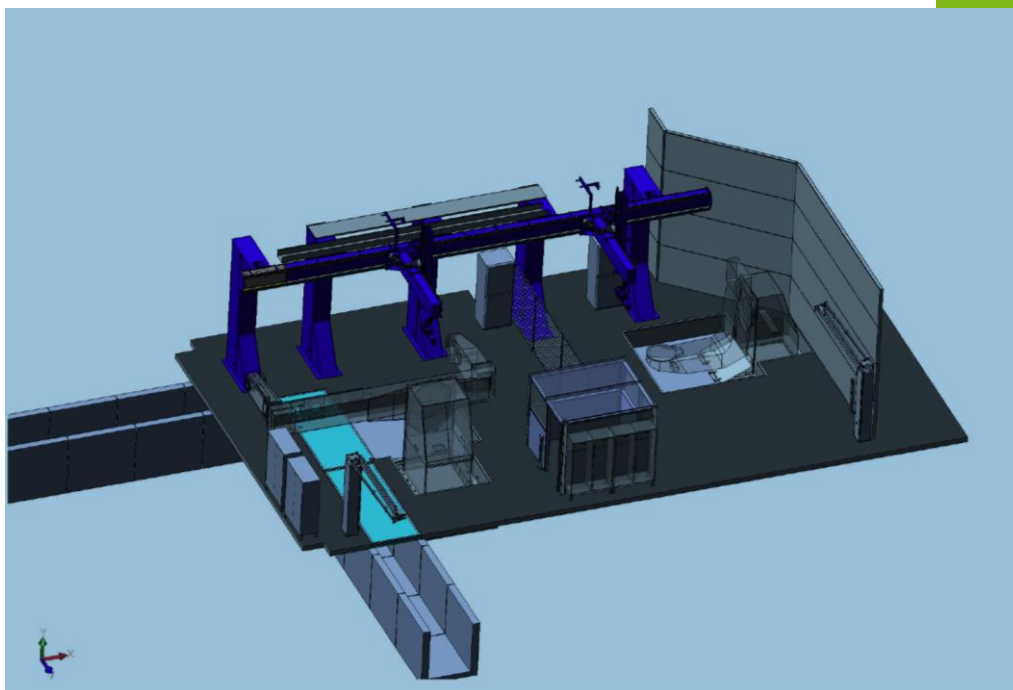


Seppo Sorri

# Hitsausrobottiaseman perustusten suunnittelu ja 3D-mallintaminen



Insinööri (AMK),

rakennustekniikka

Kevät 2017



KAJAANIN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## TIIVISTELMÄ

**Tekijä:** Sorri Seppo

**Työn nimi:** Hitsausrobotiaseman perustusten suunnittelu, SolidWorks 3D-mallintaminen ja rakennekuvien piirtäminen

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), rakennustekniikka

**Asiasanat:** Rakennesuunnittelu, Mallinnus, Solidworks, Hitsaus, Robotit

Tämä opinnäytetyö tehtiin metsäkoneita valmistavan Ponsse Oyj:n Vieremän tehtaassa osavalmistuksen hitsausrobotiaseman layoutin muutokseen. Opinnäytetyön aiheena oli hitsausrobotiaseman perustuksien suunnittelu, 3D-mallintaminen ja rakennepiirustuksien piirtäminen. Asema siirrettiin uuteen paikkaan tehtaassa. Hitsausrobotiaseman paikalle rakennettiin koneistuskeskus. Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä perustuksien lujuuslaskelmat aseman 3D-mallista saatavien mittojen sekä laitteista tulevien kuormien avulla. Mitta- ja raudoituspiirustukset aseman perustuksista tehtiin niiden rakentamista varten. Hitsausrobotiasemaan liittyvät päälaitteet tuli ottaa huomioon layoutin suunnittelussa niiden vaatimien tilojen ja perustuksien mitoituksen vuoksi. Asemaan liittyvät laitteet mallinnettiin SolidWorks 3D-ohjelmalla ja rakennepiirustukset ja detaljit piirrettiin DraftSight 2D-piirrosohjelmalla.

## ABSTRACT

**Author(s):** Sorri Seppo

**Title of the Publication:** Designing Foundation of Welding Robot Station

**Degree Title:** e.g. Bachelor of Engineering, Construction Engineering

**Keywords:** Structural engineering, 3D modeling, SolidWorks, Welding, robots

This bachelor's thesis was made for the change in the layout of the welding robot workstation of Ponsse PLC Vieremä mill, manufacturing forest machines. The subject was to design the foundation of a welding robot station, as well as 3D modeling and providing the structural drawings. The station was moved to a new location in the factory. A machining center was built at the site of the welding station. The aim of the thesis was to make the strength calculations of the foundation, with the dimensions of the 3D model and the loads of the devices. The dimensions and reinforcement drawings of the station foundations were made for their construction. The main equipment for the welding robot station had to be taken into account in the design of the layout, due to the dimensions of the spaces and foundations of the scales. The associated equipment was modeled with the SolidWorks 3D program and the structural drawings and details were drawn using the DraftSight 2D software.

## ALKUSANAT

Kiitän Ponsse Oyj:n tuotannonkehityksen päällikköä Heikki Selkälää opinnäytetyön aiheesta ja mahdollisuudesta suorittaa työ.

Kiitän opinnäytetyön ohjauksessa mukana olleita opettajia, erityisesti Matti Tiaista.

Opinnäytetyön aihe oli sopivan haastava. Opin paljon koneen perustuksien rakenteiden mitoituksesta ja mallintamisesta.

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT .....	2
3 3D-MALLINTAMINEN.....	6
3.1 Kappaleiden mallintaminen .....	7
3.2 Kokoonpanon tekeminen.....	10
4 PERUSTUSTEN LUJUUSLASKENTA .....	14
5 PORTAALI.....	15
5.1 Portaalin päämitat .....	16
5.2 Rakennemalli.....	17
5.3 Kuormitukset .....	18
5.4 Portaalin omapaino .....	18
5.5 Tukireaktiot.....	19
5.5.1 Pystyvarren ja hitsauspään vaakakiihtyvyys .....	19
5.5.2 Pystyvarren ja hitsauspään pystykiihtyvyys.....	20
6 PORTAALIN PERUSTUKSEN MITOITUS .....	21
6.1 Kuormitusyhdistelmät .....	21
6.2 Mitoitus murtorajatilassa kuormitusyhdistelmä 1 .....	22
6.3 Portaalin rakenteiden omapaino.....	22
6.4 Tukireaktioiden mitoitusarvot.....	22
6.5 Perustuksen raudoitus.....	23

6.5.1	Laatan puristuskestävyys .....	24
6.5.2	Taivutuksen vaatima rauditus.....	24
6.6	Perustuksen leikkauskestävyyden tarkastaminen .....	26
7	YHTEENVETO PORTAALIN PERUSTUSTEN LUJUUSMITOITUKSESTA....	28
8	C-PÖYTÄ .....	29
8.1	C-pöydän päämitat .....	30
8.1	Kuormitukset .....	31
8.1.1	Tukirakenteen omapaino.....	31
8.1.2	C-varren omapaino .....	31
8.1.3	Työkappaleen paino .....	31
8.2	Rakennemalli.....	32
8.3	Tukireaktiot.....	33
8.3.1	Tukirakenteen oman painon aiheuttama tukireaktio .....	33
8.3.2	C-varren oman painon aiheuttamat tukireaktiot.....	33
8.3.3	Työkappaleen aiheuttamat tukireaktiot.....	33
9	C-PÖYDÄN PERUSTUKSEN MITOITUS (STR) .....	34
9.1	Kuormitusyhdistelmät .....	34
9.2	Mitoitus murtorajatilassa kuormitusyhdistelmä 2 .....	35
9.2.1	Tukirakenteen oma paino $G_1$ .....	35
9.2.2	C-varren omapaino $G_2$ .....	35
9.2.3	Työkappaleen paino $Q_3$ .....	35
9.3	Tukireaktioiden mitoitusarvot.....	36

9.4 Perustuksen raudoitus.....	37
9.4.1 Laatan puristuskestävyys .....	38
9.4.2 Taivutuksen vaatima raudoitus.....	38
9.5 Perustuksen leikkauskestävyyden tarkastaminen .....	40
10 YHTEENVETO C-PÖYDÄN PERUSTUSTEN LUJUUSMITOITUKSESTA ...	42
11 L-PÖYTÄ.....	43
12 PERUSTUKSIEN MITTA-, LEIKKAUS- JA RAUDOITUSPIIRUSTUKSET ....	44
13 YHTEENVETO OPINNÄYTETYÖSTÄ .....	45
LÄHTEET .....	46
LIITTEET	

## SYMBOLILUETTELO

### Dynaaminen kuorma

Kuorma, josta aiheutuu rakenteeseen kiihtyvyyssrasituksia.

### Kuormakerroin

Kuormakerroin, jota käytetään ainoastaan normaalisti vallitsevien ja tilapäisten mitoitustilanteiden kuormayhdistelmissä. Kerrointa ei käytetä väsytyks- eikä käyttörajatilatarkasteluissa.

### Kuormitustapaus

Erilaisten kuormitusyhdistelmien aiheuttamat rasitukset rakenteisiin.

### Käyttörajatila

Rajatila, jossa ominaiskuormien vaikuttaessa rakenteeseen, sen muodonmuutokset ja halkeamat eivät ylitä sallittuja arvoja.

### Laskentakuorma

Kuorma, jota käyttäen lasketaan voimasuureet tarkasteltavana olevassa. Laskentakuorma saadaan kertomalla ominaiskuorma kuorman osavarmuuskertoimella.

### Luotettavuusluokka

Luotettavuusluokat vaikuttavat suunnittelun valvontatasoon sekä toteutuksen aikaiseen tarkastamistasoon.

### Materiaalin osavarmuuskerroin

Kerroin, jolla otetaan huomioon materiaaleissa ja suunnittelussa esiintyviä epävarmuustekijöitä.



## Murtorajatila

Rajatila, jossa rakenteella riittävä varmuus mitoitusehtoon nähden, eivätkä voimasuureet saa ylittää mitoituskestävyyttä (Varmuuskerroin  $\times$  ominaiskuorma).

## Rakenneluokka

Rakenteen suunnittelun ja työnsuorituksen vaativuutta osoittava ilmaisu.

## Seuraamusluokka

Seuraamusluokilla kuvataan rakennuksen tai rakenneosan mahdollisen vian tai vaurion seuraamuksia hengenmenetyksen, taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.

$A_s$	Toteutunut raudoituspinta-ala
$A_{s,min}$	Taivutuksen perusteella vaadittava raudoitus
$A_{s,vaad}$	Minimiraudoitus halkeilun kannalta
$B_{slab}$	Laatan tarkasteluleveys
$c_{nom}$	Raudoituksen betonipeitteen paksuus
$C_{Rd,c}$	Leikkauslujuuden perusarvo
$d$	Laatan tehollinen korkeus
$G$	Pysyvät ja kiinteät kuormat, rakenteiden omapaino
$G_{k,inf}$	Edullinen pysyvä kuorma
$G_{k,j}$	Pysyvän kuorman ominaisarvo
$G_{k,sup}$	Epäedullinen pysyvä kuorma
$Q$	Muuttuvat liikkuvat kuormat, hyöty-, lumi- ja tuulikuormat

$H_{\text{slab}}$	Maanvaraisen laatan paksuus
$k$	Tehollisesta korkeudesta riippuva kerroin
$\max(A_{s, \text{min}}, A_{s, \text{vaad}})$	Laatan alapintaan vaadittu raudoitusmäärä
$m_{\text{Ed}}$	Tarkastelupituudelta jaetun taivutusmomentin ominaisarvo
$m_{\text{Rd}}$	Laatan taivutuskestävyys
$N_{\text{Ed}}$	Kokonaispystykuorma
$PE_{\text{d}}$	Pohjapaineen mitoitusarvo
$Pek$	Pohjapaineen ominaisarvo
$Q_k$	Pistekuorma
$Q_{k,1}$	Pääasiallisen muuttuvan kuorman ominaisarvo
$q_k$	Hyötykuorma
$V_{\text{min}}$	Leikkauslujuuden minimiarvo
$V_{\text{Rd,c}}$	Leikkauslujuuden mitoitusarvo
$V_{\text{Rd,c}}$	Laattapoikkileikkauksen leikkauskestävyys
$\mu$	Suhteellinen momentti
$\mu_{\text{d}}$	Suhteellisen momentin raja-arvo
$z_i$	Sisäinen momenttivarsi, poikkileikkauksen momenttivarsi
$Y_c$	Betoninkestävyyden osavarmuusluku
$\rho_l$	Laatan raudoitussuhde

## 1 JOHDANTO

Tämä insinöörityö tehtiin Ponsse Oyj:n Vieremän tehtaan tuotannon laajennukseen liittyen. Tuotantotiloja laajennettiin vuosien 2016–2018 aikana. Lattiapinta-alaa tuli noin 7000 m<sup>2</sup> lisää. Opinnäytetyön tavoitteena oli metsäkoneiden takarunkoja hitsaavan hitsausrobotiaseman perustusten suunnittelu, laitteiden 3D-mallintaminen sekä rakennuspiirustusten piirtäminen.

Työn tilaajana oli Ponsse Oyj:n tuotannonkehityksen päällikkö Heikki Selkälä.

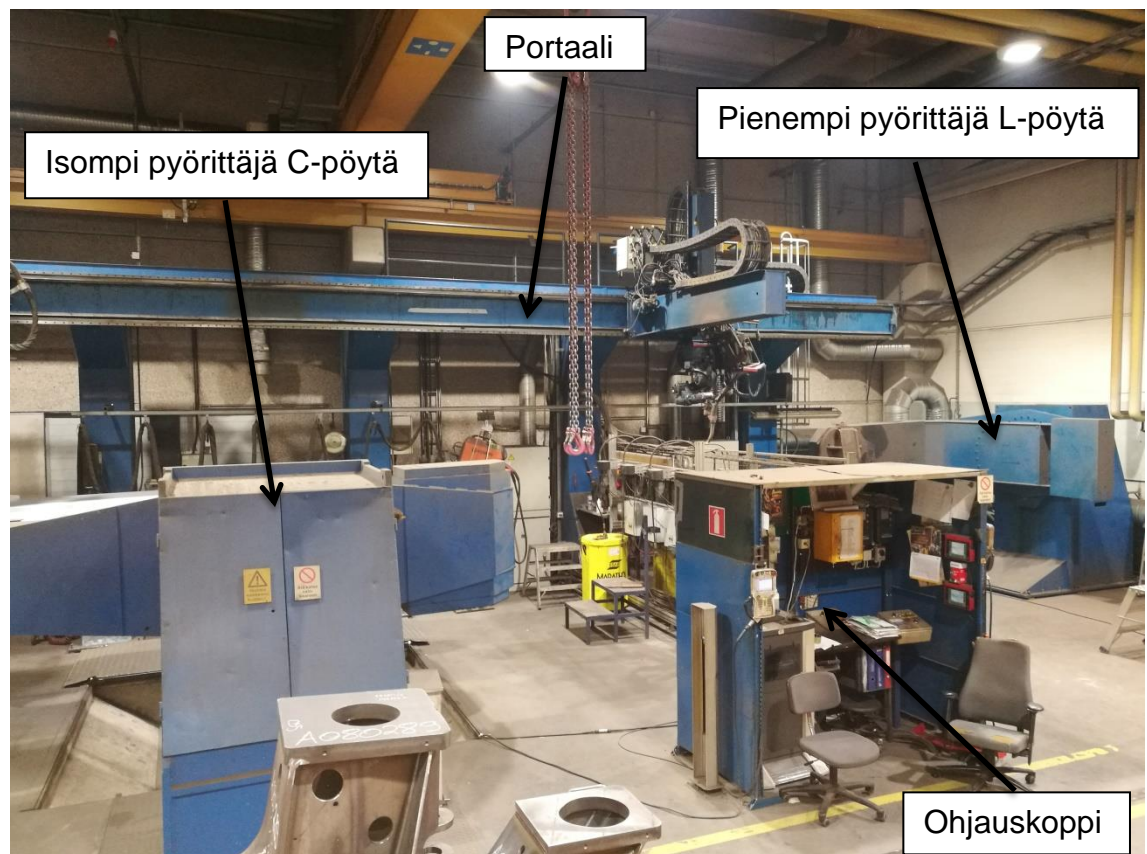
Ponsse Oyj valmistaa tavaralajimenetelmällä puuta korjaavia metsäkoneita ja on yksi alansa johtavia valmistajia maailmassa. Tehdas sijaitsee Vieremällä. Ponsse on perheyriutus, josta n. 60 % omistavat Einari Vidgrenin lapset. Yrityksen osakkeet noteerataan NASDAQ OMX:n pohjoismaisella listalla. Ponsse-konserniin kuuluvat emoyhtiö Ponsse Oyj sekä 12 tytäryhtiötä. Vuonna 2015 Ponsse Oyj:n vuosituotanto oli vajaa 1000 konetta ja liikevaihto oli 461,9 miljoonaa euroa. Yhtiö työllisti keskimäärin 1373 metsäkonealan ammattilaista. [1.]

Tehtäviini kuului opinnäytetyön lisäksi hitsausaseman uuden layoutin suunnittelu, johon sisältyi portaali hitsausrobotteineen, kaksi metsäkoneiden takarunkoja pyörittävää kiinnityspöytää, 2 hydraulista nostolavaa, ohjauksoppi, suojaseinä sekä 2 paineilmaikäyttöistä suojaverhoa. Hitsausaseman paikalle rakennettiin koneistuskeskus. Uuden koneistuskeskuksen lastunkuljetuskanaali kulkee hitsausportaalien alueen alitse ja tämä tuli huomioida perustussuunnittelussa. Koneistuskeskuksen lastunkuljetinkanaali tuli suunnitella ja mallintaa. Paineilmaikäyttöiset suojaverhot sijoitettiin aseman etupuolelle estämään hitsauksesta aiheutuvien kirkkaiden valokaarien näkymistä muualle tehdashalliin. Pyöritysvarsien alapuolelle asennettiin hydrauliset nostolavat helpottamaan työntekijöiden turvallista pääsyä asentamaan ja tarkastamaan metsäkoneen takarunkoa eri työvaiheiden aikana.

Layoutin sekä lastunkuljetinkanaalin suunnittelua ei käsitellä opinnäytetyössä.

## 2 SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT

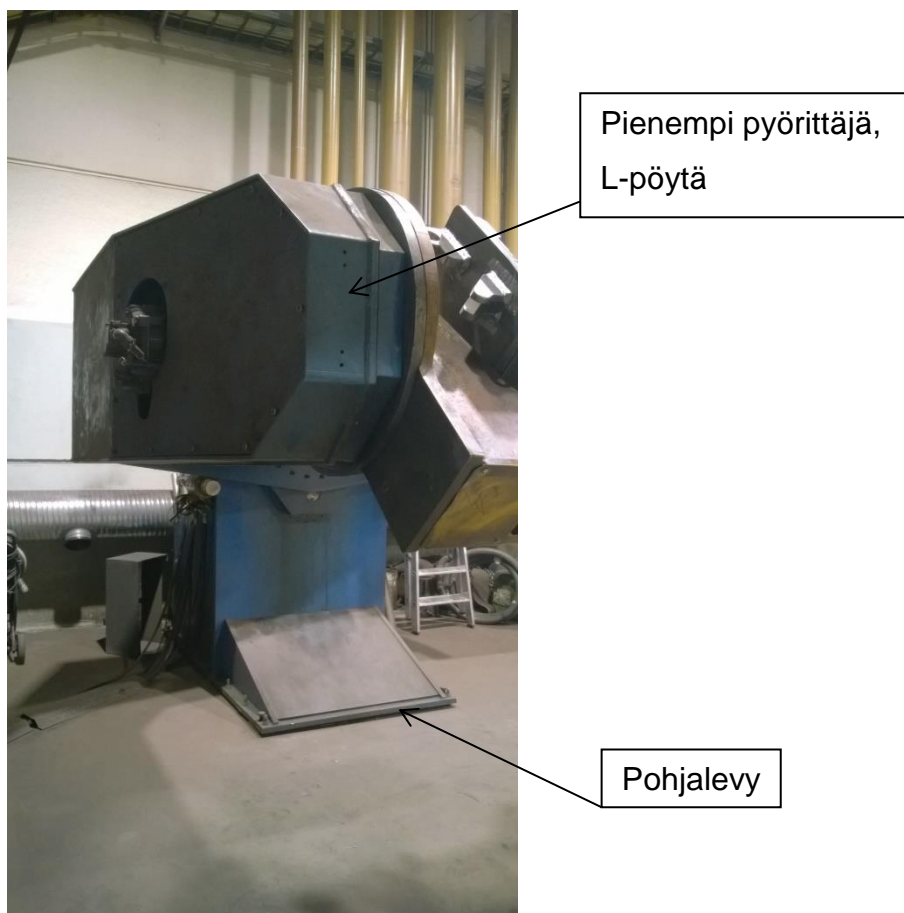
Hitsausrobotiaseman (kuva1) päälaitteisiin sisältyy portaali ja sen hitsausrobotit vaaka- ja pystyvarsineen, isompi pyörittäjä C-pöytä, pienempi pyörittäjä L-pöytä sekä ohjauskoppi. Hitsausasemaan liittyy myös virtalähteet sekä muita apulaitteita. Aseman suunnittelu aloitettiin mitoittamalla laitteiden sijainti ennen niiden purkamista. Työvälineinä käytettiin tasolaseria, etäisyysmittalaseria sekä ristiviivalaseria. Laitteiden rakenteiden painot löytyivät tyyppikilvistä. Työstettävien kappaleiden maksimipainot määritettiin perustusten kuormituslaskentaa varten. Uusien perustuksien suunnittelussa tuli huomioida pienemmän pyörittäjän, L-pöydän sijainnin muuttuminen hitsausrobotiaseman geometriaan nähden sekä koneistuskeskuksen lastunkuljetuskanaalin reitti lastujen käsittelykeskukselle.



Kuva 1. Hitsausrobotiasema entisellä paikallaan.

Uudessa layoutissa pyörityspöydän alapuolelle sijoitettiin hydrauliset nostolavat helpottamaan runkojen asennusta ja tarkastamista eri työvaiheissa. Nostolavojen

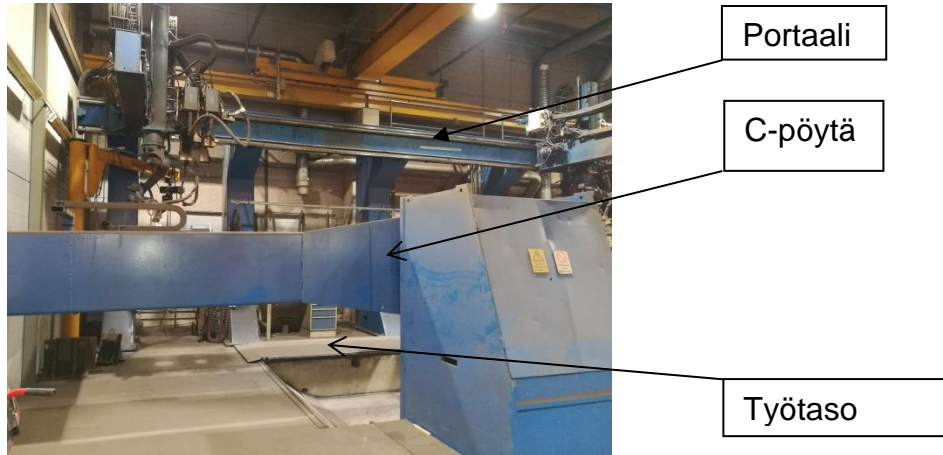
toiminta liitettiin hitsausrobottien automaatioon. Nostolavan ollessa alasennoissa rajakytkimet lähettävät signaalitiedon robotin automaatiolle antaen luvan aloittaa hitsaaminen. Nostolavojen avulla työalueen turvallisuus parantui. Nostolavat sijaitsevat syvennyksessä lattiatason alapuolella. Tarvittavat johdotukset kulkevat suojaputkissa lattian alla. Pyörittäjä (kuva 2) oli entisellä paikalla lattiatasossa. Uudessa paikassa pyörittäjä sijoitetaan lattiasyvennykseen, pohjalevyn jäädessä 400 mm lattiatason alapuolelle. Pyörittäjää myös siirrettiin lähemmäs portaalia vieressä sijaitsevan ulko-oven vuoksi.



Kuva 2. Pienempi pyörittäjä.

Isompi pyörittäjä, C-pöytä, sijaitsi syvennyksessä 600 mm lattiatason alapuolella, ja työkappaletta pyörittävälle kiinnitysvarrelle oli tehty syvennys perustuksiin pyörittäjävarren liikeradan vuoksi. C-pöytä asennettiin samalla mitoituksella hitsausaseman geometriaan nähden uuteen paikkaan. C-aseman työtasona toimi laakereiden päällä kuvassa oleva kyynnellevy (kuva 3), joka oli herkkä liikahtamaan aiheuttaen vaaratilanteita työskenneltäessä työtasolla. Työtaso oli useasti

jäänyt siirtämättä pois syvennyksen päältä, jolloin hitsauksen alkaessa kiinnitys-  
varsi oli osunut tasoon vaurioittaen sitä. Portaali siirrettiin samalla mitoituksella  
hitsausaseman geometriaan nähden uuteen paikkaan.



Kuva 3. C-pöydän työtaso ja syvennys perustuksissa.

Pilarinostin (kuva 4), jonka avulla nostetaan kiinnikkeet erilaisille rungoille C-  
pöydälle, siirrettiin vastaavaan paikkaan uudessa layoutissa.



Kuva 4. Pilarinostin ja runkojen kiinnikkeitä.

Pilarinostimen ankkuroinnin lujuuslaskenta oli suoritettu aiemmin, eikä sitä käsitellä opinnäytetyössä. Ankkurointi (kuvat 5–6) tehtiin olemassa olevien rakennesuunnitelmien mukaan.



Kuva 5. Pilarinostimen ankkuripultit.



Kuva 6. Pilarinostimen ankkuripultit asennettuina paikoilleen.

### 3 3D-MALLINTAMINEN

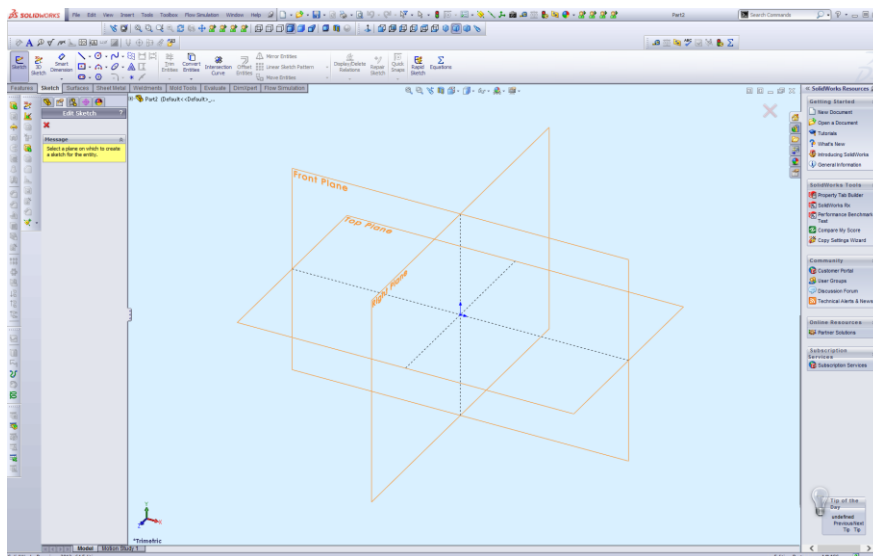
Hitsausrobotiaseman 3D-mallintaminen tehtiin SolidWorks Premium-ohjelmalla. Ohjelmiston ensimmäinen versio on kehitetty 1993. Dassault Systèmes SolidWorks Corp.-yhtiön pääkonttori sijaitsee Massachusettsissa USA:ssa. Ranskassa sijaitseva Dassault Systèmes S.A. osti yhtiön vuonna 1997. SolidWorks-ohjelmistotuotteita on useita erilaisia mallintamisesta simulointiin sekä tiedostojen hallintaan ja tekniseen viestintään. Suunnittelualat, missä ohjelmistoja käytetään ovat teollisuus, tutkimus ja tuotekehitys, lääketieteellisyys, kuluttajatuotteet, koulutus, tekniikka ja liikenne. Yritys myy lisenssejä, jotka ovat määräaikaista käyttöoikeuksia ohjelmistolle. *”Yli 2 170 100 tuotesuunnittelijaa ja -insinööriä 182 300 organisaatiossa eri puolilla maailmaa käyttää SolidWorksin ohjelmistoja niin pienten muovituotteiden kuin myös suurten metsäkoneiden suunnitteluun ja kehittämiseen”.* [2.]

3D-mallin avulla kappaleiden muodot voidaan visuaalisesti nähdä, tämän helpottaessa tuotteen suunnittelua. Erilaisten laitteiden toimivuus sekä niiden vaatimista tilasta pystytään tarkastamaan ennen laitteiden rakentamista. 3D-malli voidaan siirtää virtuaalimaailmaan tai tulostaa 3D-tulostimella. Ohutlevyohjelmalla tehdyt kappaleet ja niihin tehtävät esim. reiät, kierteet sekä levyjen taittaminen voidaan työstää mallista saaduilla tiedoilla.



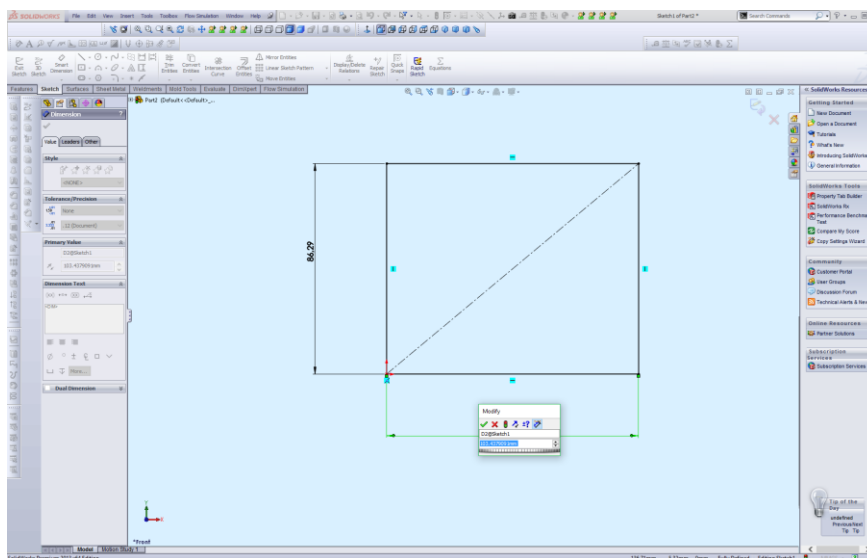
### 3.1 Kappaleiden mallintaminen

Mallintaminen aloitetaan valitsemalla ylävalikosta file>new>part. Tämän jälkeen valitaan taso plane, joita ovat (kuva 7) front, top ja right ja ne liittyvät koordinaatteihin X, Y tai Z.



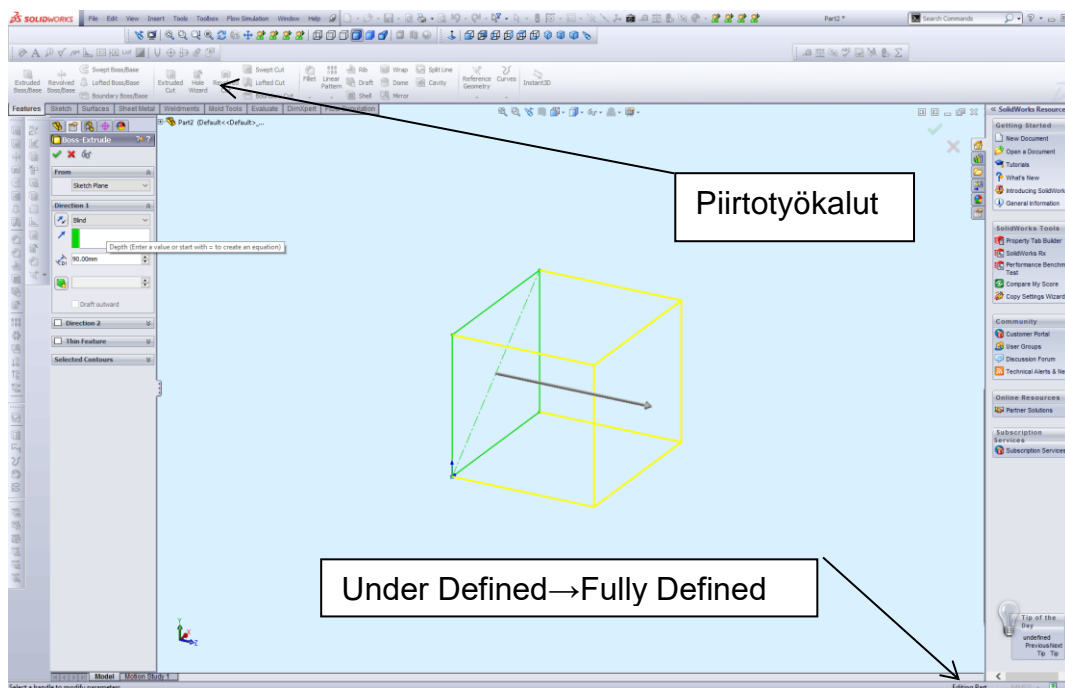
Kuva 7. Tasot.

Taso laitetaan sketch tilaan ja viivan piirrolla tehdään kappaleen pääpiirteet. Piirteet tulee kiinnittää origoon joko aloittamalla piirtäminen origosta (kuva 8) tai mittaamalla centerline viivoilla origoon.



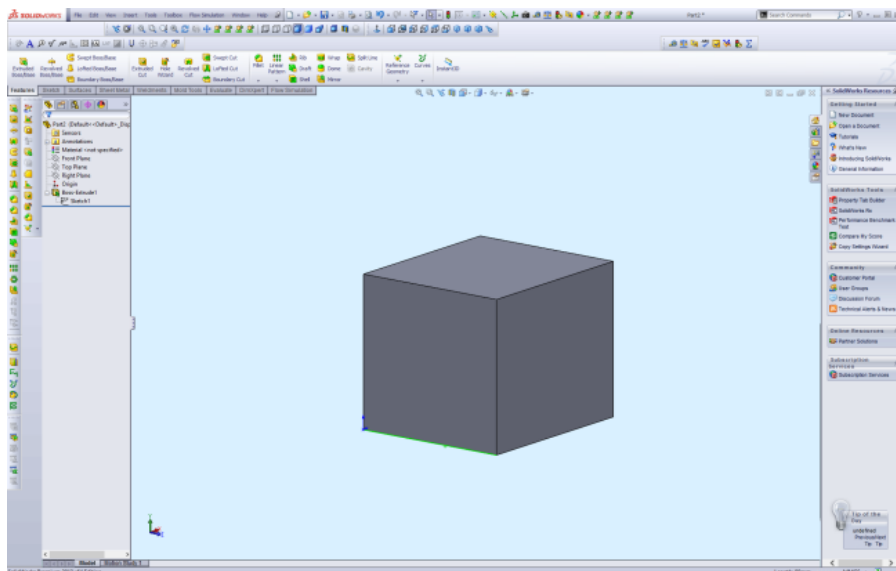
Kuva 8. Fully Defined sketch.

Tämän jälkeen viivat mitoitetaan smart dimension komennolla. Piirteiden ollessa oikein mitoitettu ja kiinnitetty origoon näytön alalaidassa näkyvä teksti (kuva 9) muuttuu Under Defined→Fully Defined, jolloin sketchi on täysin määritelty.

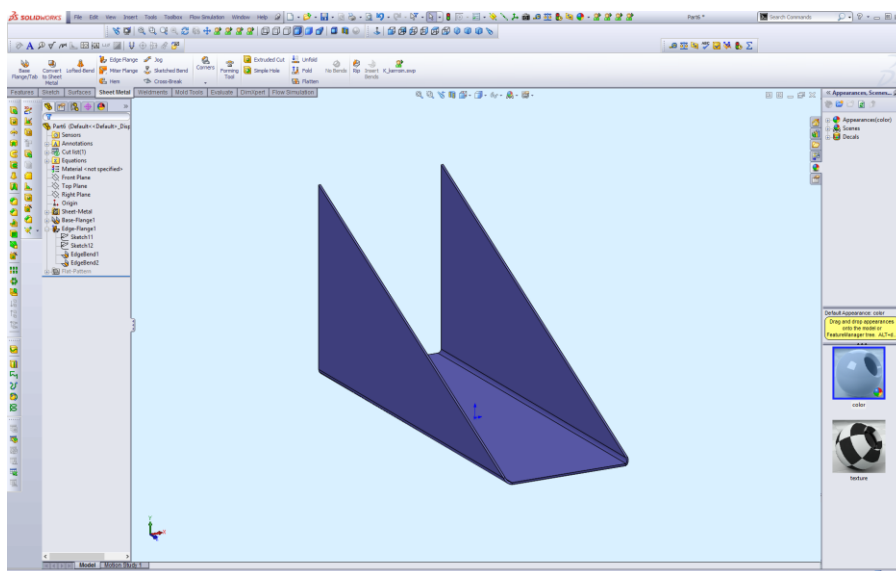


Kuva 9. Kappaleen pursottaminen.

Extrude-komennolla kappale pursotetaan haluttuun mittaan, jolloin muodostuu 3D-malli (kuva 10). Kappaleita voidaan mallintaa ja muokata (kuva 11) useammalla eri tavalla. Jo ennen kappaleiden mallintamista tulisi tasot määritellä samansuuntaisiksi tulevan kokoonpanon tasoihin nähden.



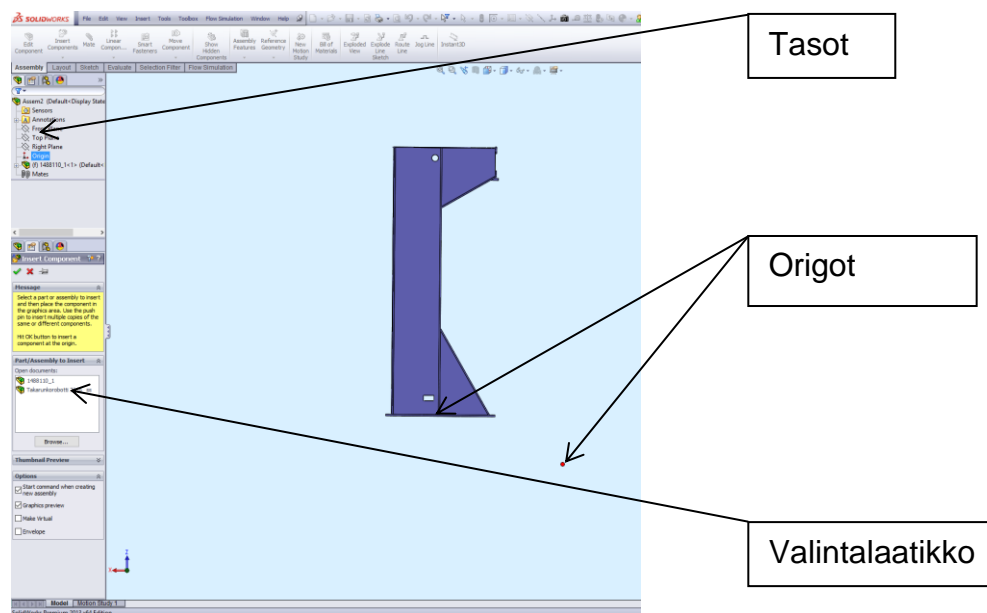
Kuva 10. Valmis 3D-malli.



Kuva 10. Ohutlevytoiminnolla mallinnettu jalan vinotuki.

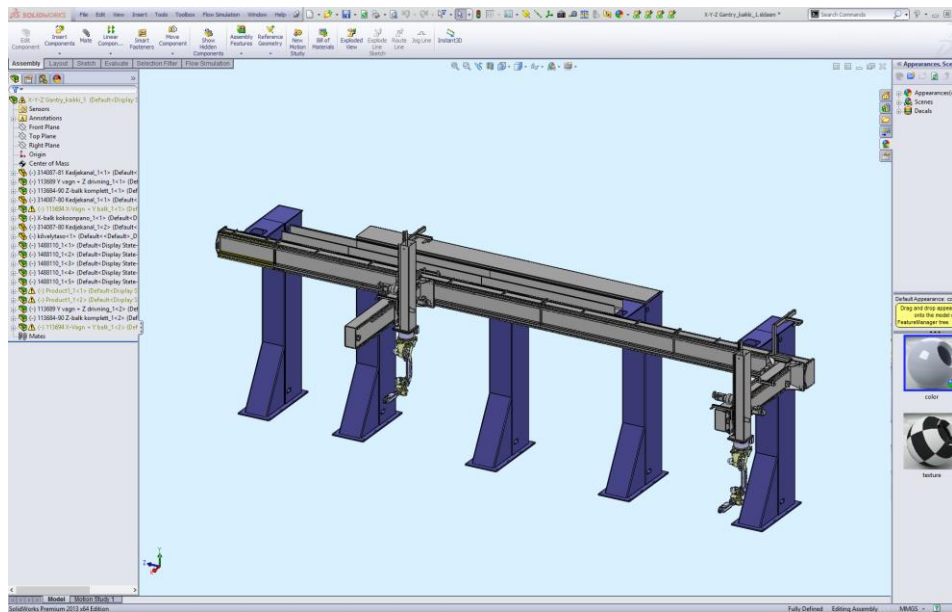
### 3.2 Kokoonpanon tekeminen

3D-mallit voivat muodostua kappaleista part ja kokoonpanoista assembly. Malliin tuotavien kappaleiden määrän kasvaessa niistä kannattaa tehdä ns. alikokoonpanoja. Osat ovat helpommin löydettävissä piirrepuun jakautuessa useampaan alikokoonpanoon. Kokoonpano aloitetaan file>new>assembly. Kokoonpanoon tuotava ensimmäinen kappale valitaan näytön (kuva 12) vasemmassa laidassa olevasta valkoisesta laatikosta ja liitetään origoon (punainen piste näytöllä). Tämän ensimmäisen liittämisen unohtaminen saattaa aiheuttaa mallia myöhemmin avattaessa sen ”räjähtämisen”. Kokoonpanon ensimmäinen kappale tai alikokoonpano määrittää koko mallin koordinaatiston. Seuraavat kappaleet liitetään mate komennolla kaikilta kolmelta tasolta. Kappaleita voi liittää useilla eri tavoilla.



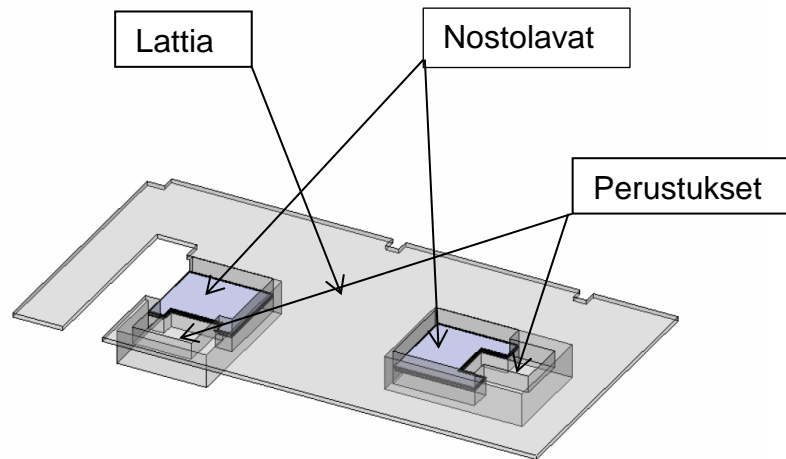
Kuva 11. Kappaleen tai alikokoonpanon liittäminen uuteen kokoonpanoon.

Kuvassa (kuva 13) näkyvä hitsausrobottiportaalin alikokoonpano, joka liitetään hitsausrobotiaseman pääkokoonpanoon.



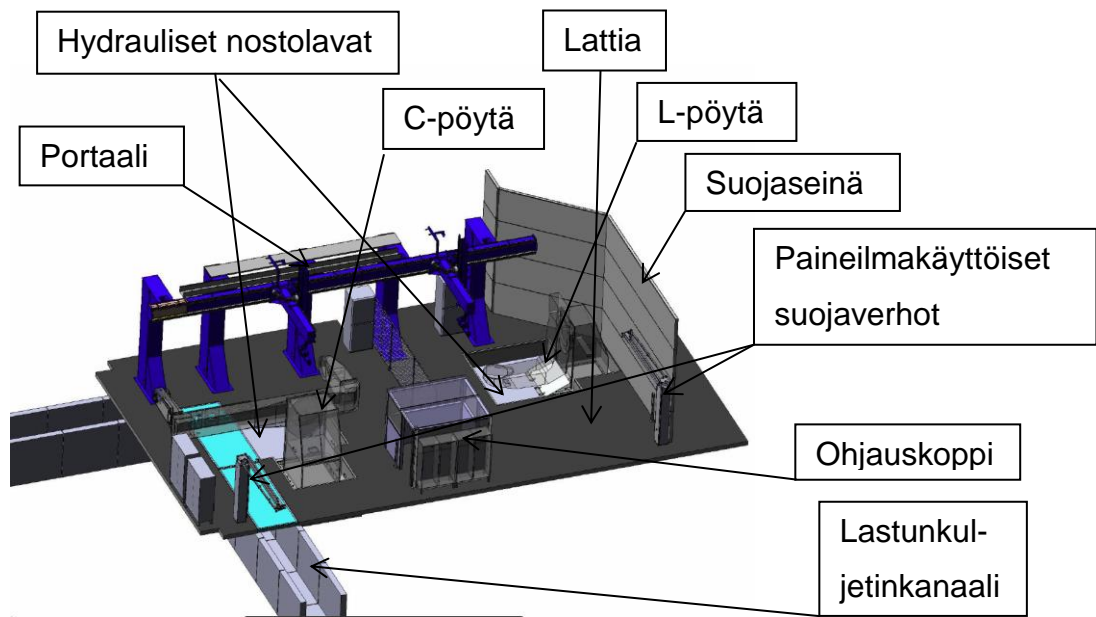
Kuva 12. Portaalin alikokoonpano.

Hitsausrobotiaseman pääkokoontaan (kuva 14) liitettiin lattia perustuksineen, johon kuuluivat hydrauliset nostolavat.



Kuva 13. Lattian, perustuksien ja nostolavojen 3D-malli.

Seuraavaksi kokoonpanoon liitettiin portaali hitsausrobotteineen, L-pöytä, C-pöytä, ohjainkoppi, paineilmakäyttöiset suojaverhot sekä koneistuskeskuksen lastunkuljettimen kanaali. Malliin liitettiin myös aseman suojaseinä. Hitsausrobottiaseman 3D-mallista (kuva 15) on helppo visuaalisesti havainnoida laitteiden sijoittuminen tilaan ja niiden vaatimat työalueet voidaan tarkastaa.



Kuva 14. Hitsausrobottiaseman 3D-mallin pääkokoonpano.

## 4 PERUSTUSTEN LUJUUSLASKENTA

Laskennan tarkoituksena oli mitoittaa Motoman Robotics Oy:n toimittaman hitsausrobotiaseman portaalin, L-pöydän ja C-pöydän perustuksien lujuudet. Laskelmilla tarkistettiin ja määriteltiin peruslaatan paksuus sekä rauditus siten, että perustus kestää siihen kohdistuvat kuormat.

Rakenteiden geometriat muodostettiin 3D-mallin perusteella.

Murtorajatilan osavarmuusluvut kuormayhdistelyille 6.10a (12) ja 6.10b (13) on esitetty standardin SFS-EN 1990 Suomen kansallisen liitteen taulukossa A1.2 (B) (FI) (Liite 1) [3].

Perustuksille syntyvien kuormien määrittämisessä sovellettiin standardin SFS-EN 1990 Suomen kansallista liitettä [3], ja perustuksien kestävyuden määrittämisessä sovellettiin standardia SFS-EN 1992-1-1 Suomen kansallisine liitteineen [4].

Rakenteiden suunnittelun seuraamusluokkana on käytetty luokkaa CC2 (Liite 2) [3].

Luotettavuusluokkana käytetään RC2, jolloin rakenteen kuormakertoimena käytetään  $K_{FI} = 1,0$  (Liite 3) [3].

Standardin SFS-EN 1992-1-1 kansallisen liitteen taulukosta 2.1N (FI) valittiin normaalisti vallitsevan ja tilapäisen mitoitusilanteen perusteella betonin osavarmuusluvaksi  $= \gamma_c 1,5$  (Liite 4) [4].

Opinnäytetyön laskentaan liittyvien laskujen ja kaavojen aineistona on käytetty Kajaanin Ammattikorkeakoulun betonirakenteiden suunnittelun kurssiaineistoa. [5].

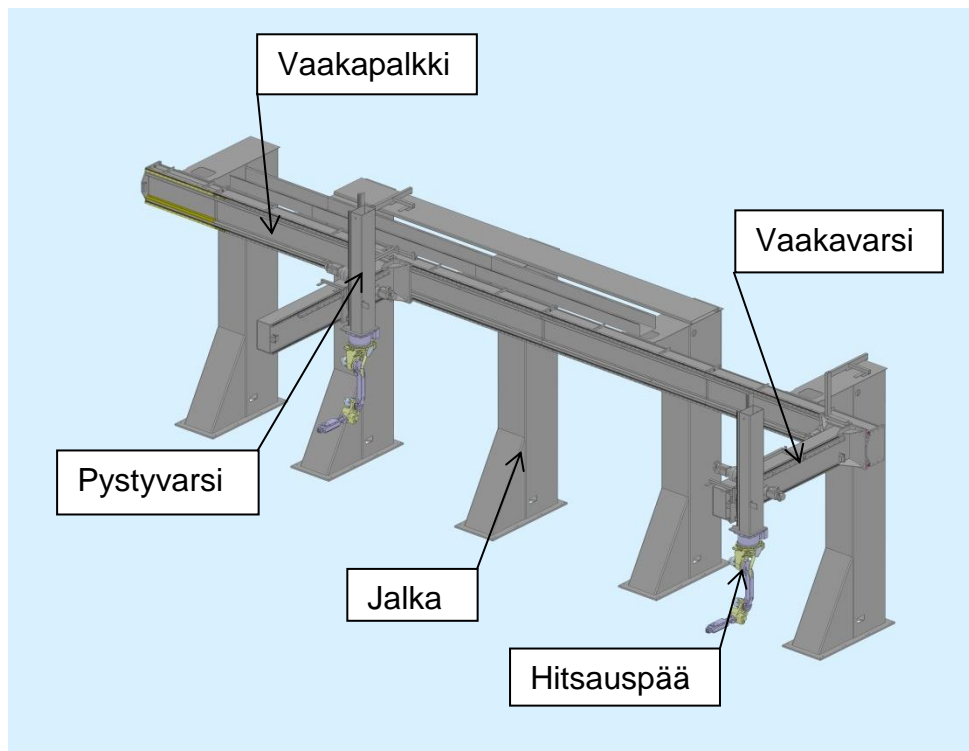
Opinnäytetyössä ei ole otettu kantaa hitsausrobotiaseman rakenteisiin, ainoastaan perustuksien voimasuureisiin ja mitoitukseen.



## 5 PORTAALI

Portaalin rakennemalli mallinettiin SolidWorks 3D-mallinnusohjelmistolla. Mallia käytetään tässä opinnäytetyössä eri kuormitustapausten aiheuttamien tukireaktioiden määrittämiseen perustussuunnittelun lähtötiedoiksi.

Tarkasteltava perustus tukee robottiaseman portaalia (kuva 16), joka koostuu portaalikehikosta ja siihen liittyvistä vaaka- ja pystyvarsista. Oman painon lisäksi perustuksia kuormittavat portaali ja siihen liittyvät vaaka- ja pystyvarret. Lisäksi kuormaa aiheuttavat pystyvarteen kiinnittyvä hitsauspään ja varsien kiihtyvyyksien johdosta aiheutuvat hitausvoimat.



Kuva 15. Robotihitsausportaalin 3D-malli.

## 5.1 Portaalin päämitat

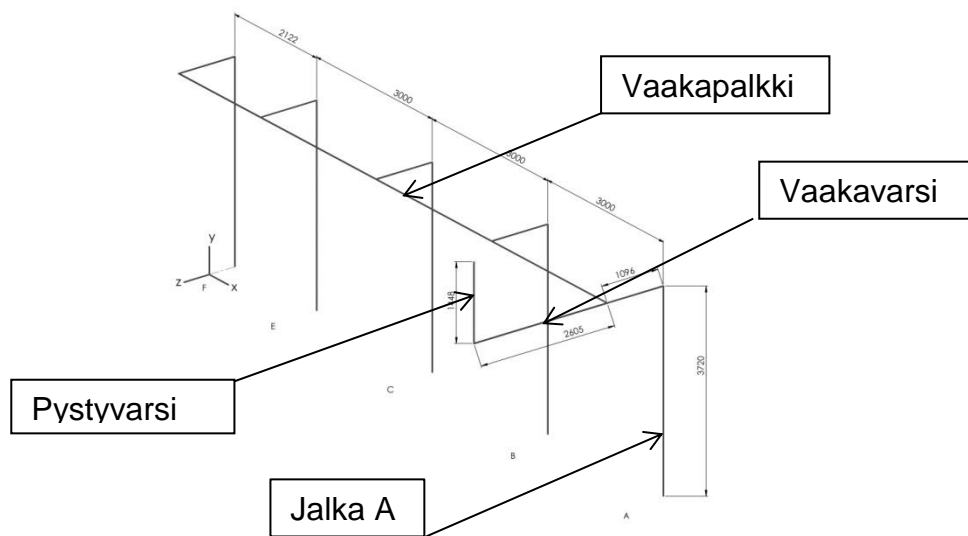
Portaalin päämitat on muodostettu 3D-mallista.

Portaalin päämitat massakeskipisteessä ovat:

- jalkojen korkeus 3720 mm
- jalkojen väli 3 x 3300 mm + 2122 mm
- jalkojen ja vaakapalkin välinen uloke 1096 mm
- vaakavarren pituus 2605 mm
- pystyvarren pituus 1448 mm
- portaalin jalan pohjalevyn tarkasteluleveys ( $b_{\text{slab}} = 700$  mm).

## 5.2 Rakennemalli

Rakennemallin liikkuvien osien (vaakavarren ja pystyvarren) sijainnit on valittu siten, että ne aiheuttavat suurimmat mahdolliset tukireaktiot. Suurimmat mahdolliset tukireaktiot aiheutuvat jalan A kohdalla vaakavarren ollessa vaakapalkin päässä ja pystyvarressa olevan hitsauspään ollessa korkeimmassa asemassaan. Vaakavarsien keskinäinen sivuttaisliike on rajoitettu vaakapalkin puoleenväliin omille toiminta-alueilleen. Portaalin jalat ovat jäykästi tuettu perustukseen. Portaalin päämitat esitetään kuvassa 17.



Kuva 16. Portaalin päämitat.

### 5.3 Kuormitukset

Rakenteiden massat on saatu laitteiden tyyppikilvistä.

### 5.4 Portaalin omapaino

Portaalin omassa painossa otetaan huomioon:

- jalan A massa ( $G_1 = 1027 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ kN}$ ). Kuorma vaikuttaa tukirakenteen keskipisteeseen ( $e_1 = 0 \text{ mm}$ )
- vaakapalkin massa 3020 mm osuudelta ( $G_2 = 642 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 6,30 \text{ kN}$ ).  
kuorman vaikutuspisteen etäisyys tukirakenteen keskipisteeseen ( $e_2 = 1096 \text{ mm}$ )
- vaakavarren massa ( $G_3 = 436 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 4,30 \text{ kN}$ ). Kuorman vaikutuspisteen etäisyys tukirakenteen keskipisteeseen ( $e_3 = 2400 \text{ mm}$ )
- pystyvarren massa ( $G_4 = 133 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 1,30 \text{ kN}$ ). Kuorman vaikutuspisteen etäisyys tukirakenteen keskipisteeseen ( $e_4 = 3700 \text{ mm}$ )
- hitsauspään massa ( $G_5 = 150 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 1,50 \text{ kN}$ ). Kuorman vaikutuspisteen etäisyys tukirakenteen keskipisteeseen ( $e_5 = 3700 \text{ mm}$ ).

## 5.5 Tukireaktiot

Lasketaan pysyvien sekä muuttuvien kuormien aiheuttamat tukireaktiot.

Jalan A kautta tapahtuva tukireaktio peruslaatalle.

Pystysuuntaiset tukireaktiot:

$$G_{\text{kok,max}} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5$$

$$G_{\text{kok,max}} = (1027 + 642 + 436 + 133 + 150) \text{ kg} * 9,81 \approx 23406 \text{ N}$$

$$G_{\text{kok,max}} = 23,4 \text{ kN}$$

Kaatavat tukimomentit:

$$M_{\text{kok,max}} = G_1 * e_1 + G_2 * e_2 + G_3 * e_3 + G_4 * e_4 + G_5 * e_5$$

$$M_{\text{kok,max}} = 10 \text{ kN} * 0 \text{ m} + 6,30 \text{ kN} * 1,1 \text{ m} + 4,30 \text{ kN} * 2,4 \text{ m} + 1,30 \text{ kN} * 3,7 \text{ m} + 1,50 \text{ kN} * 3,7 \text{ m} = 28,0 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{kok,max}} = 28,0 \text{ kNm}$$

### 5.5.1 Pystyvarren ja hitsauspään vaakakiihtyvyys

Kuormituksessa otetaan huomioon Z-akselin suuntainen vaakakiihtyvyys.

Kuormituksessa otetaan huomioon pystyvarren ja hitsauspään Z-akselin suuntainen vaakakiihtyvyys  $2,0 \text{ m/s}^2$ . Massapisteiden vaakaetäisyys A jalan tukipisteeseen on  $3720 \text{ mm}$ .

Vaakakiihtyvyyden aiheuttamat tukireaktiot:

$$Q_{2,\text{max}} = (133+150) \text{ kg} * 2 \text{ m/s}^2 = 566 \text{ N}$$

$$Q_{2,\text{max}} = 0,57 \text{ kN}$$

Z-akselin suuntainen kaatava tukimomentti on:

$$M_{Q2.max} = 0,57 \text{ kN} * 3,72 \text{ m} = 2,12 \text{ kNm}$$

$$M_{Q2.max} = 2,12 \text{ kNm}$$

### 5.5.2 Pystyvarren ja hitsauspään pystykiihtyvyys

Kuormituksessa otetaan huomioon Y-akselin suuntainen pystykiihtyvyys.

Kuormituksessa otetaan huomioon pystyvarren ja hitsauspään Y-akselin suuntainen kiihtyvyys. Kiihtyvyys vaikuttaa pystyvarren ja hitsauspään pään massoihin. Massapisteiden vaakaetäisyys A jalan tukipisteeseen on 3700 mm.

Pystykiihtyvyyden aiheuttamat tukireaktiot:

Pystysuuntaiset tukireaktiot

$$Q_{3.max} = (133+150) \text{ kg} * 1,2 \text{ m/s}^2 = 339,6 \text{ N} \approx 0,34 \text{ kN}$$

$$Q_{3.max} = 0,34 \text{ kN.}$$

Kaatavat tukimomentit

$$M_{Q3.max} = 0,34 \text{ kN} * 3,7 \text{ m} = 1,258 \text{ kNm}$$

$$M_{Q3.max} = 1,26 \text{ kNm}$$

## 6 PORTAALIN PERUSTUKSEN MITOITUS

Murtorajaa vastaava kuormitusyhdistelmä KY 1 muodostetaan standardin SFS-EN 1990 Suomen kansallisen liitteen mukaisesti [3.] Kuormien mitoitusarvojen yhdistelyssä on käytetty taulukon A1.2(B)(FI) kuormien mitoitusarvot (STR/GEO) (Sarja B), yhtälöä 6.10a. (1) [4].

$$1,35K_{Fi} G_{kj.sup} + 0,9G_{kj.inf} \quad (1)$$

Perustuslaattaan kohdistuu vain epäedullisia pysyviä kuormia, jolloin käytetään mitoitusarvona kaikkiin kuormiin murtorajatilan materiaaliosavarmuuslukuna 1,35. Pystyvarren ja hitsauspään aiheuttamat muuttuvat kuormat ovat vaikutukseltaan vähäisiä, eikä niitä huomioida.

Tarkastetaan kuormitusyhdistelmällä (KY 1 = portaalin omapaino), että perustus kestää siihen kohdistuvat kuormat. Perustuksen rakenteellinen kestävyys tarkastetaan standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti. [4].

### 6.1 Kuormitusyhdistelmät

Portaalin omassa painossa otetaan huomioon:

- KY 1. 1.35 \* portaalin omapaino
- KY 2. 1.15 \* portaalin omapaino + 1.5 \* kiihtyvyys.

Näistä kuormitusyhdistelmä 1. on määräävä (antaa hieman suuremman arvon = momentin).

## 6.2 Mitoitus murtorajatilassa kuormitusyhdistelmä 1

Perustuksen kestävyys tarkastetaan sekä taivutuksen että leikkauksen suhteen.

## 6.3 Portaalin rakenteiden omapaino

Pystysuuntaiset tukivoimat:

$$G_{\text{kok,max,Ed}} = 1,35 \times G_{\text{kok,max}} = 31,6 \text{ kN}$$

$$G_{\text{kok,max,Ed}} = 31,6 \text{ kN.}$$

Kaatavat tukimomentit:

$$M_{\text{kok,max,Ed}} = 1,35 \times M_{\text{kok,max}} = 37,8 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{kok,max,Ed}} = 37,8 \text{ kNm}$$

## 6.4 Tukireaktioiden mitoitusarvot

Pystykuorman mitoitusarvo on:

$$N_{\text{Ed}} = 31,6 \text{ kN}$$

Perustuksen taivutusmomentin mitoitusarvo on:

$$M_{\text{Ed}} = 37,8 \text{ kNm}$$

Portaalin jalan pohjalevyn tarkasteluleveydelle ( $b = 700 \text{ mm}$ ) jaetun taivutusmomentin mitoitusarvoksi saadaan:

$$m_{\text{Ed}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b} = \frac{37,8 \text{ kNm}}{0,700 \text{ m}} = 54 \text{ kNm/m}$$



## 6.5 Perustuksen raudoitus

Perustuksissa käytettävän betonin lujuusluokaksi valitaan C30/37, jonka materiaaliominaisuudet standardi SFS-EN 1992 [4] mukaan ovat:

- ominaislujuus  $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$
- mitoituslujuus  $f_{cd} = 17 \text{ Mpa}$
- vetolujuus  $f_{ctm} = 0.30 * \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}\right)^{\frac{2}{3}} * \text{MPa} = 2.9 \text{ MPa}$ .

Betoniteräkseksi valitaan A500HW, jonka materiaaliominaisuudet ovat:

- ominaislujuus  $f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$
- mitoituslujuus  $f_{yd} = 435 \text{ Mpa}$ .

Lasketaan perustuksen tehollinen korkeus:

Raudoituksen betonipeitteen paksuudeksi valitaan  $C_{nom} 50 \text{ mm}$  [4] olettaen, että perustus valetaan suoraan tiivistetyn soran päälle. Perustuksen raudoituksessa käytettävän betoniterästangon halkaisijaksi valitaan  $\emptyset 12 \text{ mm}$  ja maanvaraisen laatan paksuudeksi  $H_{slab} = 250 \text{ mm}$ .

Perustuksen tehollinen korkeus lasketaan kaavalla 2:

$$d = H_{slab} - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} \quad (2)$$

Perustuksen teholliseksi korkeudeksi tulee:

$$d = 250 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - \frac{12 \text{ mm}}{2} = 195 \text{ mm}$$

Raudoituksen mitoitus suoritetaan taivutetun poikkileikkauksen tapaan, jossa määritetään poikkileikkauksen suhteellinen momentti, puristuspinnan tehollinen korkeus, mitoitusmomentin edellyttämä raudoitus sekä minimiraudoitusala halkeilun rajoittamiseksi.

### 6.5.1 Laatan puristuskestävyys

Suhteellinen momentti lasketaan kaavalla 3:

$$\mu = \frac{m_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{ec}} \quad (3)$$

$$\mu = \frac{54 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot 195^2 \text{ mm}^2 \cdot 17 \text{ MPa}} = 0,0835$$

Suhteellisen momentin raja-arvo:  $\mu_b = 0.358$

Tarkastetaan puristuslujuuden käyttöaste:

$$\frac{\mu}{\mu_b} = \frac{0,0835}{0,358} = 0,233 \Rightarrow 23,3\%$$

Laattaan ei tarvita puristusraudoitusta.

### 6.5.2 Taivutuksen vaatima rauditus

Voimien välinen etäisyys = poikkileikkauksen momenttivarsi lasketaan kaavalla 4:

$$z = \frac{d}{2} * (1 + \sqrt{1 - 2 * \mu}) \quad (4)$$

$$z = \frac{195 \text{ mm}}{2} * (1 + \sqrt{1 - 2 * 0,08315}) = 186,3 \text{ mm} \approx 187 \text{ mm}$$

Tehollisen puristuspinnan suhteellinen korkeus lasketaan kaavalla 5:

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} \quad (5)$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * 0,0835} = 0,087$$

Taivutuksen perusteella vaadittava raudoitus lasketaan kaavalla 6:

$$A_{s.min} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} * z} \quad (6)$$

$$A_{s.min} = \frac{m_{Ed} 54 * 10^6 \text{ Nmm}}{435 \text{ MPa} * 187 \text{ mm}} = \frac{663 \text{ mm}^2}{m}$$

Minimiraudoitus halkeilun kannalta lasketaan kaavalla 7:

$$A_{s.vaad} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} * d \quad (7)$$

$$A_{s.vaad} = 0,26 * \frac{2,9 \text{ MPa}}{435 \text{ MPa}} * 195 \text{ mm} = \frac{338 \text{ mm}^2}{m}$$

Valitaan taivutuksen perusteella laatan alapinnan vaadittu raudoitus, joka samalla täyttää betonin halkeilun vaatiman raudoitusmäärän:

$$A_{min}, A_{vaad} = 663 \text{ mm}^2/m$$

Kokeillaan raudoitusta T12 k 150 mm                      k = tankoväli

Toteutunut raudoituspinta-ala:

$$A_s = \frac{A_{\emptyset}}{k} = 753 \text{ mm}^2/m \quad (\text{Taulukko 1}) (\text{Liite 5})$$

Laatan taivutuskestävyys lasketaan kaavalla 8:

$$m_{Rd} = A_s * f_{yd} * z \quad (8)$$

$$m_{Rd} = 753 \frac{\text{mm}^2}{m} * 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 187 \text{ mm} = \frac{61252785 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}{m} \approx 61,2 \text{ kN/m}$$

Laatan käyttöaste taivutuksen suhteen:

$$\frac{m_{ed}}{m_{rd}} = \frac{54 \text{ kN/m}}{61 \text{ kN/m}} = 0,89\% = OK$$

Valitaan raudoitus T12 k 150 mm. Valittu raudoituspinta-ala ylittää voimasuureiden perusteella sekä lasketun että minimiraudoitusmäärän.

## 6.6 Perustuksen leikkauskestävyyden tarkastaminen

Tarkastetaan perustuksen kestävyys siihen kohdistuvista leikkausvoimista ilman leikkausraudoitusta.

Leikkauslujuuden mitoitusarvon määrittämistä varten lasketaan leikkauslujuuden perusarvo sekä leikkauslujuuden vähimmäisarvo. Näistä suurempi valitaan.

Lasketaan leikkauslujuuden mitoitusarvo:

Pohjalevyn tarkasteluleveys:

$$B_{slab} = 700 \text{ mm}$$

Leikkauslujuuden perusarvo lasketaan kaavalla 9:

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} * b_d * d \quad (9)$$

Betonin kestävyden osavarmuusluku:

$$\gamma_c = 1,5$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \Rightarrow \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

Tehollisen korkeuden kerroin:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \Rightarrow 1 + \sqrt{\frac{200}{195 \text{ mm}}} = 1,01$$

Laatan raudoitussuhde lasketaan kaavalla 10:

$$\rho_l = \frac{A_s}{d} \quad (10)$$

$$\rho_l = \frac{753 \text{ mm}^2/m}{1000 * 195 \text{ mm}} = 0,00376 \approx 0,0038$$

Leikkauslujuuden perusarvo:

$$V_{Rd,c} = 0,12 * 1,71 * (100 * 0,0038 * 30)^{1/3} * 700 * 195 = 63040 \text{ N} \approx 63 \text{ kN}$$

Leikkauslujuuden vähimmäisarvo lasketaan kaavalla 11:

$$V_{Rd,c,min} \geq v_{min} * b_w * d \quad (11)$$

Leikkauslujuuden vähimmäisarvo:

$$v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * \sqrt{f_{ck}} = 0,035 * 1,01^{3/2} * \sqrt{30} = 0,20$$

$$V_{Rd,c,min} \geq 0,20 * 700 \text{ mm} * 195 \text{ mm} = 27300 \text{ N} \approx 27 \text{ kN}$$

Laatan käyttöaste leikkauksen suhteen:

Valitaan leikkauslujuuden perusarvo 63 kN:

$$\frac{N_{Ed}}{V_{Rd,c}} \Rightarrow \frac{31,6 \text{ kN}}{63 \text{ kN}} = 0,50 \% \text{ OK}$$

Laatta ei tarvitse erillistä leikkausraudoitusta.

## 7 YHTEENVETO PORTAALIN PERUSTUSTEN LUJUUSMITOITUKSESTA

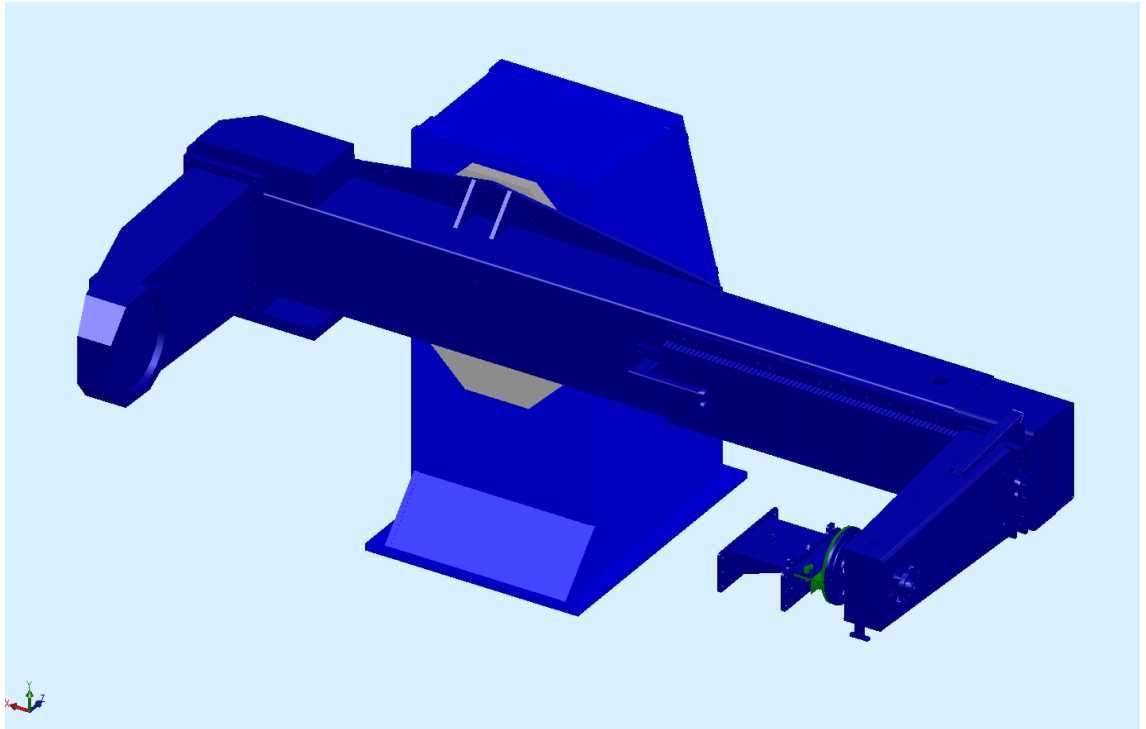
Portaalin perustusten tukireaktiot on määritetty 3D-rakennemallista manuaalisesti. Perustuksiin vaikuttavat kuormitustapaukset ja kuormitusyhdistelmät on eritelty. Perustusten vaatimustenmukaisuus on tarkastettu murtorajatilassa standardin SFS-EN 1990 Suomen kansallisen liitteen [3], sekä standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti [4.]

Tässä opinnäytetyössä esitetty portaalin perustusrakenne riittää kestämään siihen kohdistuvat kuormat.

## 8 C-PÖYTÄ

Laskelmilla tarkastellaan robottiaseman C-pöydän perustusten kestävyttä. Määritellään perustus kestävämmän siihen kohdistuvat kuormat. Tarkasteltava perustus tukee robottiaseman C-pöytää (kuva 18), joka koostuu tukirakenteesta sekä siihen liittyvästä C-varresta ja työkappaleen painosta.

Työkappaleen max. paino C-varteen kiinnitettynä on 3000 kg.



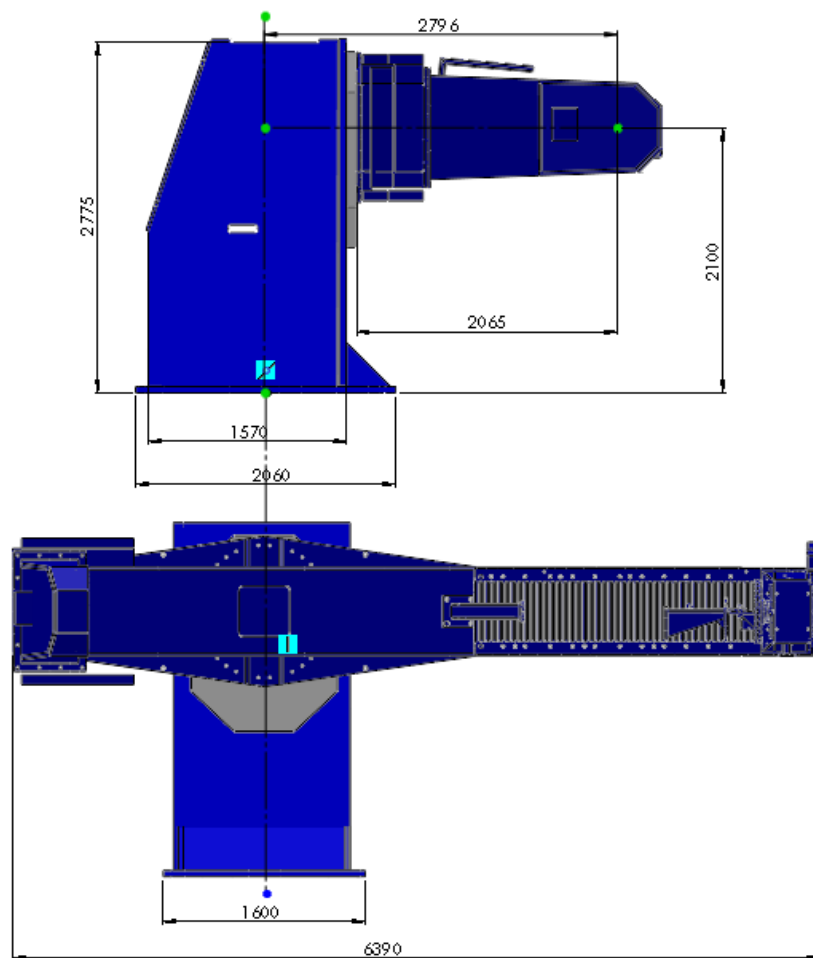
Kuva 17. C-pöytä.

## 8.1 C-pöydän päämitat

C-pöydän rakenteen päämitat on muodostettu step-mallin mukaisilla mitoilla ja profiileilla. Rakenteen päämitat esitetään kuvassa 19. C-pöydän päämitat ovat:

- tukirakenteen korkeus  $h$  2775 mm
- c-varren syvyys 2065 mm
- työkappaleen max. paino 3000 kg
- tukirakenteen leveys tarkastelusuunnassa  $b_{\text{slab}}$  1600 mm.

C-pöytä on alustastaan jäykästi tuettu perustukseen.



Kuva 18. C-pöydän rakenteen päämitat.



## 8.1 Kuormitukset

Rakenteiden massat on saatu laitteiden tyyppikilvistä.

### 8.1.1 Tukirakenteen omapaino

- kuormituksessa otetaan huomioon rakenteen omapaino ( $G_1$ ) **8600 kg** 3D-mallista saaduilla arvoilla. Kuorma vaikuttaa tukirakenteen keskipisteeseen ( $e_1 = 0 \text{ mm}$ ).

### 8.1.2 C-varren omapaino

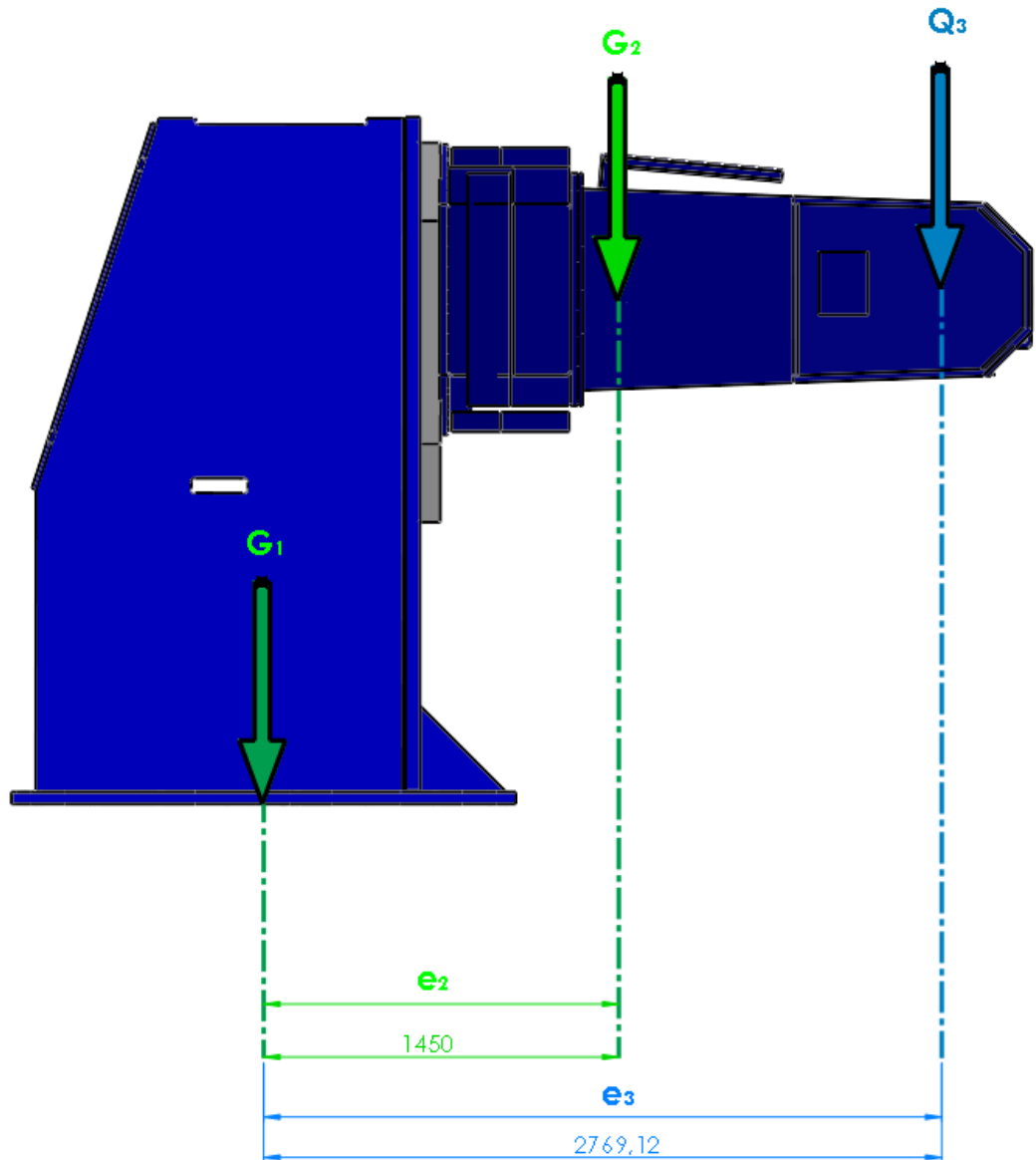
- kuormituksessa otetaan huomioon rakenteen omapaino ( $G_2$ ) **2500 kg** 3D-mallista saaduilla arvoilla. Kuorman vaikutuspisteen etäisyys tukirakenteen keskipisteeseen ( $e_2 = 1450 \text{ mm}$ ).

### 8.1.3 Työkappaleen paino

- kuormituksessa otetaan huomioon työkappaleen suurin sallittu massa ( $Q_3$ ) **3000 kg**. Kuorman vaikutuspisteen etäisyys tukirakenteen keskipisteeseen ( $e_3 = 2770 \text{ mm}$ ).

## 8.2 Rakennemalli

C-pöydän rakennemalli on perustuksen mitoitusta varten muodostettu 3D-mallin mukaisilla mitoilla. Rakennemalli esitetään kuvassa 20.



Kuva 19. C-pöydän rakennemalli.

### 8.3 Tukireaktiot

Lasketaan pysyvien sekä muuttuvien kuormien aiheuttamat tukireaktiot.

#### 8.3.1 Tukirakenteen oman painon aiheuttama tukireaktio

Pystysuuntainen tukireaktio on:

$$G_1 = 8600 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 85 \text{ kN}$$

#### 8.3.2 C-varren oman painon aiheuttamat tukireaktiot

Pystysuuntainen tukireaktio on:

$$G_2 = 2500 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 25 \text{ kN}$$

Kaatava tukimomentti on:

$$M_{G2} = G_2 * e_2 = 25 \text{ kN} * 1.45 \text{ m} = 36,3 \text{ kNm}$$

#### 8.3.3 Työkappaleen aiheuttamat tukireaktiot

$$Q_3 = 3000 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 30 \text{ kN}$$

Kaatava tukimomentti on:

$$M_{Q3} = Q_3 * e_3 = 30 \text{ kN} * 2,77 \text{ m} = 83,1 \text{ kNm}$$

## 9 C-PÖYDÄN PERUSTUKSEN MITOITUS (STR)

Murtorajaa vastaava kuormitusyhdistelmä KY 2 muodostetaan standardin SFS-EN 1990 Suomen kansallisen liitteen mukaisesti [1]. Kuormien mitoitusarvojen yhdistelyssä on käytetty taulukon A1.2(B)(FI) kuormien mitoitusarvot (STR/GEO) (Sarja B), yhtälöä 6.10b. [1]. Murtorajaa vastaava kuormitusyhdistelmä lasketaan kaavalla 12:

$$1,15K_{FI} G_{kj.sup} + 0,9G_{kj.inf} + 1,5K_{FI} Q_{k.l} + 1,5K_{FI} \sum_{i>1} \Psi_{0,i} Q_{k.i} \quad (12)$$

Perustuslaattaan kohdistuu rakenteiden omasta painosta epäedullisia pysyviä kuormia, jolloin käytetään mitoitusarvona murtorajatilan materiaaliosavarmuusluku 1,15. Työkappaleen painon aiheuttamat kuormat ovat määrääviä, vaikutukseltaan suuria muuttuvia kuormia, joista aiheutuvat suurimmat taivuttavat tukireaktiot, jolloin käytetään mitoitusarvona kuormiin murtorajatilan materiaaliosavarmuusluku 1,5.

### 9.1 Kuormitusyhdistelmät

C-pöydän omassa painossa otetaan huomioon:

- KY 1. 1.35 \* C-varren omapaino
- KY 2. 1.15 \* C-varren omapaino + 1.5 \* kiihtyvyydet.

Näistä kuormitusyhdistelmä 2. on määräävä (antaa hieman suuremman arvon = momentin).

## 9.2 Mitoitus murtorajatilassa kuormitusyhdistelmä 2

Perustuksen kestävyys tarkastetaan sekä taivutuksen että leikkauksen suhteen.

### 9.2.1 Tukirakenteen oma paino $G_1$

Pystysuuntainen tukivoima:

$$G_{1.Ed} = 1,15 * G_1 = 1,15 * 85 \text{ kN} = 97,8 \text{ kN}$$

### 9.2.2 C-varren omapaino $G_2$

Pystysuuntainen tukivoima:

$$G_{2.Ed} = 1,15 * G_2 = 1,15 * 25 \text{ kN} = 28,8 \text{ kN}$$

Kaatava tukimomentti:

$$M_{G2.Ed} = 1,15 * MG_2 = 1,15 * 36,3 \text{ kNm} = 42 \text{ kNm}$$

### 9.2.3 Työkappaleen paino $Q_3$

Pystysuuntainen tukivoima:

$$Q_{3.Ed} = 1,5 * Q_3 = 1,5 * 30 \text{ kN} = 45 \text{ kN}$$

Kaatava tukimomentti:

$$M_{Q3.Ed} = 1,5 * MQ_3 = 1,5 * 83,5 \text{ kNm} = 124,7 \text{ kN}$$

### 9.3 Tukireaktioiden mitoitusarvot

Tukirakenteen kautta perustukseen vaikuttavien tukireaktioiden mitoitusarvot kuormitusyhdistelmässä KY-2 ovat:

$$N_{Ed.1} = G_{1.Ed} + G_{2.Ed} + Q_{3.Ed}$$

$$N_{Ed.1} = 97,8 \text{ kN} + 28,8 \text{ kN} + 45 \text{ kN} = 171,6 \text{ kN}$$

Pystysuuntaisten tukireaktioiden mitoitusarvo:

$$N_{Ed} = N_{Ed.1} = 171,6 \text{ kN}$$

Taivutusmomentin mitoitusarvo:

$$M_{Ed} = M_{Ed.1} = M_{G2.Ed} + M_{Q3.Ed}$$

$$M_{Ed.1} = 42 \text{ kNm} + 124,7 \text{ kNm} = 166,7 \text{ kNm}$$

C-pöydän pohjalevyn tarkasteluleveydelle ( $b = 1600 \text{ mm}$ ) jaetun taivutusmomentin mitoitusarvoksi saadaan:

$$m_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b}$$

$$m_{Ed} = \frac{166,7 \text{ kNm}}{1,600 \text{ m}} = 104,2 \text{ kNm/m}$$

## 9.4 Perustuksen raudoitus

Perustuksissa käytettävän betonin lujuusluokaksi valitaan C30/37, jonka materiaaliominaisuudet standardi SFS-EN 1992 [4] mukaan ovat:

- ominaislujuus  $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$
- mitoituslujuus  $f_{cd} = 17 \text{ Mpa}$
- vetolujuus  $f_{ctm} = 0.30 * \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}\right)^{\frac{2}{3}} * \text{MPa} = 2.9 \text{ MPa}$ .

Betoniteräkseksi valitaan A500HW, jonka materiaaliominaisuudet ovat:

- ominaislujuus  $f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$
- mitoituslujuus  $f_{yd} = 435 \text{ Mpa}$ .

Lasketaan perustuksen tehollinen korkeus:

Raudoituksen betonipeitteen paksuudeksi valitaan  $C_{nom}$  50 mm [4] olettaen, että perustus valetaan suoraan tiivistetyn soran päälle. Perustuksen raudoituksessa käytettävän betoniterästangon halkaisijaksi valitaan  $\emptyset$  12 mm ja maanvaraisen laatan paksuudeksi  $H_{slab} = 450 \text{ mm}$ .

Perustuksen tehollinen korkeus lasketaan kaavalla 13:

$$d = H_{slab} - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} \quad (13)$$

Perustuksen teholliseksi korkeudeksi tulee:

$$d = 450 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - \frac{12 \text{ mm}}{2} = 394 \text{ mm}$$

Raudoituksen mitoitus suoritetaan taivutetun poikkileikkauksen tapaan, jossa määritetään poikkileikkauksen suhteellinen momentti, puristuspinnan tehollinen korkeus, mitoitusmomentin edellyttämä raudoitus sekä minimiraudoitusala halkeilun rajoittamiseksi.

#### 9.4.1 Laatan puristuskestävyys

Lasketaan laatan puristuskestävyys:

Suhteellinen momentti lasketaan kaavalla 14:

$$\mu = \frac{m_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{ec}} \quad (14)$$

$$\mu = \frac{104,2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot 394^2 \text{ mm}^2 \cdot 17 \text{ MPa}} = 0,039$$

Suhteellisen momentin raja-arvo:

$$\mu_b = 0.358$$

Tarkastetaan puristuslujuuden käyttöaste

$$\frac{\mu}{\mu_b} = \frac{0,039}{0,358} = 0,125 \approx 11 \% \text{ OK}$$

Laattaan ei tarvitse puristusraudoitusta.

#### 9.4.2 Taivutuksen vaatima rauditus

Voimien välinen etäisyys = Poikkileikkauksen momenttivarsi lasketaan kaavalla 15:

$$z = \frac{d}{2} * (1 + \sqrt{1 - 2 * \mu}) \quad (15)$$

$$z = \frac{394 \text{ mm}}{2} * (1 + \sqrt{1 - 2 * 0,045}) = 384,9 \text{ mm} \approx 385 \text{ mm}$$



Taivutuksen perusteella vaadittava raudoitus lasketaan kaavalla 16:

$$A_{s.min} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} * z} \quad (16)$$

$$A_{s.min} \frac{103,9 * 10^6 \text{ Nmm}}{435 \text{ MPa} * 385 \text{ mm}} = 621 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Minimiraudoitus halkeilun kannalta lasketaan kaavalla 17:

$$A_{s.vaad} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} * d \quad (17)$$

$$A_{s.vaad} = 0,26 * \frac{2,9 \text{ MPa}}{435 \text{ MPa}} * 385 \text{ mm} = 620 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Valittu raudoituspinta-ala ylittää voimasuureiden perusteella lasketun minimiraudoitusmäärän:

$$A_{s.vaad} \leq A_{s.min} = 620 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \leq 621 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} = OK$$

Valitaan taivutuksen perusteella laatan alapintaan vaadittava raudoitus, joka samalla täyttää betonin halkeilun vaatiman raudoitusmäärän:

$$A_{min}, A_{vaad} = 621 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Kokeillaan raudoitusta T12 k 150 mm                      k = tankoväli

Toteutunut raudoituspinta-ala:

$$A_s = \frac{A_{\emptyset}}{k} = 753 \text{ mm}^2/\text{m} \quad (\text{Taulukko 1}) (\text{Liite 5})$$

Laatan taivutuskestävyys lasketaan kaavalla 18:

$$m_{Rd} = A_s * f_{yd} * z \quad (18)$$

$$m_{Rd} = 753 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 385 \text{ mm} = 126108675 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \approx 126 \text{ kN/m}$$

Laatan käyttöaste taivutuksen suhteen:

$$\frac{m_{ed}}{m_{rd}} = \frac{103,9 \text{ kN/m}}{126 \text{ kN/m}} = 0,83\% = OK$$

Valitaan rauditus T12 k150mm. Valittu raudituspinta-ala ylittää voimasuureiden perusteella sekä lasketun että minimirauditusmäärän.

### 9.5 Perustuksen leikkauskestävyyden tarkastaminen

Tarkastetaan perustuksen kestävyys siihen kohdistuvista leikkausvoimista ilman leikkausraudoitusta.

Leikkauslujuuden mitoitusarvon määrittämistä varten lasketaan leikkauslujuuden perusarvo sekä leikkauslujuuden vähimmäisarvo. Näistä suurempi valitaan.

Lasketaan leikkauslujuuden mitoitusarvo:

Pohjalevyn tarkasteluleveys

$$B_{slab} = 1600 \text{ mm}$$

Leikkauslujuuden perusarvo lasketaan kaavalla 19:

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} * b_d * d \quad (19)$$

Betonin kestävyden osavarmuusluku  $\gamma_C = 1,5$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_C} \Rightarrow \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

Tehollisen korkeuden kerroin:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \Rightarrow 1 + \sqrt{\frac{200}{394 \text{ mm}}} = 1,71$$

Laatan raudoitussuhde lasketaan kaavalla 20:

$$\rho_l = \frac{A_s}{1000 * d} \quad (20)$$

$$\rho_l = \frac{785 \text{ mm}}{1000 * 394 \text{ mm}} = 0,001992 \approx 0,002$$

Leikkauslujuuden perusarvo:

$$V_{Rd,c} = 0,12 * 1,71 * (100 * 0,002 * 30)^{1/3} * 1600 * 394 = 235059 \text{ N} \approx 235 \text{ kN}$$

Leikkauslujuuden vähimmäisarvo lasketaan kaavalla 21.

$$V_{Rd,c,min} \geq v_{min} * b_w * d \quad (21)$$

Leikkauslujuuden vähimmäisarvo:

$$v_{min} = 0,035 * k^2 * \sqrt{f_{ck}} = 0,035 * 1,71^2 * \sqrt{30} = 0,43$$

$$V_{Rd,c,min} \geq 0,43 * 1600 \text{ mm} * 394 \text{ mm} = 271072 \text{ N} \approx 271 \text{ kN}$$

Laatan käyttöaste leikkauksen suhteen:

Valitaan leikkauslujuuden vähimmäisarvo 271 kN:

$$\frac{N_{Ed}}{V_{Rd,c}} \Rightarrow \frac{171,6 \text{ kN}}{271 \text{ kN}} = 0,68\% \text{ OK}$$

Laatta ei tarvitse erillistä leikkausraidoitusta.

## 10 YHTEENVETO C-PÖYDÄN PERUSTUSTEN LUJUUSMITOITUKSESTA

C-pöydän perustusten tukireaktiot ovat määritetty 3D-rakennemallista manuaalisesti. Perustuksiin vaikuttavat kuormitustapaukset ja kuormitusyhdistelmät ovat eritelty. Perustusten vaatimustenmukaisuus on tarkastettu murtorajatilassa standardin SFS-EN 1990 Suomen kansallisen liitteen [3], sekä standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisesti [4].

Tässä opinnäytetyössä esitetty C-pöydän perustusrakenne riittää kestäämään siihen kohdistuvat kuormat.

## 11 L-PÖYTÄ

L-pöydän perustukset mitoitetaan C-pöydän mitoituservoilla.

L-pöydän perustuksiin vaikuttavat kuormitukset ovat pienemmät kuin C-pöydältä perustuksiin kohdistuvat kuormitukset. L-pöydän perustukset kestävät siihen kohdistuvat kuormitukset, eikä niitä lasketa erikseen.

## 12 PERUSTUKSIEN MITTA-, LEIKKAUS- JA RAUDOITUSPIIRUSTUKSET

Perustuksen mitta-, leikkaus- ja raudoituspiirustukset esitetään liitteissä 6-14.

### 13 YHTEENVETO OPINNÄYTETYÖSTÄ

Hitsausrobotiaseman perustusten suunnittelu ja siihen liittyvien laitteiden mallintaminen oli mielenkiintoinen ja sopivan haastava työ. Perustuksien suunnittelussa tuli huomioida Eurokoodien Suomen kansallisen liitteen sekä Suomen Rakennusmääräyskokoelman ohjeita ja määräyksiä. Laitteiden perustuksien tuli riittävällä varmuudella kestää siihen kohdistuvat kuormat ja täyttää asetetut vaatimukset hitsausrobotiasemaan liittyvien laitteiden osalta. Hitsausrobotiaseman mitoituksen tarkkuus aseman geometrian säilymisen kannalta oli tärkeää, koska asema tuli saada siirron jälkeen nopeasti toimintaan tehtaan tuotannon häiriintymättä.

Hitsausrobotiaseman 3D-mallista oli helppo havainnoida visuaalisesti laitteiden sijainti sekä niiden vaatimat tilat. Laitteiden liikeratojen mahdolliset törmäykset olivat heti nähtävillä mallista. SolidWorks 3D-mallista saadaan muodostettua rakennepiirroksia. 3D-mallista tehdyt sivu-, taso- ja leikkauskuvat myös päivittyvät avattaessa piirros mallin muokkauksen jälkeen. SolidWorks-mallintamisohjelmassa ei ollut tarvittavia viivalajeja ja piirrosmerkkejä rakennuspiirustuksien tekemiseen. 3D-mallit tallennettiin DWG-muodossa, jolloin piirruskuvat pystyttiin avaamaan esim. DraftSight- tai AutoCAD 2D-ohjelmissa. Piirustuksiin lisättiin viivalajit, mittaviivat sekä rakennuspiirrosmerkit DraftSight 2D-ohjelmalla. SolidWorks on monipuolinen 3D-mallintamisohjelma koneiden ja laitteiden suunnitteluun. Malli voidaan tallentaa useisiin erilaisiin tiedostomuotoihin ja avata useimmilla muilla ohjelmilla.

## LÄHTEET

- [1] Ponsse Oyj. Kotisivut. <http://www.ponsse.com/fi/ponsse> (Viitattu: 7.10.2016.)
- [2] Dassault Systèmes SolidWorks Corp. Kotisivut. [http://www.solidworks.fi/sw/6453\\_SVF\\_HTML.htm](http://www.solidworks.fi/sw/6453_SVF_HTML.htm) (Viitattu: 3.11.2016.)
- [3] SFS-EN 1990 + A1 + AC Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. <http://www.eurocodes.fi/1990/1990/NA%20SFS-EN1990-YM.pdf> Kansallinen liite. (Viitattu: 2.9.2016.)
- [4] Suomen Standardisoimisliitto SFS. SFS-EN 1992-1-1 + AC, Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt + kansallinen liite.
- [5] Betonirakenteiden suunnittelu. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Kurssi: Betonirakenteiden suunnittelu: Matti Tiainen. 2014.



## LIITTEET

## SFS-EN 1990 taulukko B1 (FI)

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai</i> hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko <sup>1)</sup> jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten <ul style="list-style-type: none"> <li>– yli 8-kerroksiset<sup>2)</sup> asuin-, konttori- ja liikerakennukset</li> <li>– konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot</li> <li>– raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset</li> </ul> Erikoisrakenteet kuten esim. suuret mastot ja tornit Luiskat sekä penkerpeet ja muut rakenteet hienorakeisten maalajien alueilla siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä.
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai</i> merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai</i> pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä kuten esim. varastot Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten <ul style="list-style-type: none"> <li>– matalalla olevat alapohjat, ilman kellaritiloja</li> <li>– ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne</li> <li>– sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana</li> <li>– standardin SFS-EN 1993-1-3:n rakenneluokkien (structural class) II ja III muotolevyrakenteet.</li> <li>– standardin SFS-EN 1993-1-3:n rakenneluokan (structural class) I muotolevyrakenteet levyyn taivutusta aiheuttaville pintaa vasten kohtisuorille kuormille<sup>3)</sup>.</li> </ul>

## SFS-EN 1992-1-1 Suomen kansallinen liite

Taulukko A1.2(B) (FI) Kuormien mitoitusarvot (STR/GEO) (Sarja B)

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitusolot	Pysyvät kuormat		Määräävä muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)
	Epäedulliset	Edulliset		
(Yht. 6.10a)	$1,35 K_{FI} G_{kj,sup}$	$0,9 G_{kj,inf}$		
(Yht. 6.10b)	$1,15 K_{FI} G_{kj,sup}$	$0,9 G_{kj,inf}$	$1,5 K_{FI} Q_{k,1}$	$1,5 K_{FI} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(\*)Taulukon A.1.1 mukaiset kuormat ovat muuttuvia kuormia.

Huom. 1: Mitoituskaavana asia voidaan ilmaista siten, että kuormien yhdistelmänä käytetään epäedullisempaa kahdesta seuraavasta lausekkeesta, jolloin on huomattava, että jälkimmäinen lauseke sisältää vain pysyviä kuormia:

$$\begin{cases} 1,15 K_{FI} G_{kj,sup} + 0,9 G_{kj,inf} + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum_{i=1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ 1,35 K_{FI} G_{kj,sup} + 0,9 G_{kj,inf} \end{cases}$$

$K_{FI}$  riippuu standardin SFS-EN 1990 liitteen B taulukon B2 mukaisesta luotettavuusluokasta seuraavasti:

luotettavuusluokassa RC3  $K_{FI} = 1,1$   
 luotettavuusluokassa RC2  $K_{FI} = 1,0$   
 luotettavuusluokassa RC1  $K_{FI} = 0,9$ .

Luotettavuusluokkia selventävät seuraamusluokat CC3 ... CC1 esitetään liitteessä B.

Huom. 2: Katso myös standardeista SFS-EN 1992 ... SFS-EN 1999 pakkosiirtymä- tai pakkomuodonmuutostilalle käytettäviä osavarmuushuvun  $\gamma$ -arvoja.

Huom. 3: Kaikkien samasta syystä aiheutuvien pysyvien kuormien ominaisarvot kerrotaan osavarmuushuvulla  $\gamma_{G,sup}$ , jos kuorman kokonaisvaikutus on epäedullinen ja osavarmuushuvulla  $\gamma_{G,inf}$ , jos kuorman kokonaisvaikutus on edullinen. Esimerkiksi kaikkien rakenteen omasta painosta aiheutuvien kuormien voidaan katsoa aiheutuvan samasta syystä; tämä pitää paikkansa silloinkin, kun kyseessä on erilaisia materiaaleja.

Huom. 4: Erityistarkasteluissa osavarmuushuvujen  $\gamma_G$  ja  $\gamma_Q$  arvot voidaan jakaa osiin  $\gamma_g$  ja  $\gamma_q$  ja mallin epävarmuuskertoimeen  $\gamma_{Sd}$ . Useimmissa tapauksissa voidaan käyttää välillä 1,05 ... 1,15 olevaa epävarmuuskertoimen  $\gamma_{Sd}$  arvoa.

Huom. 5: Pohjarakenteiden geoteknisen suunnittelun osalta katso standardi SFS-EN 1997-1 kansalliseen liitteeseen.

Seuraamusluokkaa CC vastaava luotettavuusluokka ja kuormakerroin  $K_{FI}$  voidaan valita seuraavasti:

Seuraamusluokka	Luotettavuusluokka	$K_{FI}$
CC3	RC3	1,1
CC2	RC2	1,0
CC1	RC1	0,9

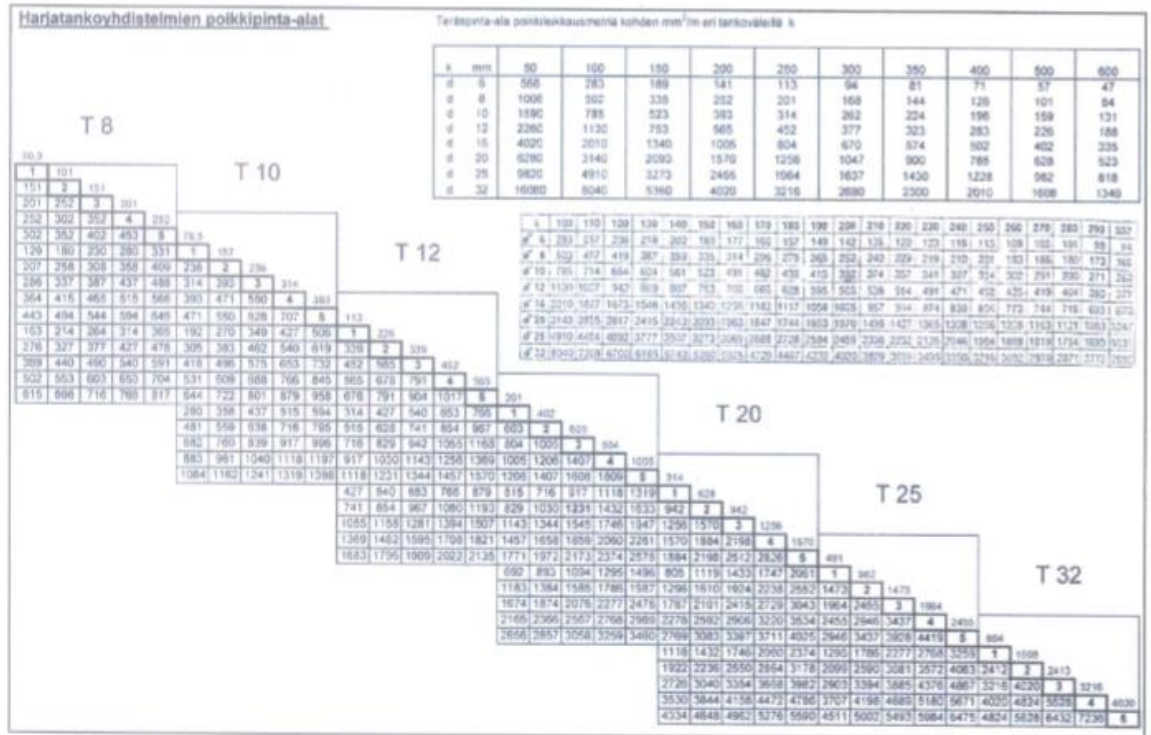
Kuormakerrointa  $K_{FI}$  käytetään murtorajatilän kuormitusyhdistelyissä 6.10, 6.10a ja 6.10b, kun lasketaan epäedullisia kuormia. Edullisissa tai käyttörajatilän kuormitusyhdistelyissä  $K_{FI}$ -kerrointa ei käytetä.

Betonin osavarmuusluvut Standardin SFS-EN 1992-1-1, kansallinen liite taulukko 2.1N (FI)

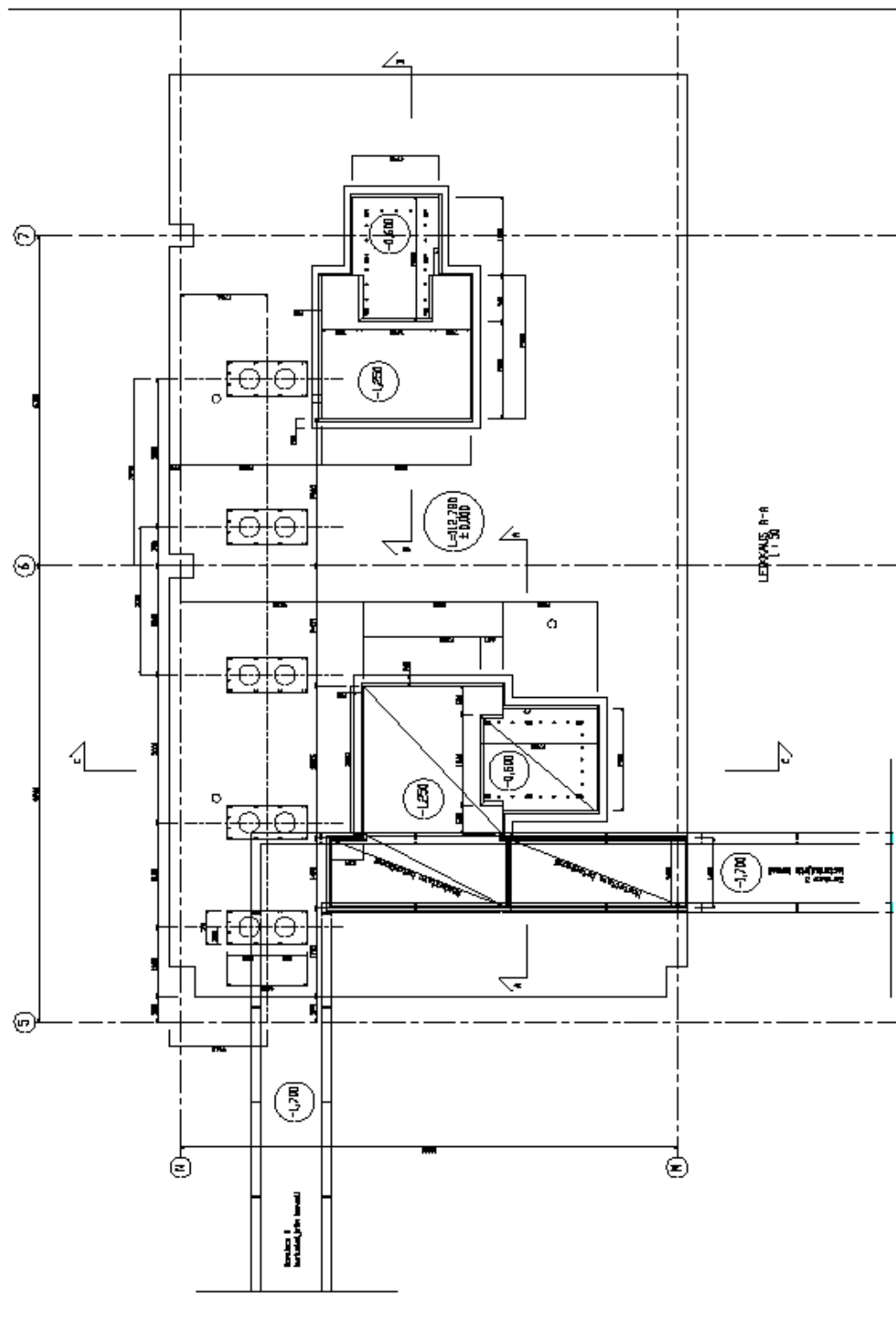
Mitoitustilanne	Betonin $\gamma_c$	Betoniteräksen $\gamma_s$	Jänneteräksen $\gamma_s$
Normaalisti vallitseva ja tilapäinen	1,5	1,15	1,15
Onnettomuus	1,2	1,0	1,0

Taulukko 1.

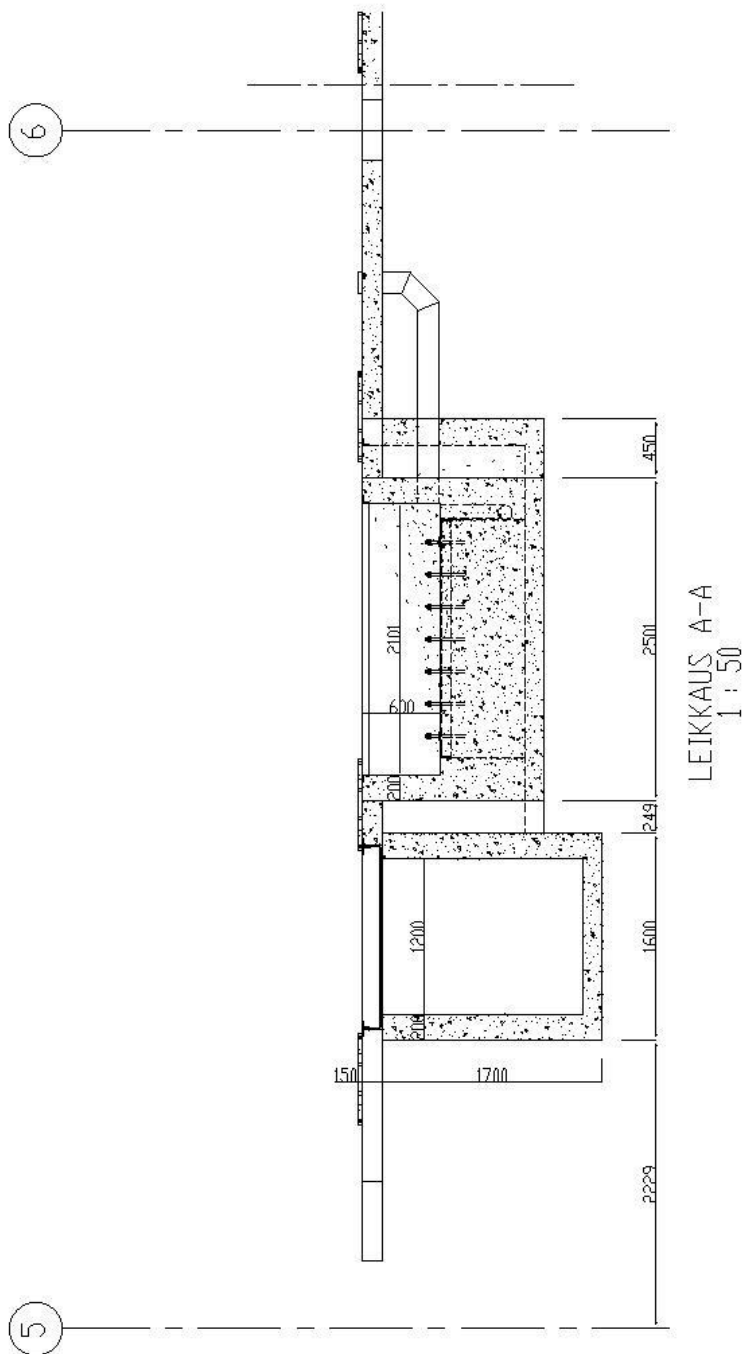
Harjatankoyhdistelmien poikkipinta-alat:



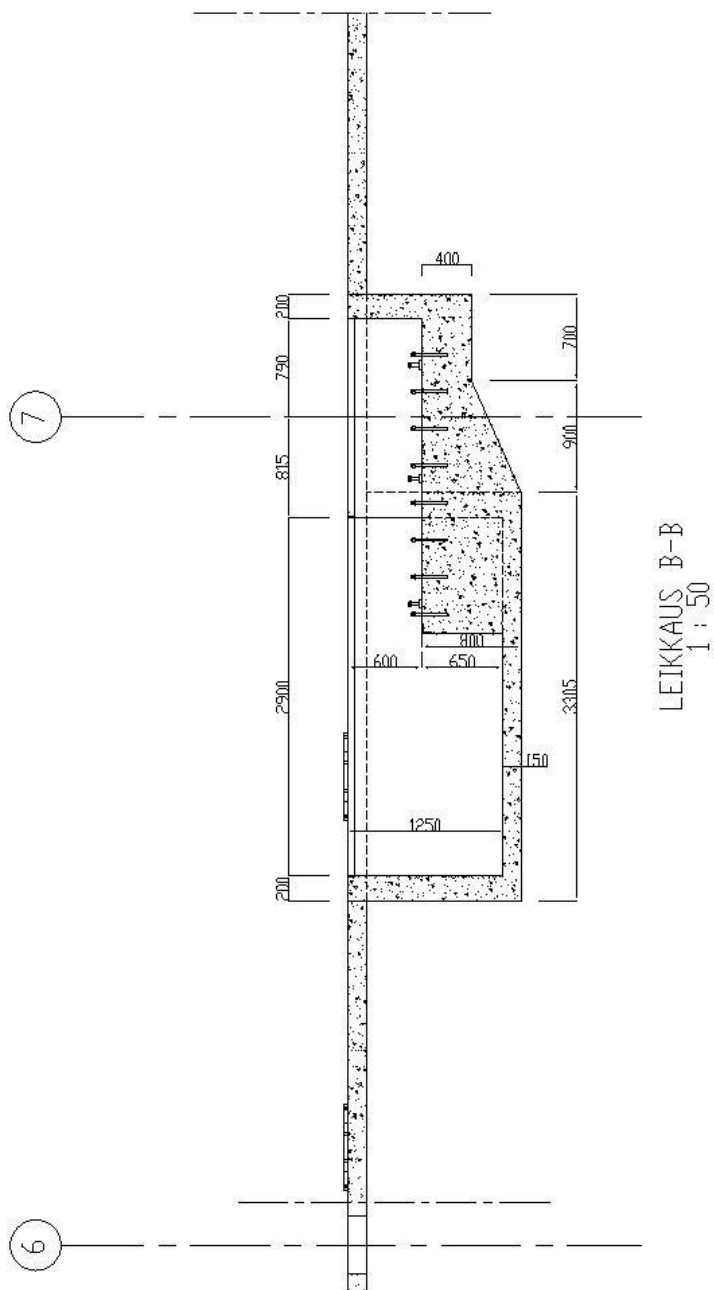
Pohjapiirros



Leikkaus A-A

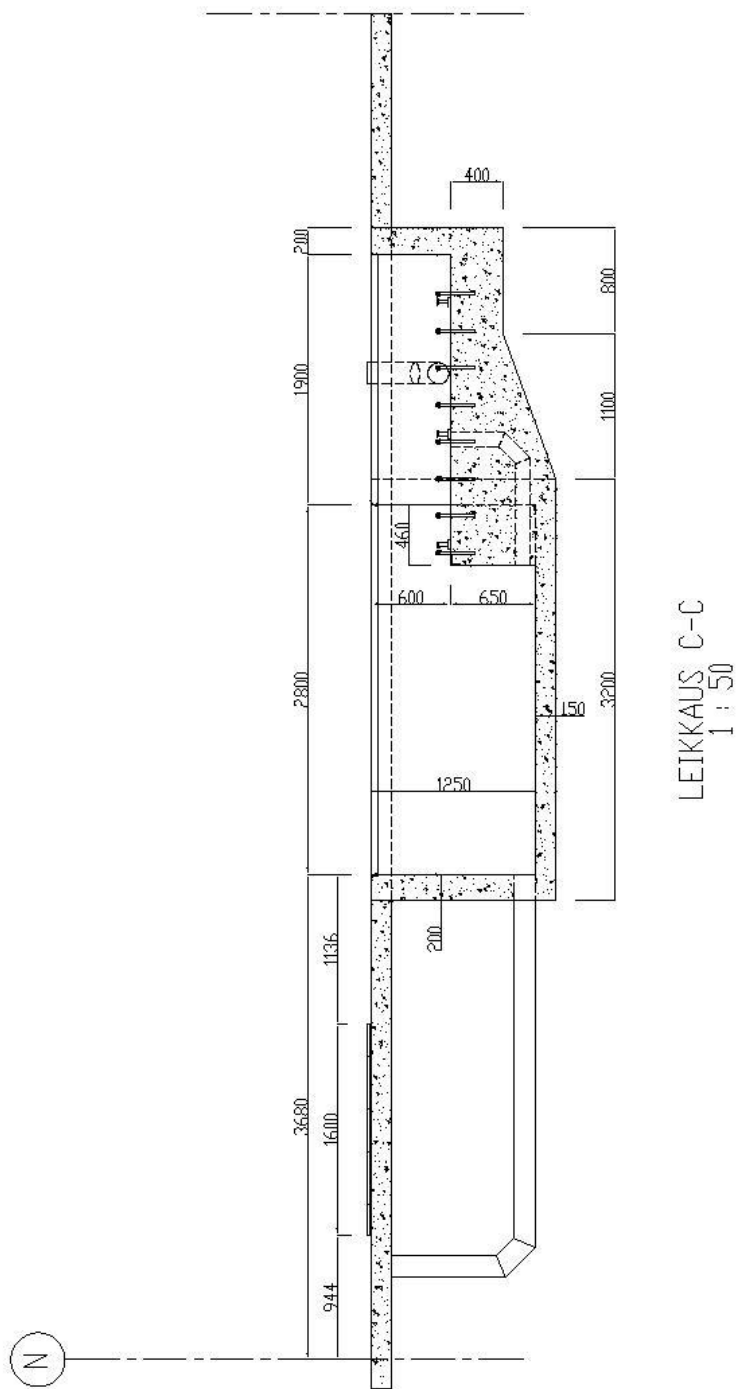


Leikkaus B-B



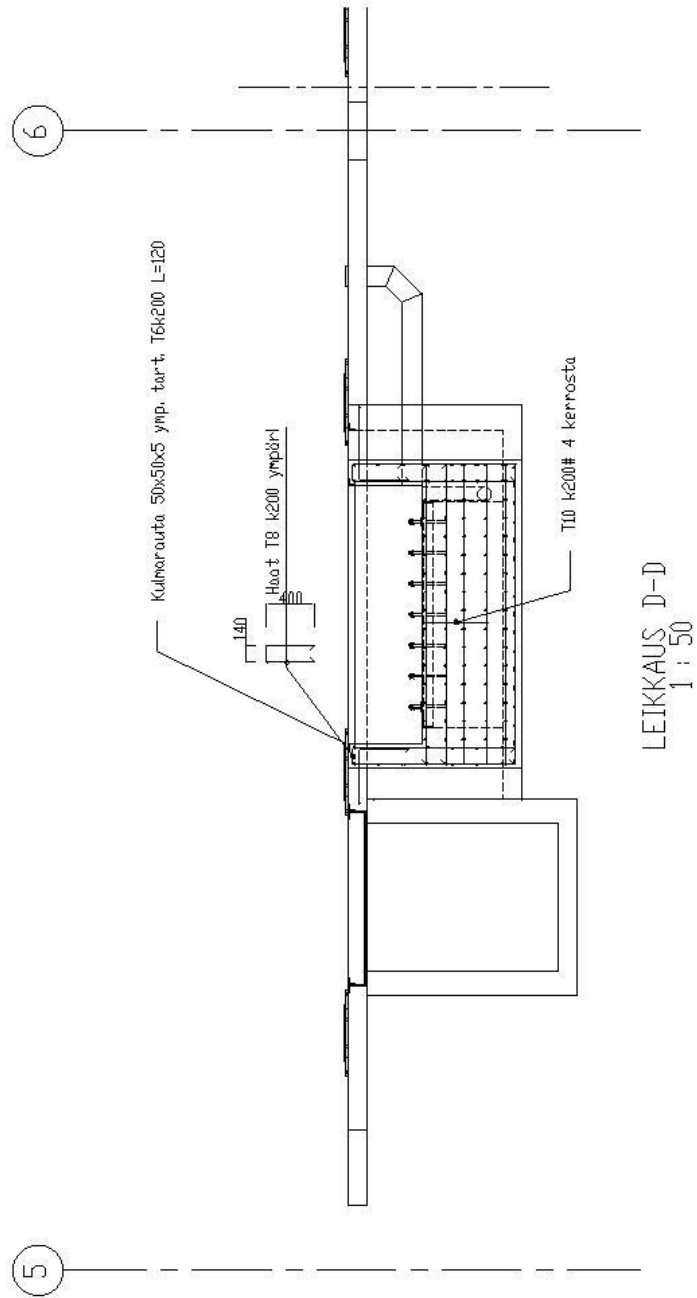


Leikkaus C-C

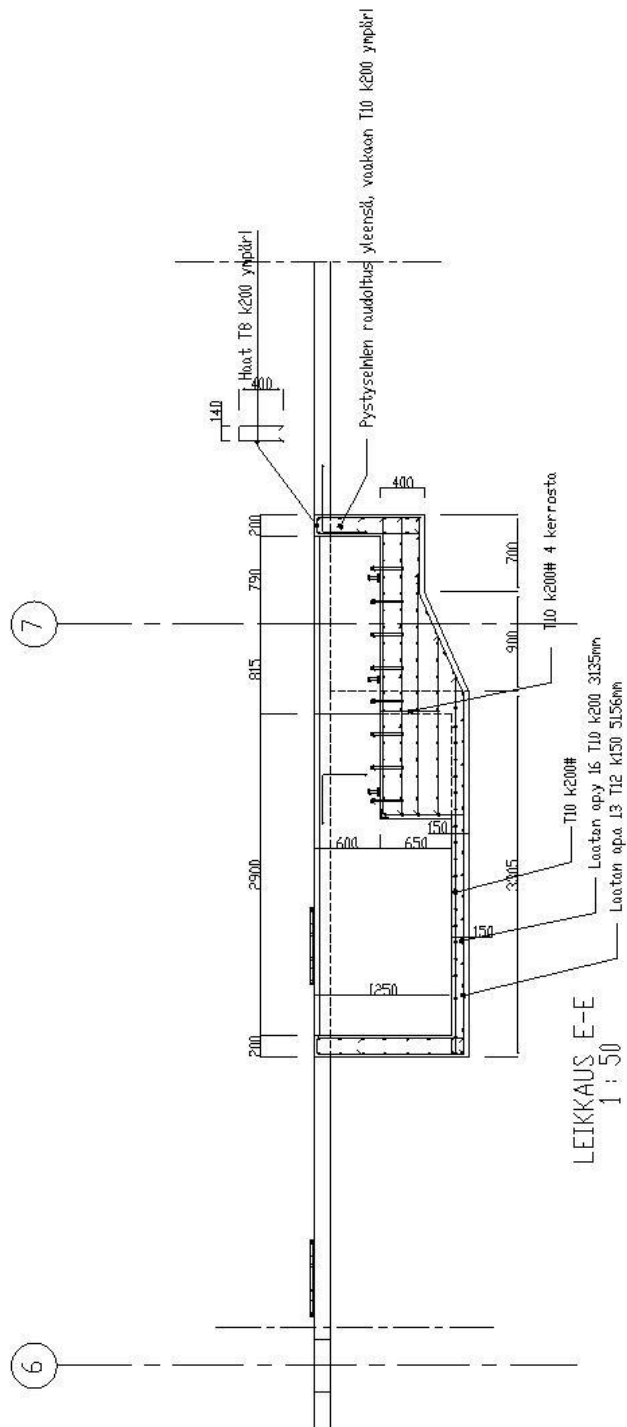




Raudoitus leikkaus D-D

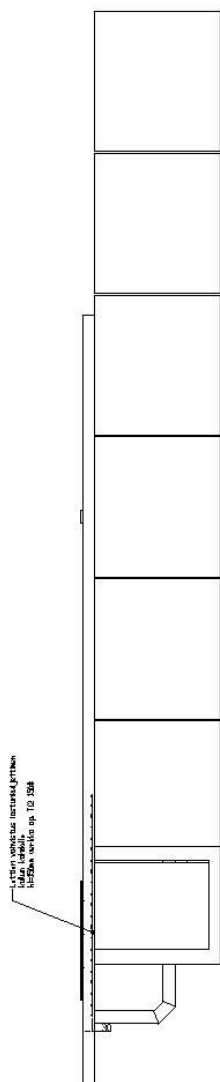


Raudoitus leikkaus E-E





# Raudoitus leikkaus G-G



LEIKKAUS G-G  
1 : 50