

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Koneautomaatiotekniikka

2018

Valtteri Kupiainen

SILTANOSTURIN PUOLIAUTOMAATTINEN NOSTOLUUKKU

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2018 | 31 + 5

Valtteri Kupiainen

SILTANOSTURIN PUOLIAUTOMAATTINEN NOSTOLUUKKU

Tässä opinnäytetyössä toteutetaan Atermek Oy:n saama tilaus. Työssä rakennetaan ja asennetaan siltanosturin luukku. Työn tilaaja oli BM Turku Oy. Siltanosturi kulkee luukusta viedessään betonielementtejä varastokatokseen. Luukku rakennettiin varastokatoksen rakennustöiden yhteydestä.

Toiminnaltaan luukku tulisi olla sähköisesti ohjattu. Luukun tulisi aueta ja sulkeutua automaattisesti. Luukusta haluttiin rakenteeltaan yksinkertainen, luotettava toimivuudeltaan, käyttäjille helppokäyttöinen ja huoltoystävällinen.

Työssä selvitetään luukun rakentamisen edellytykset. Suunnittelussa apuna käytetään Solidworks 3D -mallinnusohjelmaa. Luukun avaus toteutettiin sähkökäyttöisellä jarrullisella vaihdemoottorilla. Luukku rakennettiin Atermek Oy:n tiloissa, josta se kuljetettiin asiakkaalle asennettavaksi.

Käyttöönotossa ei tullut vastaan ongelmia, joita ei saatu ratkaistua. Luukku toimi lopuksi niin, kuin sen haluttiin toimivan.

ASIASANAT:

siltanosturiluukku, suunnittelu, asennus, luukku.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

2018 | 31 + 5

Valtteri Kupiainen

SEMI-AUTOMATIC LIFTING DOOR OF A BRIDGE CRANE

The purpose of this thesis was to execute a project order received by Atermek Oy. The job was to manufacture and install a bridge crane door. The job was commissioned by BM Turku Oy. The bridge crane uses the door when it carries concrete elements out of the stock shelter. The door was built at the same time as the stock shelter.

In the study the conditions for building the door were found out. Design was done by help of Solidworks 3D modeling program. The opening of the door was done using an electric brake gear motor. The door was built at Atermek Oy's factory, from where it was transported to the customer for installation.

The test run did not bring out any problems that could not have been solved. Finally, the door worked flawlessly.

KEYWORDS:

Bridge crane door, design, install, hatch.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 Tavoitteet	6
1.2 Atermek Oy	6
1.3 BM Turku Oy	6
2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT	7
2.1 Asiakkaan vaatimukset	7
2.2 Työtä koskevat rajoitteet	7
3 SUUNNITTELU/MITOITTAMINEN	8
3.1 Luukun mitoittaminen	8
3.2 Nostomekanismin mitoitus	13
3.3 Sähkösuunnittelu	16
3.4 Muut avausmekanismit	20
4 VALMISTUS	21
4.1 Rungon valmistus	21
4.2 Luukun viimeistely	21
4.3 Nostoapuväline	22
5 ASENNUS	23
5.1 Kuljetus	23
5.2 Mekaaninen asennus	23
5.3 Sähköinen asennus	25
6 KÄYTTÖÖNOTTO	27
6.1 Luukun toiminnan testaaminen	27
7 MUUTOSTYÖT	28
7.1 Mekaaniset muutokset	28
7.2 Sähköiset muutostyöt	29
8 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	31

LIITTEET

- Liite 1. Sähköpiirustukset.
Liite 2. Nostoapuväline.

KUVAT

Kuva 1. Siltanosturin kulkuaukko.	8
Kuva 2. Rungon rakenne ilman villaa ja kuumasinkittyjä levyjä.	9
Kuva 3. 3D-havainnekuva luukusta.	10
Kuva 4. Luukun sarana.	13
Kuva 5. kuvassa näkyy moottori, vaihteisto, ketjurataslukitus, liukulaakeri ja vaijerin kiinnitys akseliin.	14
Kuva 6. Luukun ohjauskeskuksen kansi, jossa merkkivalo ja painonapit.	17
Kuva 7. Ohjauskeskus, muutostöiden jälkeen.	19
Kuva 8. Vaijerin ankkurointi TT -palkkiin.	24
Kuva 9. Vaijerin ankkuri.	24
Kuva 10. Kaapeliin tehty silmukka, jolla vähennetään kaapelin rasiitusta.	26
Kuva 11. Moottorin vasemmalla puolella näkyy rajakytkin ja häirtälevy.	27
Kuva 12. Havainnekuvasa vastapainon toiminta periaate.	28
Kuva 13. Valmistunut siltanosturin nostoluukku.	30
Kuva 14. Sähkökuva luukun avauksesta (Salkimo 2017, 1).	1
Kuva 15. Sähkökuva luukun avauksesta, muutostyön jälkeen. Aikarele lisätty luukun sulkeutumiseen (Salkimo 2017, 2).	2
Kuva 16. Väliasioiden kaapelien kytkentäkuva riviliittimiin, johdintunnuksin.	3
Kuva 17. Luukun avauksen havainnekuva kaapeloinneista.	4
Kuva 18. Nostoapuvälinen Solidworks 3D -malli.	1

KUVIOT

Kuvio 1. Vapaakappalekuva vaijereihin kohdistuvasta voimasta (Öberg, Sessio LO11).	15
Kuvio 2. Vapaakappalekuva akseliin kohdistuvasta momentista.	16

TAULUKOT

Taulukko 1. Luukun kohdistuvat rasiitukset. Muutokset korostettu 150-kertaiseksi kuvassa.	11
Taulukko 2. Luukun muodonmuutokset. Muutokset korostettu 150-kertaiseksi kuvassa.	12

1 JOHDANTO

1.1 Tavoitteet

Työn tavoitteena on toteuttaa tilaus, jonka Atermek Oy on saanut BM Turku Oy:ltä. Toimeksiantona on siltanosturin luukun suunnittelu, valmistaminen, asennus ja käyttöönotto. BM Turku on laajentanut Turun tehtaan toimitilojaan rakentamalla tehdashallin jatkoksi varastokatoksen. Rakennustöiden yhteydessä tehdashallin päätyyn tehtiin ovien yläpuolelle siltanosturin luukku, jotta siltanosturilla pystytään kuljettamaan elementtejä ulos katoksen varastointipaikoille.

1.2 Atermek Oy

Atermek Oy on 1989 toimintansa aloittanut, Turun kupeessa Ojannon teollisuusalueella toimiva täyden palvelun konepaja. Henkilöstöä yrityksessä on hieman vajaa 10 henkeä. Päätoimialana on erilaisten koneiden ja laitteiden suunnittelu ja valmistus, sekä lähinnä ruostumattomasta teräksestä valmistettavat ohutlevytuotteet. Asiakkaita ovat muun muassa Finnheims (helikopterilavetit), Schindler, AMS-lift (hissit), Meyer Turku (hyttiensiirtolaitteet), Aurajoki Oy, LSP Oy (pintakäsittelylaitteet).

1.3 BM Turku Oy

BM Turku Oy aloitti toimintansa 2010 (Kauppalehti 2018). Se kuuluu BM-ryhmään, jonka toiminta on alkanut 1988. Yritys valmistaa betonielementtejä rakennustarkoitukseen (betonimestarit 2018).

2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

2.1 Asiakkaan vaatimukset

BM Turku Oy tilasi siltanosturille luukun. Luukku tulisi seitsenmetristen halliovien yläpuolelle ilman alakarmia, jotta nosturi pystyisi kuljettamaan elementtejä ovista. Siltanosturin kulkuaukon pinta-ala on noin 48 m². Energian säästämiseksi luukku tuli olla villoitettu lämpöä eristäväksi. Käytöltään luukku tulisi olla sähköisesti ohjattu. Luukun tulisi aueta ja sulkeutua automaattisesti. Luukusta haluttiin rakenteeltaan yksinkertainen, luotettava toimivuudeltaan, käyttäjille helppokäyttöinen ja huoltoystävällinen.

2.2 Työtä koskevat rajoitteet

Työssä on useita rajoitteita, jotka piti ottaa huomioon niin suunnittelussa, valmistuksessa kuin myös asennuksessa. Suunnittelun suurin haaste oli yläpuolisen tilan mataluus. Luukun tuli olla lähes yläpuolisissa kattopalkeissa kiinni ollessaan auki, jotta siltanosturi mahtuisi kulkemaan sisään ja ulos. Siltanosturin tarvitseman kulkuaukon koosta johtuen tilaa aukon yläreunan ja katonpalkkien väliin ei jäänyt kuin 150 mm. Luukun oli noustava auetessaan kokonaan aukon ylä reunan yläpuolelle. Tämä tuli ottaa huomioon suunnittelussa ja etenkin luukun saranoinnissa.

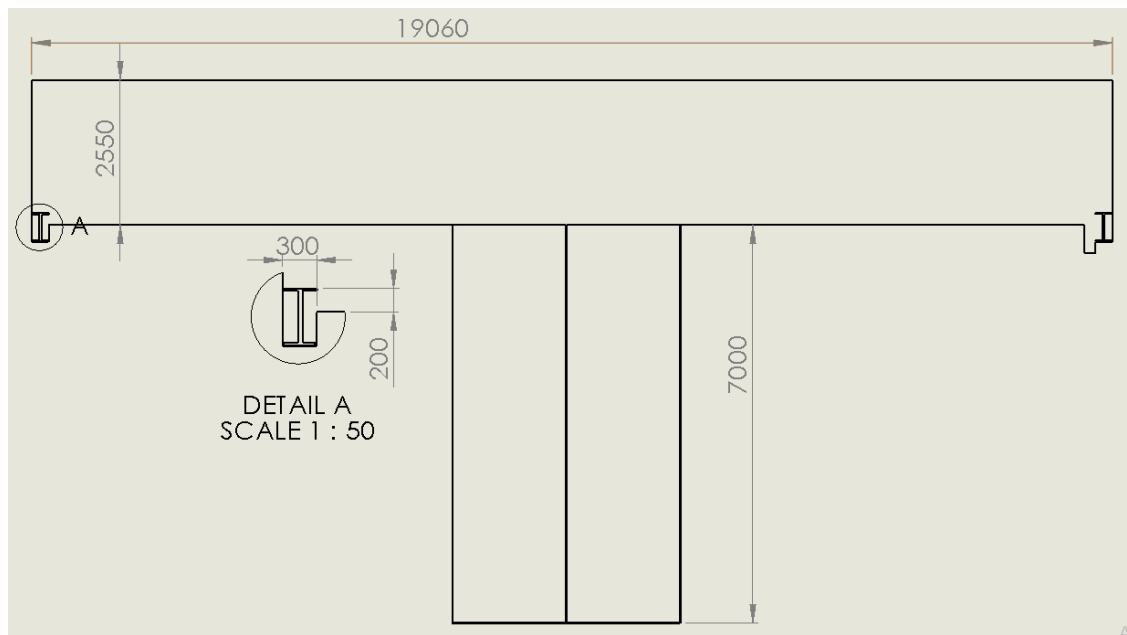
Luukku valmistetaan Atermek Oy:n tiloissa Ruskolla. Suunniteltaessa on myös otettava huomioon valmistustilan koko. Hallin koosta johtuen luukku ei pystytty valmistamaan täysmittaisena, joten luukku oli valmistettava kahdesta osasta. Tämä helpottaa myös luukun kuljetusta ja asentamista kohteeseen.

Asennukseen tarvitaan nostin, jolla pystytään nostamaan luukku paikoilleen ja pitämään turvallisesti paikoillaan asennuksen aikana. Tässä tilanteessa oli myös helpompaa, että luukku on valmistettu kahdesta osasta. Nostoa rajoittaa myös pieni korkeusero luukun ja katon välissä. Luukun nosto tuli suunnitella siten, että nostokiinnitys mahdollistaa luukun nostamisen riittävän korkealle.

3 SUUNNITTELU/MITOITTAMINEN

3.1 Luukun mitoittaminen

Siltanosturille oli valmiiksi tehty rakennustöiden aikana aukko seinään, josta se mahtui kulkemaan. Luukun mitoittaminen aloitettiin aukon mitaamisella. Mittaamiseen käytettiin laseretäisyysmittaria. Aukon leveydeksi mitattiin 19060 mm ja korkeudeksi 2550 mm. Aukon molemmissa alareunoissa on kiskot, joita pitkin siltanosturi kulkee. Kiskot ovat korkeudeltaan noin 500 mm korkeat ja 300 mm leveät. Kiskojen yläpinta on aukon alareunaa ylempänä. Tästä johtuen luukun molempia alakulmia pitää kolota 350mm leveys- ja 260 mm korkeus-suunnassa. Aukon reunat olivat mittaustilanteessa avonaiset eristeisiin. Reunat pellitetään myöhemmin, jotta vesi ei pääse eristeisiin. Luukku mitoitettiin aukkoa pienemmäksi. Luukun reunat tiivistetään kumilla pellityksen jälkeen. Luukun kokonaismitat ilman kolouksia on 19000 mm leveys- ja 2500 mm korkeus-suunnassa. (kuva 1.)



Kuva 1. Siltanosturin kulkuaukko.

Luukku valmistetaan kahdesta osasta sen suuren koon takia. Luukku jaetaan kahteen saman kokoiseen osaan. Puolittaminen helpottaa valmistamista, kuljetusta ja asennusta. Luukun suuren mitan vuoksi rakenteesta pitää saada kevyt ja jäykkä.

Luukun runko suunniteltiin valmistettavaksi 80 mm x80 mm x3 mm RHS-neliöputkipalkista S355J2H (Ruukki 2005, 34). Kyseinen neliöputkipalkki on jäykkää painoon nähden. Palkki on hinnaltaan edullista, koska se on yleisesti käytetty rakennusmateriaali. Kyseistä palkkia oli Atermek Oy:n varastossa valmiiksi sinkopuhallettuna ja pohjamaalattuna.

Rungon reunat ovat neliöputkipalkkia, ja lisäksi saranoiden kohtaan tulee palkit vahvistamaan runkoa. (Kuva 2.)



Kuva 2. Rungon rakenne ilman villaa ja kuumasinkittyjä levyjä.

Luukku lämpöeristetään Paroc extra 70 -villalla (Paroc 2018), joka on paksuudeltaan 70 mm.

Luukku pinnoitetaan molemmilta puolilta 1 mm:n paksuisella kuumasinkityllä teräslevyllä. Kuumasinkittylevy kestää hyvin korroosiota. Kuumasinkityt teräslevyt tuetaan särmätyillä profiileilla 30 mmx80 mmx30 mm. Profiilit ovat U:n muotoisia, ja ne on valmistettu 3 mm kuumasinkitystä teräslevyistä.

RHS 80x80x3 painaa 7.07 kg/m. Palkkia runkoon kuluu:

$$19 \text{ m} * 2 + 2,5 \text{ m} * 10 = 63 \text{ m}$$

Painoa rungolle tulee:

$$63 \text{ m} * 7.07 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 446 \text{ kg}.$$

Luukkuun sisälle tulevaa eriste villaa menee:

$$18,2 \text{ m} * 2.34 \text{ m} = 42,6 \text{ m}^2.$$

Villa painaa 2.03 kg/m². Luukun villa painaa:

$$42,6 \text{ m}^2 + 2.03 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 86,5 \text{ kg}.$$

Kuumasinkittyä levyä oveen kuluu:

$$19 \text{ m} + 2.5 \text{ m} * 2 = 95 \text{ m}^2.$$

1 mm kuumasinkitty levy painaa 8 kg/m^2 . Levyille tulee painoa:

$$8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 95 \text{ m}^2 = 760 \text{ kg}.$$

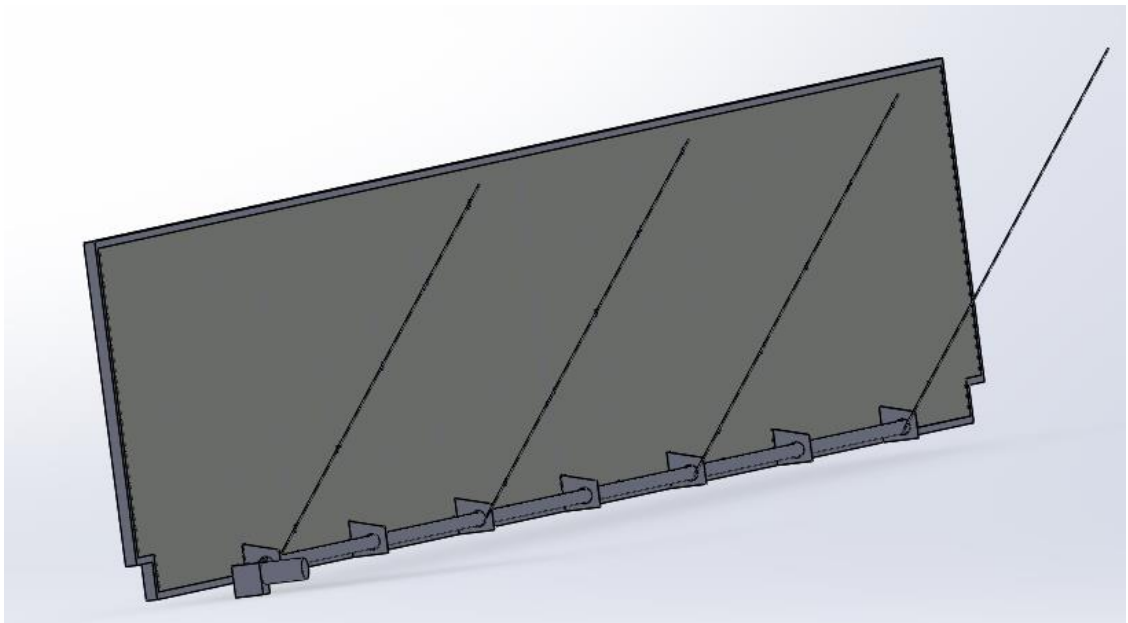
3 mm kuumasinkitty levy painaa $24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$. Profiileja tulee luukun runkoon 8 kappaletta. U-profiilien paino on:

$$\left((30 \text{ mm} + 80 \text{ mm} + 30 \text{ mm}) * 2340 \frac{\text{mm}}{1000000} \right) * 24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 8 = 63 \text{ kg}.$$

Luukun kokonaispainoon:

$$760 \text{ kg} + 86.5 \text{ kg} + 446 \text{ kg} + 63 \text{ kg} = 1355,5 \text{ kg}.$$

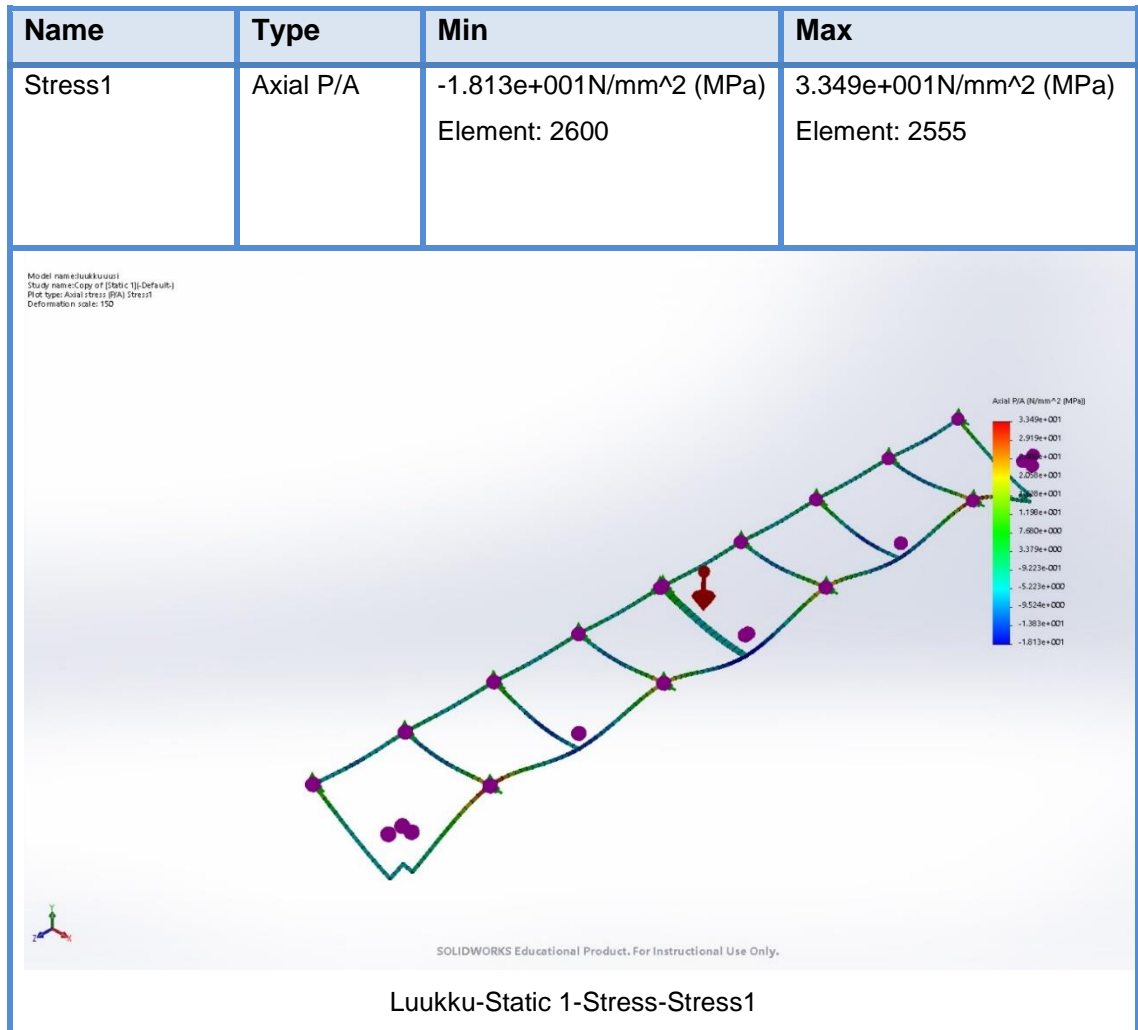
Runko on rakenteeltaan hyperstaattinen, jolloin sen lujuuden laskeminen on vaikeaa ja erittäin työlästä. Luukun rakenteen kestävyuden toteamiseksi käytettiin Solidworks 2016 3D -ohjelmaa (Solidwork 2018). Ohjelmistolla mallinnettiin luukun runko oikeissa mittasuhteissa. (Kuva 3.) Simulaatiossa käytettiin static-työkalua. Luukulle määritettiin materiaaliksi S355J2H-rakennusteräs. Laskemista helpotettiin heikentämällä rungon rakenteita jättämällä pois U-profiilit ja nostokoneiston akselin jäykistävät vaikutukset. Simulaatiossa vaijerit kannattelevat suoraan luukun runkoa. Saranointi toteutettiin simuloimalla saranoiden kohdille tukipisteet. Tukipisteistä poistettiin vapausasteita siten, että ne vastaavat saranoita. Luukun massa toteutettiin asettamalla rungon pintaan paine, joka vastaa 1400 kg. Simulaatiossa tarkasteltiin rasitus (stress- ja siirtymä (displacement) -tuloksia.



Kuva 3. 3D-havainnekuva luukusta.

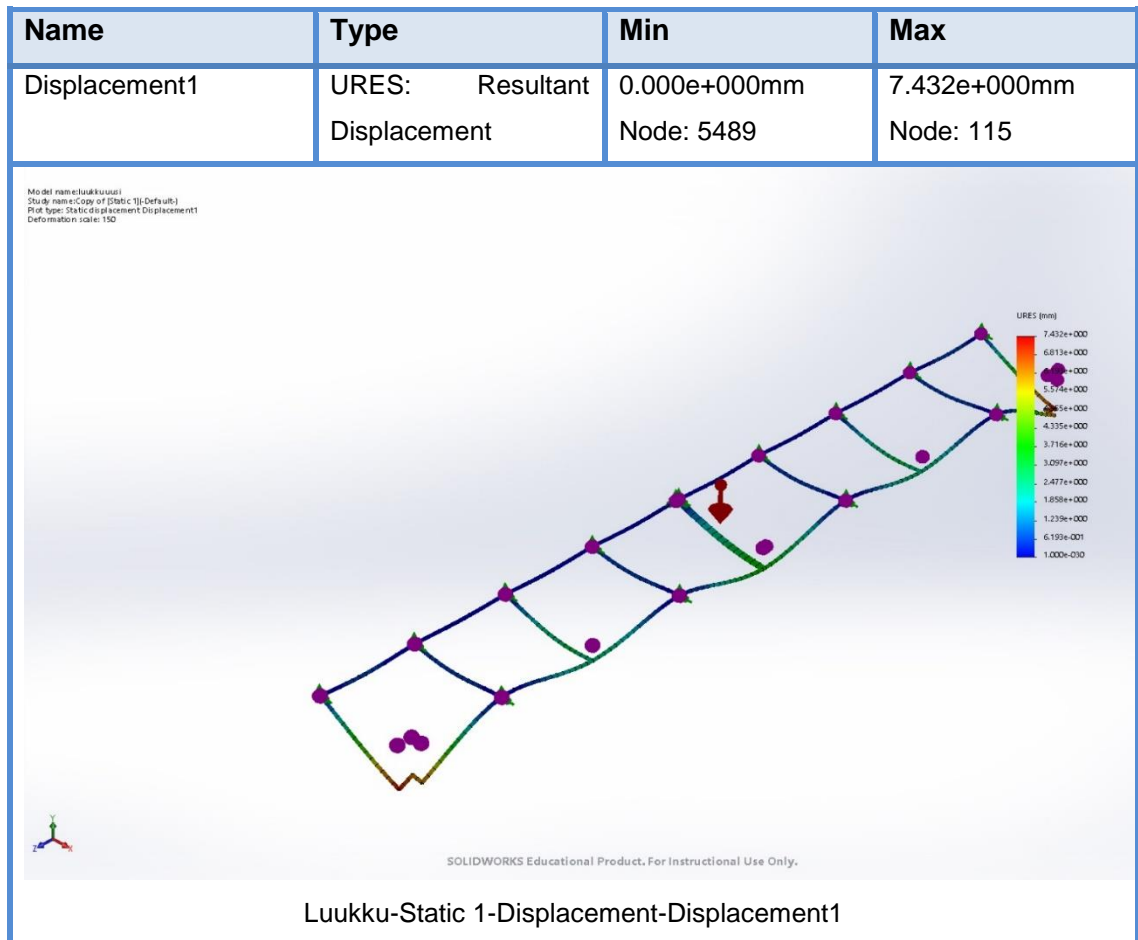
Luukun rakenne kesti siihen kohdistuneet voimat. Suurimmat voimat muodostui reunimaisten vaijereiden tukemiin kohtiin. Suurin rasitus oli 33.49 MPa, jolloin voidaan todeta rasituksen jäävän kauas myötörajasta, joka on 355 MPa.

Taulukko 1. Luukun kohdistuvat rasitukset. Muutokset korostettu 150-kertaiseksi kuvassa.



Siirtymää simulaatiossa tuli enimmillään 7.5 mm. Suurin siirtymä oli luukun kolotuissa kulmissa.

Taulukko 2. Luukun muodonmuutokset. Muutokset korostettu 150-kertaiseksi.



Luukku on saranoitu yläreunasta yhdeksällä saranalla. Saranat on sijoitettu rungon pystypalkkien kohdille. Saranat on valmistettu 60 mmx15 mm lattaraudasta, joka on hitsattu luukun runkoon. Lattarauta tulee 120 mm rungon yli. Lattaraudan päähän on hitsattu 80 mm pitkä putki, jonka seinämän vahvuus on 4 mm ja sisähalkaisija 28 mm. Saranatappi on valmistettu 25 mm:n vedetystä akselista. Saranatappi on kiinnitetty pulttisokilla kahteen 40 mmx40 mmx4 mm putkineliöpalkkien sisälle. Putkineliöpalkit on hitsattu yläkarmiin, noin 120 mm alareunasta.

Saranat valmistettiin itse sen takia, ettei vastaavia saranoita ollut saatavilla. Saranoiden varsien piti olla pitkät, jotta luukun auetessaan nousee kokonaan yläkarmin yläpuolelle. Tällöin siltanosturi mahtuu turvallisesti kulkemaan aukosta. Saranoissa ei ole varsinaisia liukupintoja, mutta voidellut saranat kestävät luukun vähäisen käytön. Luukku aukeaa korkeintaan vain muutaman kerran työpäivän aikana. (Kuva 4.)



Kuva 4. Luukun sarana.

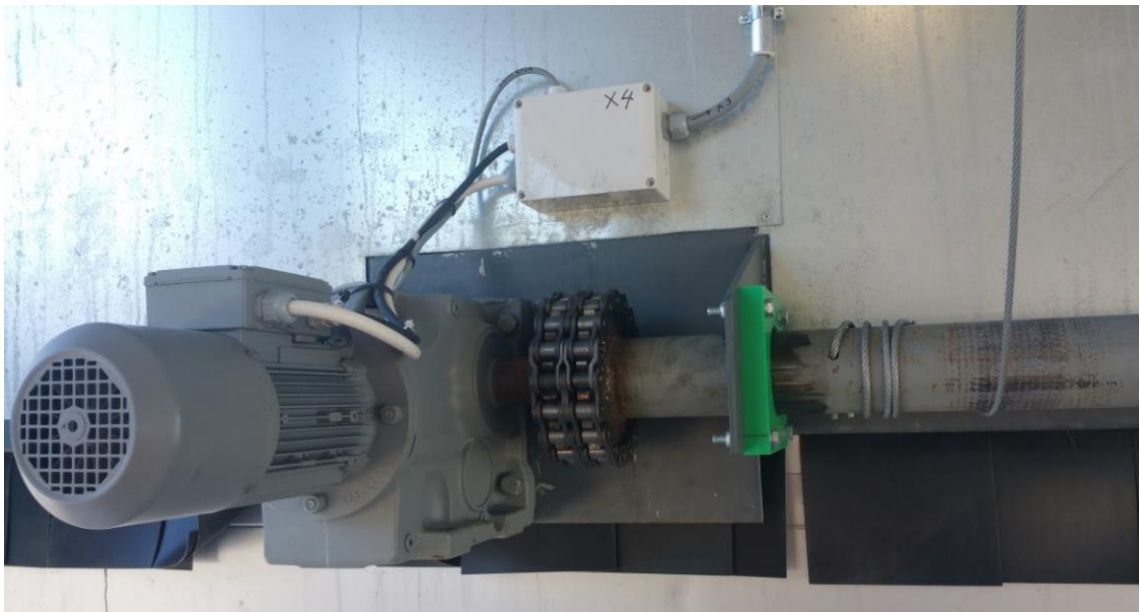
3.2 Nostomekanismin mitoitus

Nostomekanismin suunnittelussa oli suurena ongelmana tilan puute. Tilaa nostokoneistolle on erittäin vähän. Sen lisäksi luukun tuli nousta yläkarmin yläpuolelle, jotta siltanosturi mahtuu kulkemaan. Katoksen katto on valmistettu TT -palkeista, joten siihen nostokoneiston kiinnittäminen hankalan muodon takia olisi ollut erittäin hankala.

Luukun pituuden takia sitä pitää nostaa tasaisesti useasta kohdasta. Nostokoneisto päätettiin kiinnittää luukkuun. Nostossa päätettiin hyödyntää akselia, jonka ympärille vaijerit kiertyy. Vaijereilla saadaan tasainen nosto useasta kohdasta, jolloin luukku ei pääse taipumaan. Akselina toimii paksuseinäinen noin 90mm (88.9mm) teräsputki (Ruukki 2005, 36). Sitä pyörittämään valittiin varastossa ollut SEW-Eurodriven K77 DT80 (Sew Eurodrive 2018) -tyypin kolmivaihesähkömoottori alennusvaihteella. Moottori on 0.55 kW tehoinen, ja se pyörii 900 r/min. Vaihteistolla moottorin pyörimisnopeutta lasketaan 9 r/min.

Tällä pyörimisnopeudella saavutettiin sopiva nostonopeus luukulle. Luukun aukeaminen tapahtuu noin puolessatoista minuutissa. Pienellä nopeudella luukkuun ei tule suuria kiihtyvyyksiä, jolloin luukku ei turhaan rasitu.

Akseli on tuettu luukussa oleviin laippoihin. Laippoihin on kiinnitetty liukulaakerit, jotka on itse valmistettu nylonmuovista. Itse valmistamalla laakeri on edullinen ja siitä saa juuri tarpeeseen sopivan. Nylonmuovista valmistetut liukulaakerit kestävät hyvin kulumista, ja kitka nylonin ja metallin välillä on pientä. Luukku avataan noin kaksi kertaa työpäivän aikana, joten rasitus on vähäistä.



Kuva 5. kuvassa näkyy moottori, vaihteisto, ketjurataslukitus, liukulaakeri ja vaijerin kiinnitys akseliin.

Nostokoneisto lisää luukun massaa: sähkömoottorin ja vaihteiston yhteispaino on 114 kg. Akselin pituus on 15 m. Teräsputki painaa $20 \frac{kg}{m}$, jolloin akselinkokonaispaino on:
 $15 m * 20 \frac{kg}{m} = 300 kg$.

Luukun kokonaispaino on nostokoneiston kanssa:

$$114 kg + 300 kg + 1355,5 kg = 1769,5 kg$$

Luukun nostamiseen käytetään neljää 8 mm vaijeria. Vaijerit on reilusti ylimitoitettu, sillä yhden vaijerin valmistajan ilmoittama murtolujuus on 3390 kg

Luukun ollessa lähes symmetrinen rakenteeltaan, voidaan laskea se jäykäksi palkiksi kuvion 1 mukaisesti. Vaakasuorassa asennossa vaijeriin kohdistuva voima on kaikkein suurimmillaan. Tällöin kaava $T = \frac{1}{2} * F$ (Laitinen ym.1981, 184) toteutuu. Tällöin luukun massan aiheuttama voima on vaijeriin:

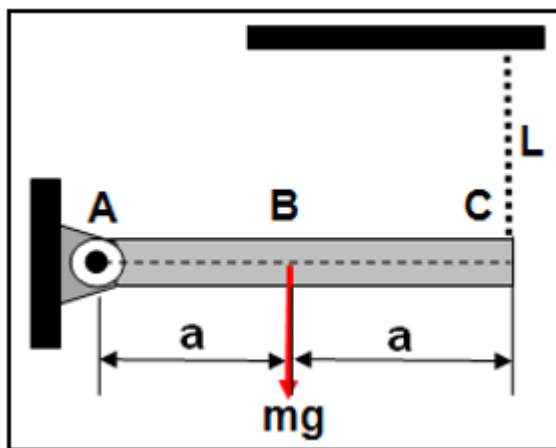
$$F_c = \frac{mg}{2} = \frac{1355.5 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} = 6642 \text{ N}.$$

Kun nostokoneiston on aivan luukun päässä, voidaan todeta nostokoneiston kaiken painon kohdistuvan vaijeriin, jolloin vaijeriin kohdistuva voima on $G = m * g$ (MAOL 2005,117):

$$F = m * g = (114 \text{ kg} + 300 \text{ kg}) * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4057,2 \text{ N}$$

$$\text{Voima} = F = 6642 \text{ N} + 4057,2 \text{ N} = 10699,2 \text{ N}$$

10699 N on voima, joka jakaantuu neljälle vaijerille.



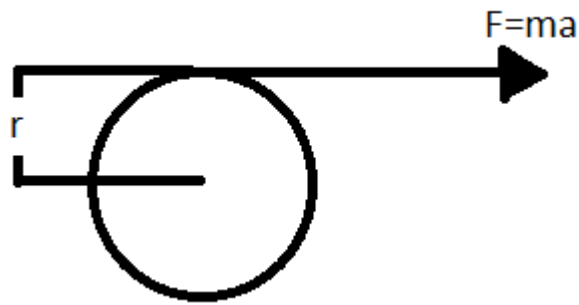
Kuvio 1. Vapaakappalekuva vaijerihin kohdistuvasta voimasta (Öberg, Sessio LO11).

Akseliin kohdistuva enimmäisvääntömomentti on:

Voiman momentti = $M = r * F$ (MAOL 2005, 118).

Voiman ja pyörimisakselin välinen vektori $r = \frac{90 \text{ mm}}{2} = 45 \text{ mm} = 0,045 \text{ m}$.

$$M = 10699,2 \text{ N} * 0,045 \text{ m} = 481,5 \text{ Nm}.$$



Kuvio 2. Vapaakappalekuva akseliin kohdistuvasta momentista.

Sähkömoottorin teho on 0.55 kW ja pyörimisnopeus akselilla on $9 \frac{r}{min}$. Näiden avulla saadaan laskettua vääntö johtamalla kaavasta $P = M * \omega$ (MAOL 2005, 118).

Sähkömoottorin vääntömomentti on $M = \frac{P}{\omega} = \frac{550 W}{2 * \pi * \left(\frac{9 \frac{r}{min}}{60}\right)} = 583,6 Nm$.

Jollain voidaan todeta moottorin voiman riittävän luukun avaamiseen.

3.3 Sähkösuunnittelu

Toimeksiannossa luukulle haluttiin sähköistä ohjausta. Käyttäjiä luukulle olisi useita, joten luukun ohjauksesta haluttiin yksinkertainen ja selkeä. Luukun tulisi aueta ja sulkeutua omista napeistaan, jotka olisi sijoitettu luukun alla olevien suurten ovien viereen. Luukua avatessa tai sulkiessa operaattori tulee pitää nappia painettuna niin kauan, kunnes luukku on kokonaan auki tai kiinni ja luukun automatiikka pysäyttää luukun. Samalla operaattori pystyy valvomaan prosessia. Kuitenkin toimeksiantaja muutti mielipidettään muutoksesta töiden aikana niin, ettei nappeja tarvitsee pitää painettuna.



Kuva 6. Luukun ohjauskeskuksen kansi, jossa merkkivalo ja painonapit.

Luukun ohjauskeskuksen suunnittelun ja valmistuksen toteutti Salkimo Pekka T:mi. Sähkökuvat ovat liitteessä 1.

Luukun ohjaus toteutetaan kontaktoreilla. Ohjauskeskukseen tulee kaksi identtistä kontaktoria, joita ohjaavat painonapit S5(AUKI) ja S6(KIINNI). Näiden avulla toteutetaan suunnanvaihtokytkentä, mikä mahdollistaa kolmivaihemoottorin pyörittämisen molempiin suuntiin. Suunnan vaihto toteutetaan vaihtamalla vaiheet L1 ja L2 ristiin. Suunnanvaihtokytkennässä on tärkeää varmistaa, ettei missään tilanteessa kontaktorit pääse vetämään samanaikaisesti. Tilanteessa, jossa molemmat kontaktorin ovat yhtä aikaa vetäneenä syntyy, oikosulku vaiheiden L1 ja L2 välillä. Tämän estämiseksi molemmissa kontaktoreissa on apukärjet. Kontaktorin C1 käämivirta syötetään kontaktorin C2 avautuvien apukärkien kautta ja toisinpäin. Kontaktorin C2 ollessa vetäneenä kontaktorin C1 virtapiiri on auki, vaikka operaattori painaisikin nappia S5 (AUKI). Tällä kytkennällä estetään kontaktorin C1 vetäminen.

Luukussa käytetään jarrullista sähkömoottoria. Ilman jarrua luukku pysähdyttyään lähtisi valumaan oman painonsa ansiosta kiinni. Sähkömoottorin jarru toimii sähkömagneetilla. Jarru vapautuu, kun jarrun käämiin johdetaan virtaa. Jarru tulee vapauttaa samanaikaisesti moottorin kytkeytyessä päälle, muuten moottori pahimmassa tapauksessa yllirasittuu ja hajoaa. Varmin tapa jarrun vapauttamiseen on käyttää moottoria ohjaavan kontaktoria. Kontaktoreissa on normaalisti vain yksi apukärki. Tästä johtuen kontaktoreihin C1

ja C2 lisätään lisäapukärkimoduuli, joka mahdollistaa apukärkien lukumäärän lisäämisen. Luukku avattaessa kontaktori C1 vetää ja apukärjet sulkevat jarrun virtapiirin, jolloin jarru vapautuu. Kontaktorin C1 vapautuessa apukärjet avautuvat ja jarrukäämin virtapiiri katkeaa. Sama kytkentä toteutetaan kontaktorissa C2. Jarrun vapautus voitaisiin toteuttaa myös omalla releellä, mutta toiminta ei olisi yhtä luotettavaa. Jos esimerkiksi jarrun virran syöttö toteutetaan omalla releellä, S5 ohjaisi sekä releitä ja kontaktoria C1. Kontaktorin C1 käämin rikkoutuessa jarru vapautuisi ilman moottorin kytkeytymistä päälle. Ovi alkaisi valua alas, tai toisin päin moottori olisi vaarassa rikkoutua.

Moottorin yllirasittumista suojaa lämpörele, joka on kytketty releiden perään. Lämpörele tarkkailee moottorin ottamaa virran määrää. Lämpöreleen sisällä on bi metalli-liuskat, jotka lämpenevät sähkövirran kulkiessa niiden läpi. Jos virta ylittää lämpöreleelle asetetun ominaisvirta-arvon, rele laukeaa. Kontaktorien C1 ja C2 nollajohtimet kulkevat lämpöreleen aukeavan kärjen 95/96 läpi. Moottorin ottaessa liikaa virtaa sen ohjaavien kontaktorien virtapiiri katkeaa. Moottori pysähtyy ja välttyy ylikuumentumiselta.

Hätä-seis-painike on kytketty niin, että se katkaisee koko ohjauspiirin. Tällä varmistetaan hätätilanteessa luukun pysähtyminen. Hätä-seis-painike toimii aukeavilla kärjillä.

Ohjauspiirille on oma automaattisulake F1, joka suojaa johtimia ohjauspiirin vikaantuessa. F1-automaattisulake on 6A C-luokan sulake.



Kuva 7. Ohjauskeskus, muutostöiden jälkeen.

Rajakytkiminä käytetään rullallisia viiksirajoja. Rajoissa on aukeavat ja sulkeutuvat kärjet, jotka toimivat viiksen taipuessa mekaanisesta voimasta. Kytkimiä on yhteensä neljä. Auki-raja on kytketty kontaktorin C1 virtapiiriin. Rajan toimiessa S3:n kärjet avautuvat ja vapauttavat kontaktorin C1, luukku pysähtyy auki asentoon. Tämä sama kytkentä toistuu kiinnirajan (S4) ja kontaktorin C2 kanssa luukun ollessa kiinni. Luukun ollessa auki-asennossa ohjauskeskuksessa palaa merkkivalo. Luukun molemmissa reunoissa on viikseliset rajat. Kun rajat ovat yhtäaikaaisesti toimineena, merkkivalo syttyy. Näin varmistetaan luukun olevan täysin auki.

3.4 Muut avausmekanismit

Työhön ryhtyessäni tutkin, olisiko joku toinen kohdannut vastaavanlaisen tilanteen. Tutustuin aikaisempien tehtyjen opinnäytetöiden aineistoihin. Löysin Theseus.fi-sivustolta opinnäytetyön, jossa suunniteltiin jo olemassa olevaan luukkuun avaus. Työ on Antti Virtasen Lahden ammattikorkeakoulussa 2007 tekemä Automaattinen ovi siltanosturille. Kyseisen työn Virtanen oli tehnyt Lahden Kestobetoni Oy:lle. (Virtanen 2007.)

Virtanen suunnitteli työssään luukulle pneumaattisen avauksen sähköisellä ohjauksella. Hän oli pohtinut työssään myös hydraulista ja sähköistä avausta, mutta päätyi pohdinnoissaan käyttämään paineilmasylintereitä. Lahden Kestobetonin luukku on hyvin saman kaltainen kuin BM Turun, mutta huomattavasti pienempi. Myös tilaa luukun avausmekanismiin toteutukseen oli huomattavasti enemmän. Pohtiessani kyseisiä avausmekanismivaihtoehtoja työssäni totesin pneumaattisen ratkaisun olevan epäsopiva omassa työssäni. Näin massiivisen luukun avaus pneumaattisesti ei olisi järkevää. Työssäni oleva luukku on lähes viisi ja puoli kertaa painavampi kuin Virtasella, joten on ymmärrettävää, miksi Virtanen on pitänyt paineilmaa potentiaalisempaan vaihtoehtoon. Hydraulisessa avauksessa voima riittäisi, mutta luukun suuren leveyden vuoksi sitä tulisi nostaa useasta eri kohtaa, jotta rakenne ei taivu liikaa. Tilan ahtauden vuoksi sylinterejä ei mahtuisi sijoittamaan kuin luukun päihin.

Virtanen on maininnut työssään saman avausmekanismiin, jonka näin ainoaksi järkeväksi vaihtoehdoksi omassa työssäni. Kyseessä on akselin, jonka ympäri vaijerit kiertyvät. Virtanen kuitenkin toteaa sen olevan epäammattimainen ratkaisu. Itse näen menetelmän hyvinkin ammattimaisena ratkaisuna. Menetelmä on hinnaltaan edullisempi ja luotettavuudeltaan yhtä hyvä kuin Virtasen valinta. Lisäksi menetelmä on hellävaraisempi usean nostopisteen ansiosta. Virtasen ei olisi tarvinnut esimerkiksi vahvistaa luukun rakennetta avauksessa, jos hän olisi käyttänyt useaa vaijeria.

4 VALMISTUS

4.1 Rungon valmistus

Luukku valmistettiin kahdesta identtisestä osasta Atermek Oy:n tiloissa Ruskolla. Ensimmäisenä valmistettiin rungon toinen puolikas. 12-metriset neliöputkipalkit sahattiin määrämittäisiiksi vannesahalla 45° kulmilla. Runko kasattiin lattialle. Kappaleet liitettiin toisiinsa hitsaamalla. Kun ensimmäinen puolikas rungosta oli hitsattu kasaan ja mitoituksaan, se toimii sabluunana toiselle. Toinen runko kasattiin valmiin päälle ja puristettiin ruuvipuristimilla kiinni hitsauksen ajaksi. Näin rungoista tuli samanmuotoiset ja mittaamiseen ei kulunut työaikaa.

4.2 Luukun viimeistely

Runkojen ollessa valmiit päällimmäinen rungoista nostettiin seinää vasten pystyyn. Runko tuettiin ja varmistettiin, ettei se pääse kaatumaan. Lattialle jääneeseen runkoon hitsattiin tukiprofiilit. U-profiilit leikattiin 3 mm kuumasinkitystä levyä levyleikkurilla sekä taivutettiin 30 mmx80 mmx30 mm muotoon särmäyspuristimella. Profiilit sijoitettiin keskelle pystysuunnassa olevia putkineliöpalkkeja. Profiilien tarkoitus on tukea luukun ulkopintaan kiinnitettäviä levyjä samakohdista. Profiilien ollessa paikallaan runkoon kiinnitettiin 1mm paksuiset kuumasinkityt teräslevyt. Levyt kiinnitettiin palkkeihin ja profiileihin vetoniiteillä. Rungon toisen puolen ollessa pellitettyä runko käännettiin ympäri ja sisälle laitettiin Paroc extra 70 -villaa eristeeksi. Villan ollessa paikoillaan toinenkin puoli pellitettiin.

Pellityksen jälkeen runkoon hitsattiin saranat ja nostokoneiston laipat putkelle. Laippoihin kiinnitettiin nylon-liukulaakerit pulttaamalla. Luukun ollessa valmis se kuljetettiin ulos odottamaan kuljetusta. Tämän jälkeen toinen runko laskettiin lattialle ja valmistettiin loppuun.

4.3 Nostoapuväline

Luukun puolikkaiden nostoa helpottamaan rakennettiin nostoapuväline. Nostoapuvälineen avulla nosturin koukku saatiin kiinnitettyä oveen lyhyellä nostoliinalla ja luukku roikkui noin 45°:n kulmassa. Ilman nostoapuvälinettä luukkua ei olisi pystynyt nostamaan paikoilleen, sillä luukun yläreunan ja katon välissä ei ollut tilaa kuin 150 mm. Kuva nostoapuvälineestä on liitteessä 2.

5 ASENNUS

5.1 Kuljetus

Luukku kuljetettiin lavettiautolla kohteeseen. Kuljetuksen ja luukun nostot suoritti Ylitupa palvelut Oy. Luukun puolikkaat nostettiin lavetin perässä olevalla nosturilla, päällekkäin lavetille. Kuljetuksessa ei tarvittu erityisjärjestelyjä, koska päällekkäin ollessaan osien ulkomitat olivat 9000 mmx2550 mm.

5.2 Mekaaninen asennus

Lavettiauton perässä olevalla 10 tonnia nostavalla nosturilla, luukut nostettiin suoraan paikoilleen auton lavetilta. Ennen luukkujen nostoa, yläkarmiin hitsattiin saranoiden rungot, jotta luukku saatiin helposti kiinnitettyä. Luukun puoliskoon pultattiin noston ajaksi nostoapuväline kiinni, jota hyödyntäen luukku asettui roikkumaan noston kannalta hyvään asentoon. Puolisko nostettiin rauhallisesti saranoilleen. Nosturilla pidettiin luukkua paikoillaan sen ajan, kunnes saranatapid saatiin asennettua paikoilleen. Nosturi irrotettiin luukusta vasta kun kaikki saranatapid olivat paikoillaan. Tämän jälkeen toinen puolisko asennettiin paikoilleen. Luukun puolikkaiden ollessa paikoillaan tuli aika yhdistää luukut yhdeksi luukuksi. Luukun puolikkaat hitsattiin toisiinsa. Myös nostomekanismin akseli pultattiin kokoon. Akseliputkien liitokset toteutettiin akselin sisäpuolelle sorvatuilla tukiholkeilla. Tukiholkki yhdistettiin akseliputkeen läpimenevillä M12-pulteilla.

Katossa oleviin TT -palkkeihin kiinnitettiin vaijereiden ankkurit. (Kuva 8.) Ankkurit kiinnitettiin läpipulttauksella ja tukilaatoilla betonielementin läpi. Vaijerit kiinnitettiin ankkureihin tekemällä silmukka, joka lukittiin kolmella vaijerilukolla. (Kuva 9.) Vaijereiden toinen pää kiinnitettiin akseliin. Vaijeri kiertyy akselin ympäri kolme kierrosta kuormituksen vähentämiseksi. Lopuksi vaijeri menee akselin läpi, jonka jälkeen se lukitaan.

Sähköistyksen jälkeen moottori ja akseli yhdistettiin kaksirivisellä rullaketjulla. Kuvassa 5 näkyy ketjukiinnitys.



Kuva 8. Vaijerin ankkurointi TT -palkkiin.



Kuva 9. Vaijerin ankkuri.

Luukun ollessa täysin paikoillaan viimeisteltiin asennus, asentamalla luukun yläreunaan kumitiiviste. Kumitiivisteenä käytettiin kumisuikaleita, joita leikattiin levyleikkurilla kumimatosta. Suikaleet kiinnitettiin luukkuun puristamalla se listan ja luukun väliin. Kiinnityksessä käytettiin porakärkiruuveja, jotka porattiin listan ja kumisuikaleen läpi luukun runkoon. Kumisuikale peitti luukun ja yläkarmin välisen raon tiivistäen luukkuu. Tiivistys näkyy kuvassa 10.

5.3 Sähköinen asennus

Sähköasennuksessa ensimmäisenä määritettiin luukun ohjauskeskuksen paikka. Keskus sijoitettiin hallin ovien ja kulkuoven väliin. Keskuksesta lähdettiin kaapeloimaan kaapelikiskoja pitkin kohti moottoria ja rajoja. Kaapelointi aloitettiin 12x1.5G-kaapelilla. Väli-rasioita asennuksessa käytettiin kolme kappaletta. Rajat ja moottori on sijoitettu eri paikkoihin. Väli-rasiointi vähentää ja helpottaa kaapelointia. Rasiat on merkitty X2-X4. Väli-rasiat ovat IP-64 tiiveysluokan rasioita. Rasioihin on kiinnitetty DIN-kiskot. Kaapelit on liitetty riviliittimiin. Riviliittimet ovat jousipuristeisia. Kaikissa johtimen säikeissä käytettiin puristeholkkeja, jotta säikeet eivät katkea. Säikeiden katkeaminen vähentää johtimen poikkipinta-alaa. Pinta-alan vähenemisen seurauksena liitos voi kuumentua ja aiheuttaa tulipalon. Kaikissa rasioissa on läpivienneissä käytetty läpivientiholkkeja. Läpivientiholkit toimivat tiivisteinä ja vedonpoistajina.

Kaapeloinneista ja kytkennöistä on piirretty havainnekuvat. Kuvista käy ilmi käytetyt kaapelit, kaapelien kytkennät johdinmerkintöineen ja riviliittimien numeroinnit. Kuvat ovat liitteessä 1.

X3 ja X4 välillä on käytetty kovaa rasiusta kestävä polyuretaanikaapelia. Kaapeli joutuu rasiukseen oven saranakohdassa, oven auetessa. Rasiuksen vähentämiseksi kaapeli on asetettu silmukalle. Silmukan ansiosta kaapeli taipuu pidemmältä matkalta, eikä siihen tule jyrkkää taipumaa. (Kuva 10.)



Kuva 10. Kaapeliin tehty silmukka, jolla vähennetään kaapelin rasiitusta.

6 KÄYTTÖÖNOTTO

6.1 Luukun toiminnan testaaminen

Käyttöönotto tehtiin, kun oltiin saatu lähes kaikki asennustyöt valmiiksi. Vain luukun rajakytkimien lopullinen sijoitus jätettiin käyttöönottoon. Rajojen sijoitus määriteltiin ajamalla luukku auki asentoon manuaalisesti. Tämän jälkeen rajat kiinnitettiin siten, että ne ovat vaikuttuneita luukun ollessa kyseisessä asennossa. Myös kiinnirajalle asennettiin haittalevy, joka luukun sulkeutuessa saa rajan vaikuttuneeksi. (Kuva 11.) Käyttöönotto sujui hyvin, mitään suuria ongelmia ei ilmennyt.

Käyttöönotossa ilmeni muutama pieni asia, joihin oli syytä puuttua. Luukku ei mennyt täysin kiinni, vaan jäi aavistuksen raolleen. Tämä johtui saranoiden sijoituksesta sekä kumitiivisteestä. Luukun oli tarkoitus sulkeutua omalla painollaan. Saranoiden sijaitessa ulkopuolella luukku jäi roikkumaan aavistuksen vinoon. Tämä oli tullut jo suunnittelussa mieleen. Oletuksena oli ollut akselin ja moottorin massan siirtävän luukun massakeskipistettä riittävästi luukun ulkopintaan, jolloin luukku olisi sulkeutunut kokonaan.

Toinen ongelma, joka ilmeni luukun sulkeutumisessa, oli kiinnirajan herkkyyks. Luukku pysähtyi välittömästi rajan toimiessa, jolloin rajan haittalevyn säätö oli tarkka. Haittalevyn ottaessa liian aikaisin kiinnirajaan, luukku jäi auki. Haittalevyn ollessa liian kaukana, raja ei vaikuttanut, jolloin moottori ei pysähtynyt. Tässä tilanteessa raja on liian epävarma toiminnaltaan. Tätä ei oltu huomioitu sähkösuunnittelussa. Samanlaisia rajoja on käytetty paljon moottorin ohjauksissa, mutta tällöin moottori on ollut taajuusmuuntajalla ohjattu. Taajuusmuuntajalla pystytään määrittämään moottorille lineaarinen hidastumisviive. Hidastusviiveen ansiosta moottori pyörii määritetyn ajan rajan vaikuttamisen jälkeen.



Kuva 11. Moottorin vasemmalla puolella näkyy rajakytkin ja haittalevy.

7 MUUTOSTYÖT

Muutostöissä korjataan, käyttöönotossa ilmenneet ongelmat.

7.1 Mekaaniset muutokset

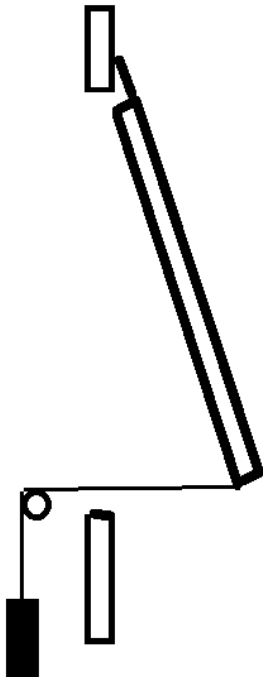
Luukku ei sulkeutunut kokonaan käyttöönotossa, vaan jäi raolleen. Saranoiden ollessa luukun ulkopinnassa, luukun massakeskipiste ei ollut saranoiden kanssa luukun suuntaisesti. Ongelma päätettiin ratkaista vastapainoilla.

Vastapainot, jotka vetävät luukkua kiinni sijoitettiin luukun molempien päiden alareunoihin. Tehokkaimman vedon luukun sulkemiseksi saadaan käyttämällä vaijeria, johon on ripustettu vastapaino. Vaijerin ohjaamiseen käytettiin rissaa. (Kuva 12.) Vastapainojen massat ovat $2 * 35 \text{ kg}$. 70 kg vastapainot riittivät sulkemaan oven kokonaan. Vaihde-moottorin teho riittää avaamaan luukun, vastapainoista huolimatta.

$$\left(2 * 35 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,045 \text{ m}\right) + 481,5 \text{ Nm} = 30,87 \text{ Nm} + 481,5 \text{ Nm} = 512,37 \text{ Nm}.$$

Jolloin voidaan todeta väännön riittävän:

$$512,37 \text{ Nm} < 583,6 \text{ Nm}.$$



Kuva 12. Havainnekuvassa vastapainon toiminta periaate.

7.2 Sähköiset muutostyöt

Luukun kiinnirajan toiminta todettiin käyttöönotossa liian häiriöherkäksi. Ongelman helpoin ratkaisu on viivästyttää moottorin pysähtymistä. Samalla voitiin sijoittaa häiritsevä riittävän lähelle, että kiinniraja vaikuttaa luotettavasti ennen kuin luukku on kiinni. Viive moottorin pysähtymiseen ratkaistiin sähköisellä muutoksella. Luukun ohjauspiiriin lisättiin säädettävä päästöhidasteinen aikarele (TR1). Aikarele toimii siten, että kiinnirajan toimimisen jälkeen rele syöttää virtaa kontaktorin C2 kelalle asetetun ajan. Näin luukku sulkeutuu rajan vaikuttamisen jälkeen aikareleeseen asetetun ajan ennen, kuin moottori pysähtyy.

8 YHTEENVETO

Tavoitteina oli valmistaa luukku, joka olisi rakenteeltaan yksinkertainen, luotettava toimivuudeltaan, käyttäjille helppokäyttöinen ja huoltoystävällinen. Siltanosturin luukun valmistaminen onnistui varsin mainiosti. Koko projekti sujui alusta loppuun mallikkaasti, eikä suurempia ongelmia ilmennyt. Työ oli haastava, eikä siihen löytynyt minkäänlaista valmista ratkaisua. Suunnittelu onnistui erityisen hyvin, sillä kaikki alkutilanteen ongelmat saatiin ratkaistua. Toimeksiantajan mukaan olimme ainoa yritys, joka suostui ottamaan kyseisen työn vastaan. Tehtyyn työhön ja sen lopputulokseen ei voi olla kuin tyytyväinen. Näin ison projektin onnistuminen antaa paljon itsevarmuutta tulevaisuuteen.



Kuva 13. Valmistunut siltanosturin nostoluukku.

LÄHTEET

Betonimestarit 2018. Viitattu 12.4.2018 www.betonimestarit.fi > Yritys > Historia.

Kauppalehti 2018. Viitattu 12.4.2018 www.kauppalehti.fi > Yritykset > Yrityshaku > Bm turku oy.

Laitinen, E.; Mäkelä, M. Soininen, L. & Tuomola, S. 1981. Kaavasto Tammertekniikka. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.

Salkimo, P. 2017. Atermek/luukunavaus. Turku: Salkimo Pekka T:mi.

Seppänen, R.; Kervinen, M. Parkkila, I. Karkela, L. & Meriläinen, P. 2005. Maol. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Virtanen, A. 2007. Automaattinen ovi siltanosturille. Opinnäytetyö. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu. Viitattu 26.4.2018 <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11154/2007-10-23-02.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Öberg, T. Lujuusoppi opintomateriaali: Sessio LO11: Sauvarakenne/Esimerkki LO10E8.

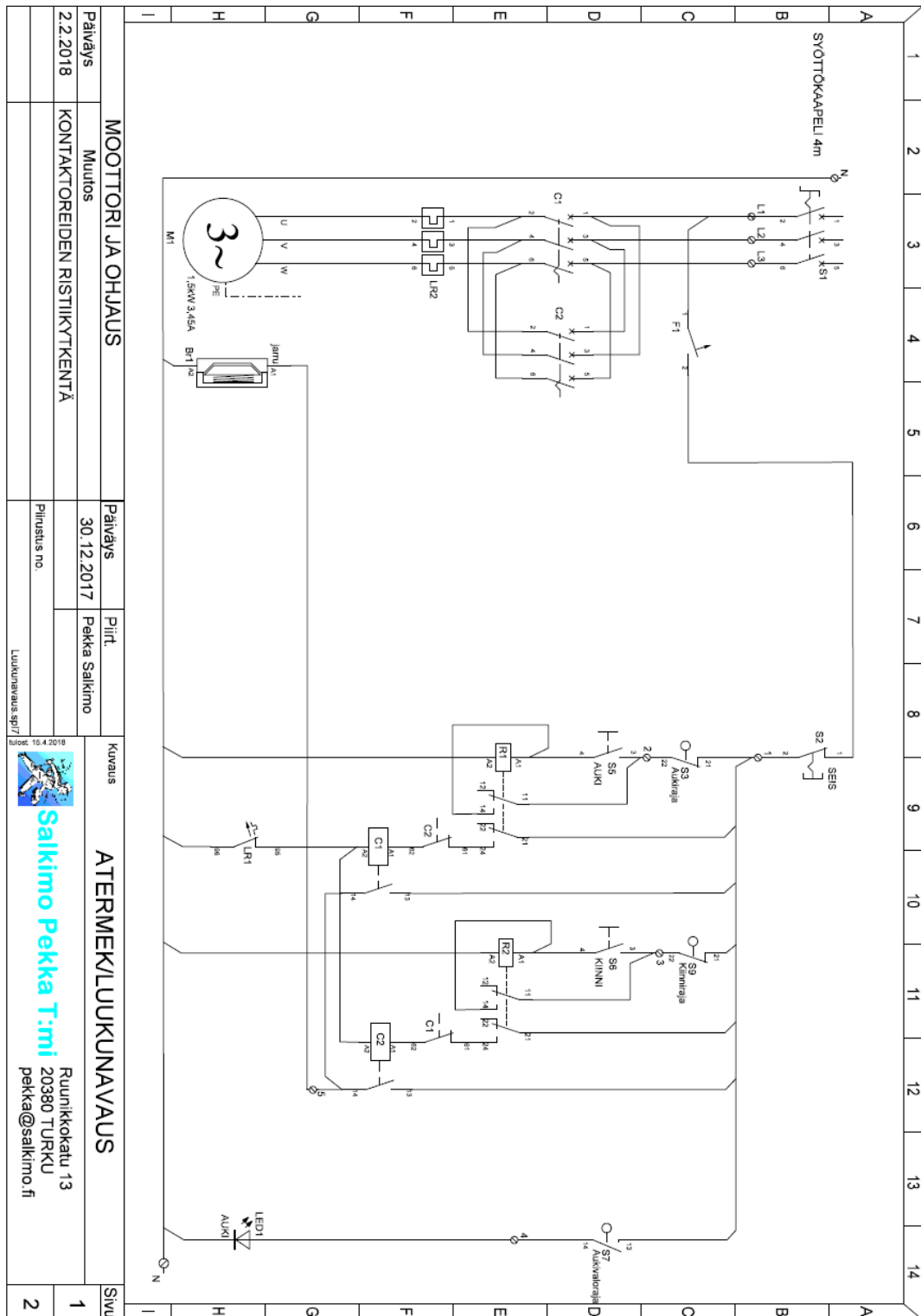
Paroc 2018. Viitattu 5.5.2018 <http://www.paroc.fi/tuotteet/rakennuseristeet/yleiseristeet-eristelyt-ja-eristematot/paroc-extra>.

Ruukki. 2005. Varasto-ohjelma 10.2005. Helsinki: Rautaruukki Oyj.

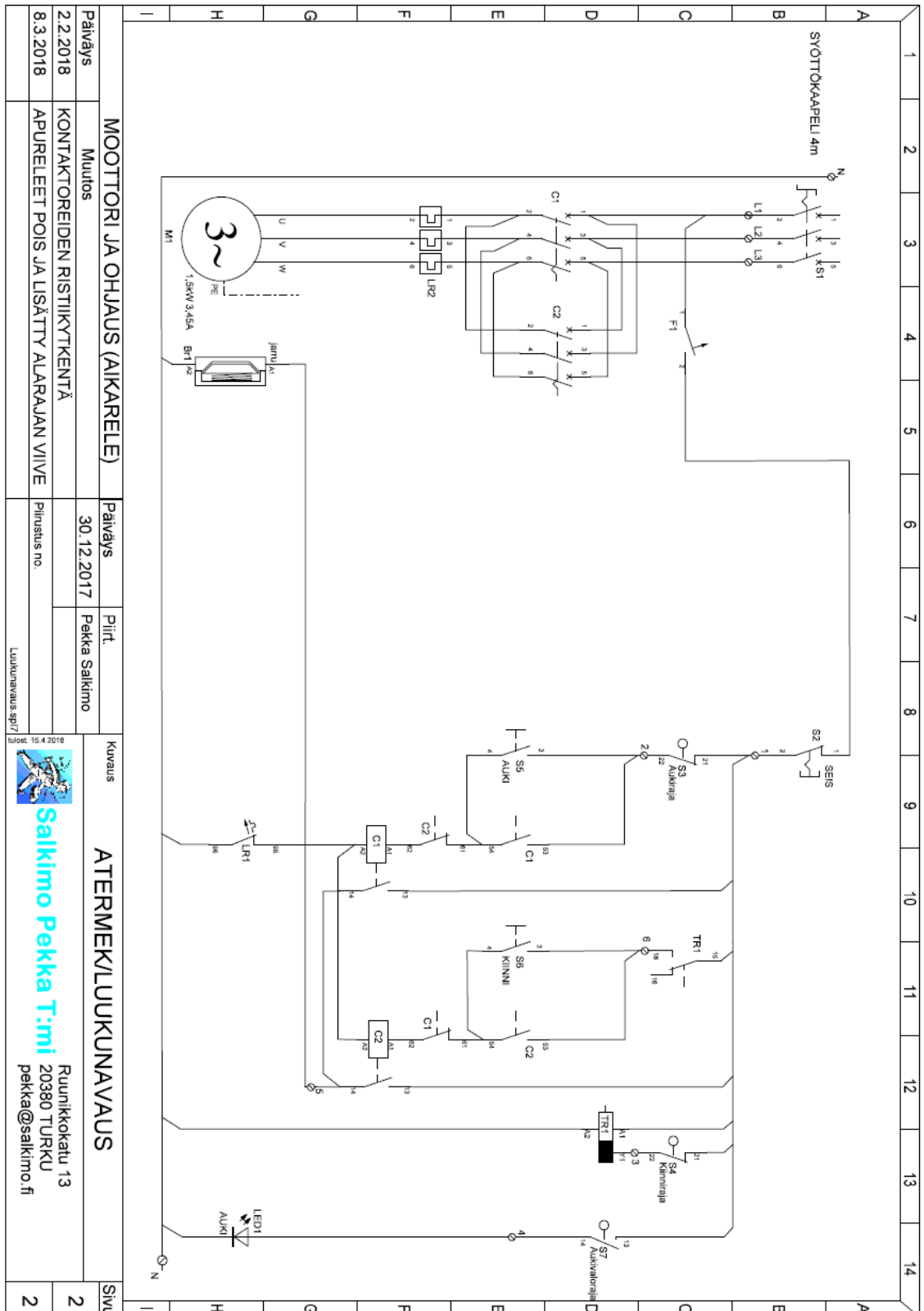
Solidworks 2018. Viitattu 5.5.2018 <http://www.solidworks.fi>.

Sew Eurodrive 2018. Viitattu 5.5.2018 <http://www.seweurodrive.com/produkt/helical-bevel-gear-motor-k-series.htm>.

Sähköpiirustukset

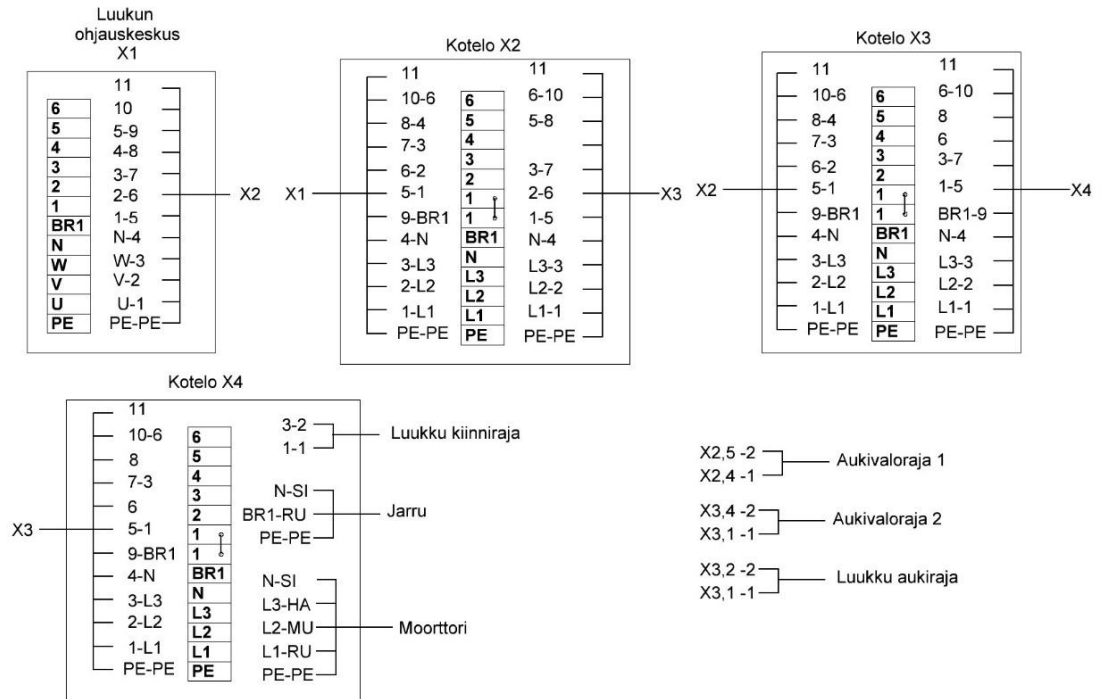


Kuva 14. Sähkökuva luukun avauksesta (Salkimo 2017, 1).

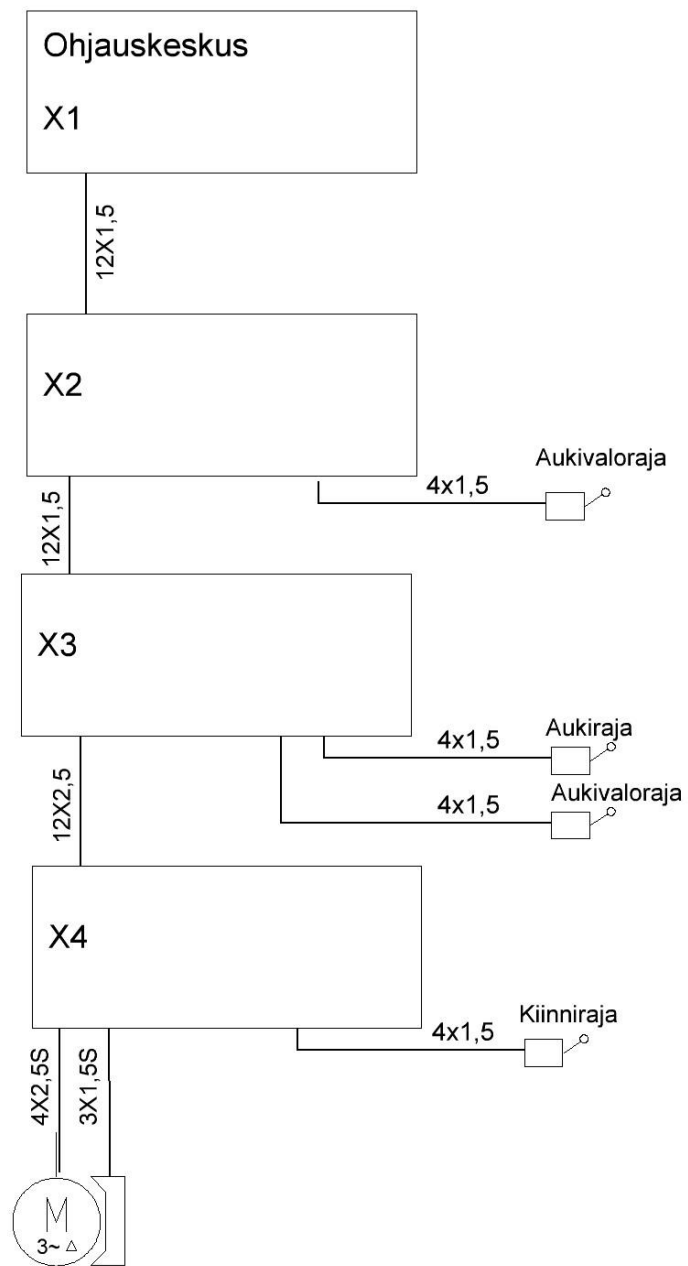


Kuva 15. Sähkökuva luukun avauksesta, muutostyön jälkeen. Aikarele lisätty luukun sulkeutumiseen (Salkimo 2017, 2).

Kytkenät X1-X4

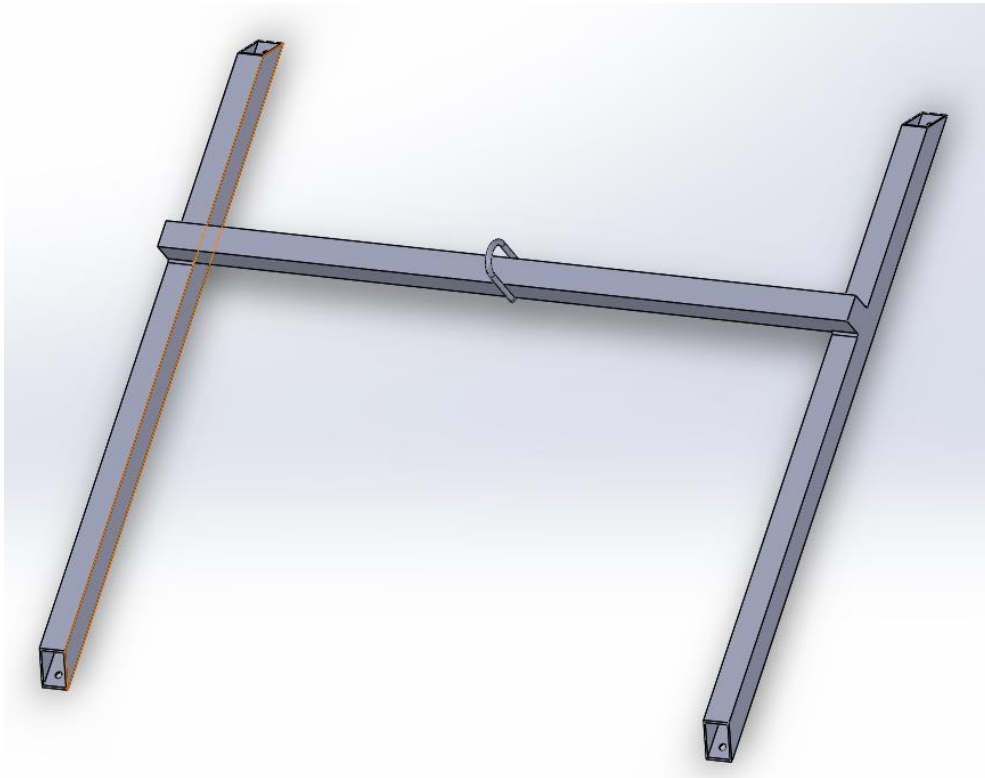


Kuva 16. Välirasioden kaapelien kytkentäkuva riviliittimiin, johdintunnuksin.



Kuva 17. Luukun avauksen havainnekuva kaapeloinneista.

Nostoapuväline



Kuva 18. Nostoapuvälinen Solidworks 3D -malli.