

Timo Tarhanen

# Raskaankaluston pelastusharjoitussimulaattori

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

14.12.2017

Tekijä Otsikko	Timo Tarhanen Raskaankaluston pelastusharjoitussimulaattori
Sivumäärä Aika	40 sivua + 5 liitettä 14.12.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Valmistus- ja tuotantotekniikka
Ohjaaja	Lehtori Markku Saarnio
<p>Työn tavoitteena oli suunnitella, valmistaa ja testata raskaankaluston pelastusharjoitussimulaattori, joka tulisi toimimaan osana UATP 2017-koulutuskiertuetta. Pelastusharjoitussimulaattorin tilaajana toimivat Metropolia Ammattikorkeakoulu, Suomen Palopäälystöliitto, Suomen Pelastusalan Keskusliitto ja Pelastusopisto. Työ toimi jatkona <i>Laitejärjestelmä ketjuveto</i> -innovaatioprojektille.</p> <p>Raskaankaluston pelastusharjoitussimulaattorin projektia käsiteltiin protomallina ja laadittiin projektikaavioissa käytetty vesiputouskaavio. Laitteen toiminnallisia tuloksia olivat kuorma-auton hytin nostaminen normaali korkeuteen pelastusharjoitusta varten ja laskeminen alas hyttien kuljetusta varten.</p> <p>Pelastusharjoitussimulaattorin valmistus suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun työtiloissa Hernesaaressa. Valmistusprosessi eteni osavalmistuksen, osakokoonpanon ja kokoonpanon kautta pintakäsittelyyn. Simulaattori valmistettiin onnistuneesti ja laitetta pystyttiin testaamaan Tampereella ja Turussa UATP 2017-koulutustilaisuuksissa. Ongelmaksi testeissä havaittiin hyttien kiinnitys, minkä seurauksena suoritettiin uudet laskelmat. Ketjuvedossa tapahtuvan vetovoiman rasitukset analysoitiin FEM-analyysi CATIAlla kiinnikkeiden lujuuksien varmistamiseksi. Näiden avulla todettiin kiinnikkeiden kestävän, mutta takakiinnikkeiden pulttiliitosten sijainti todettiin epäedulliseksi. Ehdotettiin korjaavana toimenpiteenä takakiinnikkeiden uusimista, sekä etukiinnikkeiden korjaamista ja vahvistamista. Takakiinnikkeiden uusimisesta laadittiin piirustuksiin b-versio. Muutostöiden valmistumisen ja tilaajan niiden hyväksynnän jälkeen pelastusharjoitussimulaattori myydään ja luovutetaan Keski-Suomen Pelastuslaitokselle.</p> <p>Pelastusharjoitussimulaattori täytti sille asetetut vaatimukset ja mahdollisti pelastusharjoitusten läpiviemisen. Lisäksi lopputyössä pohdittiin laitteen jatkokehitystä, jolla voitaisiin parantaa hyttien kuljetusta. Työn tuloksena syntyi myös harjoitussimulaattorin käyttöohje.</p>	
Avainsanat	Pelastusharjoitussimulaattori, koukkulavakuljetus, protomalli

Author(s) Title	Timo Tarhanen Rescue Training Simulator for Heavy Goods Vehicles
Number of Pages Date	40 pages + 5 appendices 14 December 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Specialisation option	Production Technology
Instructor(s)	Markku Saarnio, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to design and manufacture a rescue training simulator for heavy goods vehicles. The purpose was to design a simulator which can be used as part of UATP 2017 rescue training events. This study is a continuation of an innovation project from 2016 - 2017 related to equipment solutions for chain traction. The thesis was commissioned by the Central Finland Fire and Rescue Department and the Emergency Services College.</p> <p>The Finnish Vehicles Act defines that any truck weighing over 3.5 tonnes and all large goods vehicles up to 38 tonnes are classified as heavy goods vehicles. According to the Finnish Road Safety Organization's statistics report in 2017, accidents involving heavy goods vehicles over the past three years resulted, on average, in 73 deaths and 560 injuries per year. In fatal crashes involving heavy goods vehicles, 73 percent of incidents occurred with passenger vehicles and 7 percent with large trucks. Correspondingly, 53 percent of passenger vehicles and 27 percent of large trucks were involved in accidents with heavy goods vehicles that resulted in non-fatal injuries to people.</p> <p>In heavy traffic accidents, the large weight and size of heavy goods vehicles are complex and challenging issues for rescue services. In order to perform rescue operations safely and effectively at the accident sites, it is necessary that rescue workers receive relevant and realistic training with heavy goods vehicles. The main problem is often the lack of adequate equipment and simulators needed for the heavy rescue training conditions.</p> <p>As a result, a prototype of a rescue training simulator was manufactured. The manufacturing process was carried out at the premises of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences in Hernesaari. This simulator can be used for transporting the cabs of crashed, damaged or obsolete trucks in road traffic. Furthermore, truck cabs stabilized and fixed on the equipment act as a training simulator that can be utilized in heavy rescue training situations. The testing and launching of the final version of the training simulator was carried out at the Hervanta Fire and Rescue Station in Tampere in September 2017. Based on the feedback received in this launching event, the designed training simulator system was considered successful and adequate equipment to be used in heavy rescue training sessions by the Central Finland Fire and Rescue Department.</p>	
Keywords	Rescue Training Simulator, hook lift transport, prototype

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Protomalli	1
3	Harjoitussimulaattorilla harjoittelu ja ohjaamojen kuljetus	3
3.1	Simulaattorilla harjoittelu	3
3.2	Simulaattorilla ohjaamojen kuljetus	4
4	Harjoitussimulaattorin suunnittelu	4
4.1	Koukkulavan runko	6
4.2	Nostomekanismi	7
4.3	Hydrauliikka	8
4.3.1	Teleskooppisylinteri ja palautussylinteri	8
4.3.2	Hydrauliikkaputket/letkut ja pumppu	10
4.4	Kuorma-auton hytin kiinnitys	12
5	Harjoitussimulaattorin osavalmistus ja osakokoonpano	13
5.1	Hytin nostomekanismin tasojen valmistus	13
5.2	Hytin nostomekanismin keinojalkojen valmistus	14
5.3	Ohjaamon kiinnikkeiden valmistus	17
5.3.1	Etukiinnikkeet	17
5.3.2	Takakiinnike	18
5.4	Akselit	19
5.5	Teleskooppi- ja palautussylinterin kiinnitys	19
5.6	Pumpun kiinnitysalusta	23
5.7	Nostomekanismin lukitustanko	24
5.8	Pintakäsittely	25
6	Harjoitussimulaattorin kokoonpano	26
7	Harjoitussimulaattorin testaus ja käyttöönotto	33
8	Yhteenveto	42

Liitteet

Liite 1. Koulutus- ja kehityshankkeen suunnitelma

Liite 2. Raskaankaluston harjoitussimulaattorin osa- ja kokoonpanokuvat

Liite 3. Hydrauliikkakaavio

Liite 4. Raskaankaluston harjoitussimulaattorin käyttöohje

Liite 5. Hytin takakiinnikkeiden muutosehdotus

## Lyhenteet ja termit

bar            baari (paine)

in            tuuma

KN            kilonewton

m/s            metri/sekunti (virtausnopeus)

MPa            megapascal

N            newton (voima F)

UATP            Uusi ajoneuvotekniikka tutuksi pelastustoiminnassa ja raivaustoiminta raskaan ajoneuvon onnettomuuksissa

VG            öljyn viskositeetti ( $\text{cSt} = \text{mm}^2/\text{s}$ ).

Ø            halkaisijan symboli

$\sigma\epsilon$ -piirros    kuvaa teräksen venymäpiirrosta

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli raskaan ajoneuvokaluston pelastusharjoitussimulaattorin suunnittelu, sekä valmistaminen ja toimivuuden testaaminen. Pelastusharjoitussimulaattori on osa raskaankaluston UATP 2017-koulutuskierrosta, jossa on mukana Metropolia Ammattikorkeakoulu, Suomen Palopäälystöliitto, Suomen Pelastusalan Keskusliitto ja Pelastusopisto. Myös useiden automaahantuojaan jälleenmyynnit tukevat pelastus- ja kehityshankkeen suunnitelmaa (liite 1).

Lähtökohtana insinööriyössä on käytetty aikaisemmin innovaatioprojektissa kehitettyä ideaa ja suunniteltuja piirustuksia. Koska innovaatioprojekti oli laajuudeltaan kattava, tämä insinööriyö painottuu enempää muutoksien tekemiseen, valmistamiseen, laitteen testaamiseen ja toimivuuden varmistamiseen. Laitteen valmistus suoritetaan koulun työtiloissa Hernesaarella.

## 2 Protomalli

Protomalli / prototyyppi käsitteenä voi tarkoittaa alkuperäistä tai ensimmäistä versiota. Teollisessa tuotesuunnittelussa yleinen käytetty sana mallikappale. Teollisessa tuotekehityksessä protomalli on myös testikappale ja prototyyppien voi olla useita tuotekehityksen edetessä.

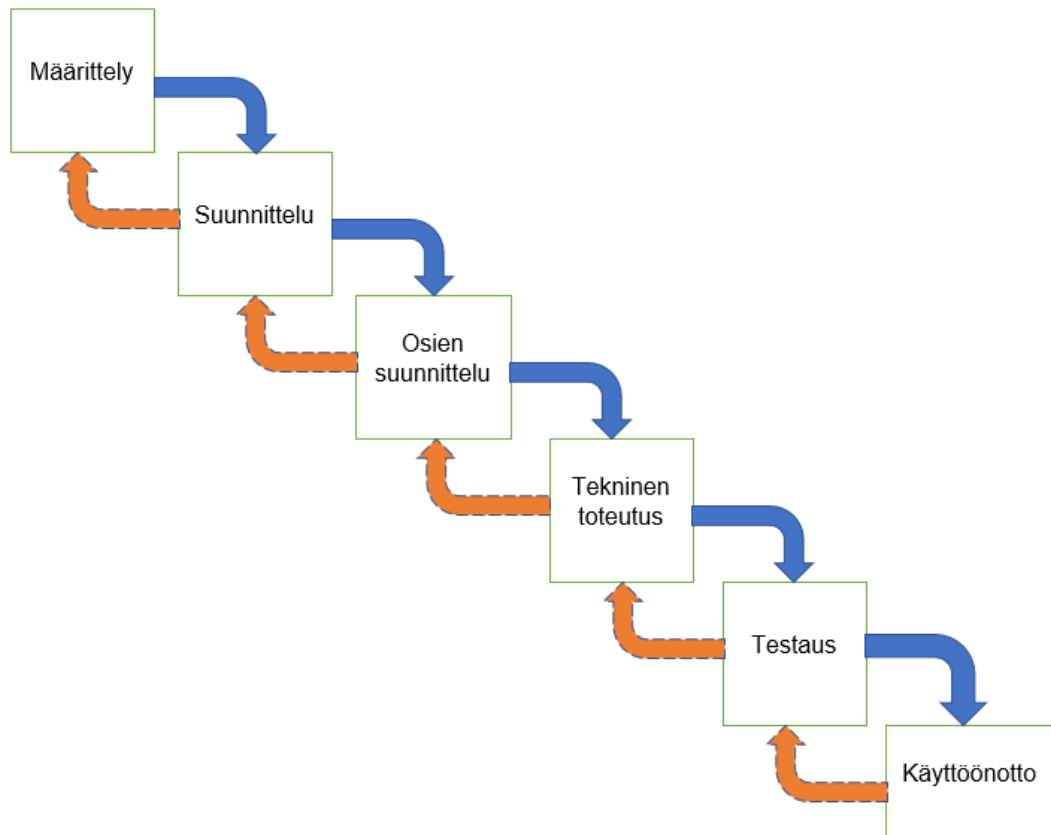
Teollisessa toiminnassa prototyypin tai protomallin testaus on luokiteltu laatuohjeistuksessa määritellyin ohjein. Tyypillisesti prototyyppien valmistetaan autoteollisuudessa, sekä isoissa massatuotannoissa. (1.)

Prototyyppimallissa toiminnan selkeyttämiseksi on hyvä luoda projektiluontoinen kaavio. Tässä työn etenemisen seuraamiseksi on käytetty prosessisuunnitteluun kehitettyä vesiputouskaaviota. Projekti, jossa on selkeä alku ja loppu, jaetaan vesiputouskaaviossa niiden välillä tapahtuviin osiin loogisessa valmistusjärjestyksessä (kuva 1).

- Määrittelyvaiheessa selvitetään, mitä ollaan tekemässä, ja haetaan tuotteen valmistukseen liittyvää taustatietoa (hinta, käyttövoima, materiaalit).
- Suunnitteluvaiheessa keskeinen selvityskohta on, missä ja sen myötä miten valmistus voidaan toteuttaa.
- Teknisen toteutusvaiheen selvitysseikkana on määritellä, miten osat ja kokoonpano integroituvat yhteen.
- Testaus on keino ennakoida ja varmistaa laitteen toiminta.
- Käyttöönotto ja lopullinen luovutus asiakkaalle.

Vesiputouskaaviomallista selviää, miten protomallin edetessä voidaan joutua palamaan edelliseen vaiheeseen ja sitä kautta sitä edelliseen, kunnes ongelma ratkeaa.





Kuva 1. Vesiputouskaavio harjoitussimulaattorin valmistuksessa

### 3 Harjoitussimulaattorilla harjoittelu ja ohjaamojen kuljetus

#### 3.1 Simulaattorilla harjoittelu

Raskaankaluston pelastusharjoituksessa on tarkoituksena harjoitella kolaritilanteessa vaurioituneen kuorma-auton hytin avaamista. Tällä toimenpiteellä luodaan esteetön pääsy potilaiden ensihoitoon ja pois irrottamiseen.

Pelastuslaitos suorittaa a-palkkien katkaisun hydraulisilla leikkureilla ja käytetään ketjuvetoa ohjaamon etuosan avaamiseen. Jotta harjoitustilanne saadaan luotua lähelle todennukaisuutta, on harjoitussimulaattorilla tarkoitus saada nostettua ohjaamo

käyttökorkeuteen. Tällöin pelastusharjoituksessa on apuna käytettävä aputasoa tai muuta soveltuvaa koroketta, niin kuin todellisessa onnettomuustilanteessa.

### 3.2 Simulaattorilla ohjaamojen kuljetus

Kuorma-autolla suoritettavat kuljetukset on määritelty laissa asetuksin. Niissä on määritelty kokonaismassat, akseleille kohdistuvat maksimipainot ja ajoneuvon maksimimitat. Koska harjoitussimulaattorilla on tarkoitus suorittaa käytöstä poistettujen ohjaamojen kuljettamista, on lain määrittämät seikat otettava huomioon.

Kokonaismassan paino ja akselille kohdistuva maksimipaino eivät vaadi tarkempaa tutkimista, koska ohjaamot ovat irrallisia käytöstä poistettuja ja osin sisältä purettuja ohjaamoja. Arvioitu massa ohjaamolle on alle 2,0 tonnia, ja mahdollisen vaihtohytin kanssa massa jää alle 4,0 tonnin. Koukkulavalaitteet jaetaan kahteen luokkaan, alle ja yli 5,0 tonnin nostokapasiteetiltaan. Kuljetus käytännössä voidaan tehdä 2-akselisella kuorma-autolla, joka on kokonaispainoltaan 10 –12 tonnia.

Tärkeimpänä seikkana harjoitussimulaattorin toteutuksessa voidaan pitää lain määrittelemän asetuksen 25 §: ää (26.1.2017/47). (2.) Sen mukaan suurin sallittu korkeus on 4,40 m. Jos ajoneuvon korkeus ylittää yli 4,20 m, on varmistettava kuljetusreitillä mahdolliset riskit tien yläpuolisiin rakenteisiin.

Suurin sallittu leveys on 2,60 m. Leveys saa ylittää vetoauton leveydestä enintään 0,15 m.

Koukkulavan pituus on vapaasti valittavissa 3,0 – 7,0 m: n väliltä, kunhan vetoauton kokonaispituus ei ylitä 12 m: ä.

## 4 Harjoitussimulaattorin suunnittelu

Suunnittelun lähtökohtana käytettiin innovaatioprojektissa valmistettuja piirustuksia, joita muokattiin ja tarkennettiin tehdyn työn valmistuksen helpottamiseksi. Suunnittelussa oli otettava huomioon valmistusverstaan kapasiteetti valmistaa tuote ja se, kuinka paljon valmistuksessa pyritään hyödyntämään valmiita tuotteita ja osia. Valmistuessa

protomallia on tyypillistä, että suunnitelmiin syntyy muutoksia ja lisäyksiä valmistuksen aikana. Näitä hyödynnettiin valmistuksen yhteydessä ja lisättiin piirustuksiin (liite 2).

Suunnittelussa oli otettava huomioon myös teknisten laitteiden lain (26.11.2004/1016) 4 § (3.) määrittämä valmistajan yleinen huolehtimisvelvollisuus. Valmistajan tulee suunnitella ja valmistaa tekninen laite rakenteiltaan, varusteiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan sellaiseksi, että se soveltuu tarkoitettuun käyttöön eikä tällaisessa käytössä aiheuta tapaturman vaaraa eikä terveydellistä haittaa (kuva 2).



Kuva 2. Pelastusharjoituslattia

#### 4.1 Koukkulavan runko

Koukkulavan runko tilattiin valmiina tuotteena, johon valmistaja lisäsi etuosaan lavan. Tilatun koukkulavarungon pituudeksi oli valittu 6,0 m. Lavaa voidaan käyttää tarvittaessa toisen hytin kuljettamiseen tai muuhun tarpeelliseen käyttöön. Lava on kooltaan 2300x3500 mm ja levymateriaalina on teräksinen kyynellevy. Lavan sivuille tuli upotettavat kiinnityslenkit mahdollista kuorman sitomista varten. Lisäksi valmistaja pintakäsittelee valmistamansa koukkulavan rungon lavoineen (kuva 3).



Kuva 3. Koukkulavan runko

## 4.2 Nostomekanismi

Nostomekanismin runkokehikoista poistettiin vahvikelevyt ja korvattiin pronssisella laakerilla. Laakerit ovat valmistuotteita ja sisältävät hitsattavat 40 Ø laakeriholkit. Laakeriholkin toiselle ulkokehän sivulle sorvattiin 5 mm syvä soviteura, jonka halkaisija oli 30 mm. Samoin runkokehikon sivuilla olevat reikien halkaisija muutettiin 30 mm:ksi.

Nostomekanismin keinujalkojen sivut ja uuma pysyivät alkuperäisten piirustusten mukaisena. Jaloista poistettiin vahvikelevy ja alapäässä olevat akselin lukitusholkit. Tilalle valmistettiin lukitusruuvilla olevat holkit ja hitsattiin jalkojen sivujen sisäpintaan akselireiän kohdalle. Huomioitavaa keinujalkojen ollessa ylä-asennossa on, että uuma on lineaarisesti pystyasennossa, jolloin se nojaa ylä- ja alakehikoihin uuman päistä. Silloin laitteen yläkehikko ja hytin massa kohdistuvat uumaan ja sarana-akseleihin. Uuman ja tasojen kosketuspinnat vahvistettiin lisäämällä uuman päihin vahvikelevyt.

Nostomekanismin innovaatioprojektissa suunniteltu lukitus alaosa poistettiin. Laitteen pysyminen yläasennossa varmistettiin valmistamalla etummaisten keinujalkojen ja yläkehikon väliin lukituslatta molemmille sivuille. Lukituslatta on kooltaan 40\*6 mm, ja sen molempiin päihin porattiin reiät Ø 20 mm: ä. Kiinnitystapit valmistettiin Ø 30 mm tangosta, joihin porattiin Ø 8 mm reiät irrotettaville sokille. Kiinnitystappeja hitsattiin ylätasoon kaksi kpl, joista toinen on lukituslattan säilytystä varten. Yksi kiinnitystappi hitsattiin keinujalan ulomman sivun sisäpintaan annettujen mittojen mukaan.

### 4.3 Hydraulikka

Teleskooppisylinteri, joka olisi kaksitoiminen, olisi käytännössä mahdollinen. Kuitenkin saatavuuden ja korkean hinnan vuoksi innovaatioprojektin suunnitelmasta luovuttiin ja tilalle asennettiin yksitoiminen teleskooppisylinteri (kippisylinteri). Yksitoimisen teleskooppisylinterin paluuliike perustuu nostolaitteen ja hytin massan aiheuttamaan painovoimaan. Ongelma muodostuu, kun sarana-akselit ovat pystysuunnassa samalla linjalla origosta katsottuna, jolloin ylätaso jää yläasentoon. Lisäksi liikerata jatkuu pystylinjan yli, kunnes ylä- ja alakehikon ja keinuajan uuman päät kohtaavat. Pystylinjan ylityksen seurauksen painovoima aiheuttaa negatiivisen kiertosuunnan. Ongelman ratkaisuksi lisättiin ylätason alas laskemiseen erillinen palautussylinteri, joka työntää ylätason takaisin sarana-akselien pystylinjan yli eteenpäin. Palautussylinteri asennettiin ylä- ja alakehikon takaosaan sivulle hitsattavilla korvakkeilla. Hydraulikasta valmistetaan Hydraulikkakaavio osaluettelointeen (liite 3).

#### 4.3.1 Teleskooppisylinteri ja palautussylinteri

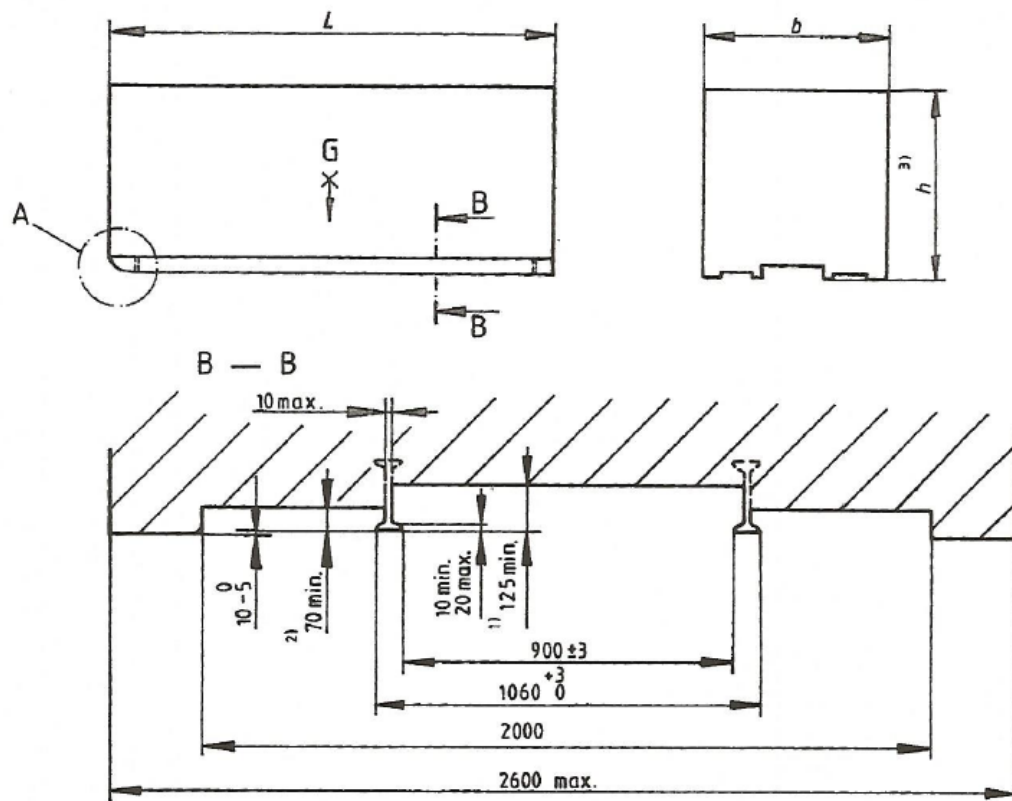
Teleskooppisylinteri on valmistuote, joka on sivukiinnitteinen. Sylinterin iskun pituus on 110 –1540 mm. 160 barin paineella työntövoima on 6 tonnia. Tuotteen mukaan tulivat pulttikiinnitteiset keinuakkeri ja pallokuppi lukkopaloilla. Valinnan perusteena oli tarvittavan iskun pituus, kiinnitys ratkaisun sopivuus ja edullinen hinta.

Palautussylinteri on myös valmistuote, joka on sylinterin päistä kiinnitettävä. Palautussylinterin iskun pituus on 600 mm ja asennusmitta 810 mm. Palautussylinteri on alkuperältään kaksitoiminen sylinteri, joka muutetaan yksitoimiseksi lisäämällä paluukanavaan pelkkä ilmaventtiili.

Teleskooppisylinterin keinulaakereille valmistettiin kiinnitysalustat 12 mm:n teräslevystä, jotka hitsataan alatasen etuosan sivuun kiinni. Alustojen kiinnityksessä tärkeimpänä seikkana on niiden korkeus. Teleskooppisylinterin vaipan pituus on 450 mm. Vaipan ja koukkulavan rungon alapinnan välisen etäisyyden kuljetusasennossa on oltava vähintään 70 mm. Tämä käy ilmi maahan laskettavien vaihtokorien mittoja määrittelevästä standardista SFS 441 mukaan (kuva 4). (4.)

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO

SFS 4417 3



Kuva 4. Maahan laskettavien vaihtokorien mittoja määrittelevä standardi SFS 441

Teleskooppisylinterin yläpään kiinnityksessä käytettiin teleskooppisylinterin valmistajan valmistamaa pallokuppia, joka asennettiin ylätason etuosan sivuun. Pallokupin alustaksi sahattiin 50 mm pyörötangosta kiilamainen hitsattava asennuspala. Tällä saatiin pallokupin asento kohtisuoraan teleskooppisylinteriä.

Palautussylinterin kiinnityksessä käytettiin valmiita kiinnityskorvia 4 kpl. Korvien valinnassa sovellettiin palautussylinterin kiinnityksessä käytettävien kiinnitystappien halkaisijaa. Alapään korvat hitsattiin alatason takaosan päälle ja yläpään korvat hitsattiin ylätason takaosan sivuun.

#### 4.3.2 Hydrauliikkaputket/letkut ja pumppu

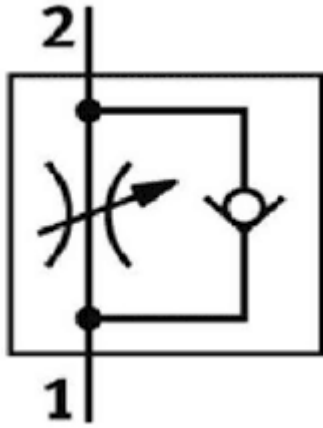
Hydrauliikkalinjat valmistettiin Ø 15\*1,5 saumattomasta kylmävedetystä sinkitystä tarkkuusteräsputkesta. Laatu oli E235+N (st 37.4 NBK) ja putken max. työpaine on 287 bar. Putket kiinnitetään hitsattavilla putkikiinnikkeillä noin 1000 mm:n välein. Putkien sijoitus tehtiin koukkulavassa ohjauspalkistona käytetyn 180 l-palkin ylälatan alapintaan. Sijoittamalla kyseiseen kohtaan putket ovat suojassa ja eivät aiheuta esteitä.

Hydrauliikkaputken ja sylintereiden väli tehtiin hydrauliikkaletkulla sylinterin vapaan liikkumisen varmistamiseksi. Samoin putken toiseen päähän asennettiin hydrauliikkaletkut pumpun ja putkien väliin. Hydrauliikkaletkuna käytettiin yksiteräskudosletkua, joka on Germanischer Lloyd (GL) -hyväksytty. Letkun sisähalkaisija oli 5/8 in ja työpaine 180 bar.

Pumpun valinnassa huomioitavaa on, että harjoituksen aikana laitejärjestelmä on irti koukkulava-autosta, jolloin autossa olevia energialähteitä ei voida käyttää, eikä kustannussyistä myöskään moottoroitua hydrauliikkapumppua. Vallinnaksi sopii käsitoiminen pumppu, ja koska nostomekanismissa on kaksi yksitoimista hydrauliikkasylinteriä, pitää pumpun yhteydessä olla kaksitoiminen käyttöventtiili.



Teleskooppisylinterin putkilinjastoon asennettiin vastusvastaventtiili. Vastusvastaventtiilillä, joka on varustettu käsiasäädöllä, voidaan säätää virtauksen määrää tankin suuntaan ja se sallii vapaan virtauksen paineen suuntaan. Tämä lisäys mahdollistaa nostomekanismin vapaan laskunopeuden säädön (kuva 5).



Kuva 5. Vastusvastaventtiili

Pumpuksi valittiin SalHydro Oy:n mallin PMI – OMFB-tuotemerkin selkeän ja tarkoitusta palvelevan valikoiman vuoksi. (5.) Laitteen hydraulikka toteutettiin kaksitoimisella venttiilillä varustetulla käsikäyttöisellä hydraulikkapumpulla, jonka iskutilavuus on  $45 \text{ cm}^3$  (kuva 6).



Kuva 6. Kaksitoimisella venttiilillä varustettu käsikäyttöinen hydraulikkapumppu

Pumppuun asennettiin lisäksi saman tuotesarjan 7-litrainen integroitu öljysäiliö. Hydraulikkapumppu asennettiin vaihtolavan sermin sivuosaan siihen valmistetulle kiinnityslevylle. Kyseinen pumpun toimittaja rajaa käyttölämpötilan  $-15 - +110\text{ °C}$ :seen ja hydraulikkaöljyn viskositeettiarvon  $22\text{ VG}$  ( $\text{cSt} = \text{mm}^2/\text{s}$ ). Lisäksi ostettiin valmistajan valmistama pumppuun soveltuva käsivipu.

#### 4.4 Kuorma-auton hytin kiinnitys

Kuorma-auton hytin kiinnitystä nostomekanismin ylätasoon varten valmistettiin kiinnityskorvakkeet. Kipattavissa hyteissä hytin etupäässä käytettiin saranakorvakkeita

ja takapäässä lukituskorvakkeita. Jokaisella kuorma-auton valmistajalla on omantyyppiset korvakkeet, mutta toimintaperiaate on jokseenkin sama kaikilla.

Ylätasoon hitsattavia hytin kiinnityskorvakkeita suunniteltaessa käytettiin samaa periaatetta kuin kuorma-auton valmistajat. Korvakkeiden on oltava riittävän vahvat, koska niihin kohdistuu harjoituksessa vetoa ja kiertosuuntaista vääntöä. Tarkempaa ennakkosuunnittelua on haastava suorittaa, koska käytettävistä ohjaamoista ei ole tietoa. Kuten tyypillistä protomallin valmistuksessa, hytin kiinnikkeet ideoidaan ja tarkempi suunnittelu tehdään mallintaessa ohjaamoa paikoilleen.

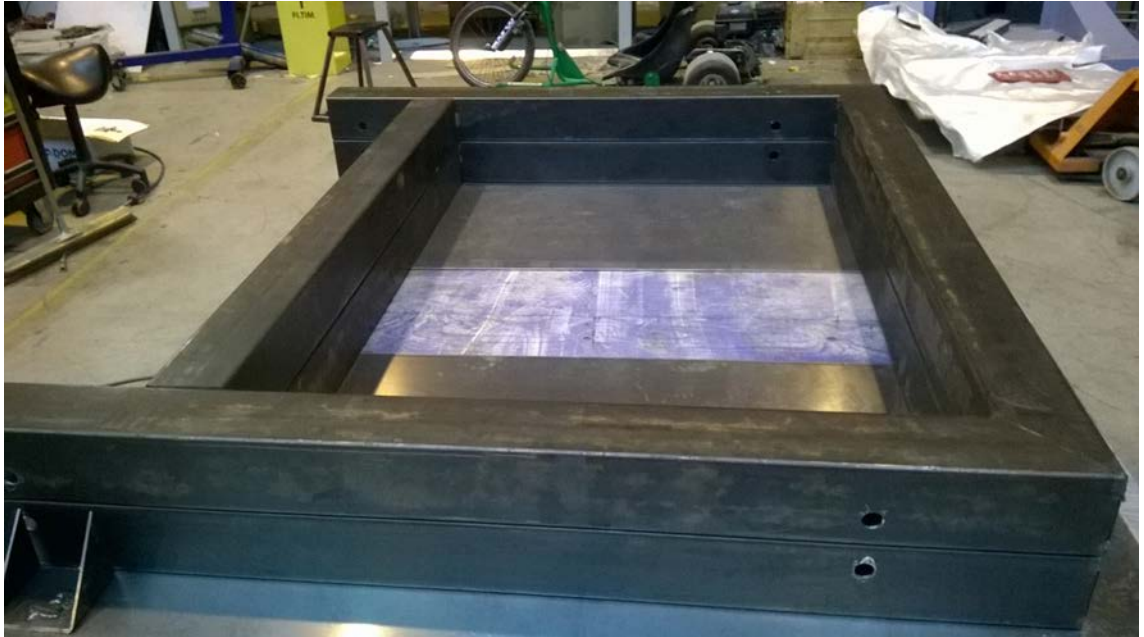
## **5 Harjoitussimulaattorin osavalmistus ja osakokoonpano**

Osavalmistus on yksittäisten osien valmistamista ja liittämällä osakokoonpanossa tai kokoonpanossa yhteen saadaan muodostettua haluttu kokonaisuus.

### **5.1 Hytin nostomekanismin tasojen valmistus**

Nostomekanismin tasot 150\*150\*5 RHS-neliöputkipalkit sahattiin annettuihin mittoihin ja annettuihin kulmiin. Hitsattaviin jiriliitoskohtiin valmistettiin Y-viisteet 22,5° tasojen ylä- ja alapintoihin. Y-viisteen alapintaan jätetään 2 mm juuripinta. Liitoksen sivut hitsattiin pienahitsauksena. Hitsausmenetelmä on MIG-/MAG-hitsaus. Laakeripesien kohtaan palkkiin koneistettiin 30 mm: n reiät. Seuraavaksi valmistetut neliöpalkit koottiin ja silloitetaan MIG/ MAG-hitsauksella yhteen (kuva 7).

Laakeriholkit ostettiin valmiina tuotteena. Hitsattavien laakeripesien holkkiin koneistettiin Ø 30 mm huullos, joka on 5 mm syvä ja toimii ohjurina asentaessa holkkeja paikoilleen. Ennen laakeriholkkien silloitushitsaamista kannatti pronssiset laakerit prässätä holkin sisään, koska kyseessä on ahdistussovite.



Kuva 7. Nostomekaanismin tasot

## 5.2 Hytin nostomekanismin keinuajalkojen valmistus

Jalkojen osien sivut, uumat ja vahvikelevyt valmistettiin polttoleikkaamalla plasmaleikkurilla CATIA- kuvaa apuna käyttäen. Osat muutettiin dxf-tiedostoksi, jolloin plasmaleikkuri valmisti osat piirrettyjen muotojen mukaan. Plasmaleikkaus suoritettiin ulkopuolisen toimittajan puolesta. Sivut ja uuma asemoitiin ja silloitettiin yhteen. Uuma ja uuman päihin tulevat vahvikelevyt asennettiin sivujen väliin. Lopuksi osat hitsattiin pienahitsauksena ja MIG/ MAG-hitsauksella yhteen.

Keinujalkojen sivussa olevien akselireikien kohdalle valmistettiin akselille vahvike / lukitusholkki.

Alapään holkit ovat Ø 40 mm ja pituus 24 mm. Holkin keskelle porattiin Ø 20 mm läpireikä akselille ja holkin ulkopintaan pituuteen nähden M8-kierrereikä lukitusruuvia varten. Poraus tehtiin akselireikään asti. Kierrereikään asennettiin M8x20 kupillinen kuusiokoloruuvi.

Yläpään holkit ovat Ø 40 mm ja pituus 12.5 mm. Holkin keskelle porattiin Ø 20 mm läpireikä akselille ja holkin ulkopintaan pituuteen nähden M8-kierrereikä lukitusruuvia varten. Poraus tehtiin akselin reikään asti. Kierrereikään asennettiin M8x20 kupillinen kuusiokoloruuvi.

Ylä- ja alapään lukitusholkit, sekä liukulaakerin holkit asemoitiin akselilla samaan linjaan ja silloitettiin paikoilleen (kuva 8). Keinujalkojen osakokoonpanossa on hyvä merkata jalkojen paikka. Se helpottaa kokoonpanoa, koska osakokoonpanossa tapahtuvat poikkeamat osien asemoinnissa ovat mahdollisia.



Kuva 8. Keinujalan lukitusholkkien sovitus

### 5.3 Ohjaamon kiinnikkeiden valmistus

#### 5.3.1 Etukiinnikkeet

Aluslaattaan 150x250x10 mm koneistettiin 12 mm:n liuku-ura, jolla saadaan säätömahdollisuus kiinnityskorvalle. Liuku-uran pituus on 225 mm ja uran leveys 12 mm. Alustan alapuoleisen pinnan sivuille valmistettiin 50x10 mm:n latasta jäykistelatat, joiden pituus on 225 mm. Jäykistelatat hitsattiin aluslaattaan pienahitsauksella. Hitsausmenetelmä oli MIG/ MAG-hitsaus.

Valmistuotteena hankittuun, korvakkeen alapintaan valmistettiin aluslaatta 150x100x10 mm. Aluslaatan pitkänsivun päihin, koneistettiin liuku-urat sivuttaissäätöä varten. Urien pituus on 65 mm ja urien leveys 12 mm. Korvake hitsattiin aluslaatan keskelle pituussuunnassa pienahitsauksella ja MIG/ MAG-hitsausmenetelmällä.

Aluslaatan ja korvakkeen aluslaatta yhdistettiin M12x50 mm:n pulttiliitoksella. Yhdistelmä asemoitiin ja hitsattiin ylätason välipalkin sivulle. Ohjaamon kiinnityksessä käytettiin M16 x 150 mm:n pulttia, jonka lisäksi korvakkeiden väliin valmistettiin väliholkit estämään ohjaamon sivuttaisliike (kuva 9).



Kuva 9. Ohjaamon etukiinnike



### 5.3.2 Takakiinnike

Takakiinnikkeen korokevarsi tehtiin 60-RHS neliöputkista, päät sahattiin viistosti 60°kulmaan. Korokevarrenkorkeudeksi tuli 220 mm. Varren yläpäähän valmistettiin 60x10 mm:n laatasta aluslaatta, jonka pituus on 100 mm. Aluslaatta hitsattiin pienahitsauksella keskelle korokevarren yläpäähän. Hitsausmenetelmä oli MIG/ MAG-hitsaus. Valmistuksessa saatiin hyödynnettyä Volvota saatua ohjaamon kuljetuskehikkoa, josta käytettiin kiinnitysjalat.

Ohjaamon takakiinnikkeen vastinkappaleeksi tehtiin kiinnityskuppi 50x30x100 mm:n laatasta. Laatan pitkän sivun yläpäähän koneistettiin 50x25 mm läpi ura. Uran sivulle jäävien yläpintojen keskelle porattiin M12 kierteet, joiden syvyys on 36 mm. Vastinkappale hitsattiin aluslaattaan pienahitsauksella aluslaatan keskelle.

Kiinnikelevy valmistettiin 30x10 mm laatasta, jonka pituus on 100 mm. Laatan toiseen päähän porattiin Ø15 reikä ja toiseen päähän koneistettiin ura, jonka leveys on 10 mm ja pituus 30 mm. Kiinnikelevy kiinnitettiin M12x50 mm:n pulteilla kiinnityskupin yläosaan. Väliin asennettiin 12x25,4 mm:n aluslevy. Takakiinnikkeet asetoitiin ohjaamon kanssa paikoilleen ja hitsattiin pienamenetelmällä ylätason kehikon päätypalkin yläosaan (kuva 10).



Kuva 10. Ohjaamon takakiinnike



#### 5.4 Akselit

Akselit valmistettiin vedetystä teräksisestä pyörötangosta (kirkas) S355J2 C. Akselien halkaisija on 20 mm ja ne sahattiin 264 mm pituisiksi. Akselin päät viistettiin  $2 \times 45^\circ$ . Akselin sisempään päähän pituuteen nähden poikittain porattiin  $\varnothing 10$  mm:n reikä rengassokalle. Akselin ulompaan päähän valmistettiin päätyholkki, jonka halkaisija on 40 mm:ä ja pituus 15 mm. Holkin keskelle porattiin  $\varnothing 20$  mm:n sovitereikä ja asennettiin akselin pään kanssa tasan. Holkki- ja akselinpää puoli V-railo hitsattiin kupuhitsinä. Hitsausmenetelmä oli MIG/ MAG-hitsaus.

#### 5.5 Teleskooppi- ja palautussynterinterin kiinnitys

Teleskooppisynterinterin mukana tuli kiinnityskorvakkeet. Niille valmistettiin kiinnitysalusta  $50 \times 10$  mm laatasta, jonka pituus on 250 mm. Lattaan porattiin  $\varnothing 16$  mm:n reiät kiinnityskorvakkeissa olevien kiinnitysreikien mukaan. Kiinnitysalustan alapuolelle valmistettiin kannatinlevy, jolla kiinnitysalusta kiinnitettiin alempaan tasoon kiinni ja jäykistettiin kiinnitysalusta. Levyn koko oli  $250 \times 250 \times 10$  mm ja se hitsattiin pienahitsauksella kiinnitysalustan reunaan, jättäen 5 mm:n reuna kiinnitysalustan pitkittäiselle sivulle. Hitsausmenetelmä oli MIG/ MAG-hitsaus.

Kiinnitysalustat asetoitiin teleskooppisylinterin kanssa ja silloitettiin alatason välipalkkiin (kuva 11).



Kuva 11. Teleskooppisylinterin kiinnitysalustan asemointi

Teleskooppisylinterin yläpään kiinnitystä varten valmistettiin kiilamainen sovitealusta. Sovitealusta asetoitiin ja silloitettiin ylätason päätypalkkiin teleskooppisylinterin kiinnityskupin kanssa (kuva12). Sovitusta varten nostomekanismin osat oli koottuna yhteen. Valmistajan suosituksen mukaan ennen yläpään kiinnitystä teleskooppisylinterin on oltava 20 mm ulkona runkoputkesta. Toiminnan testauksen jälkeen suoritettiin lopullinen hitsaus ja leikattiin sovitealustasta ylimääräinen ylätason ylite pois.



Kuva 12. Teleskooppisylinterin kiinnitys ylätason sivulle

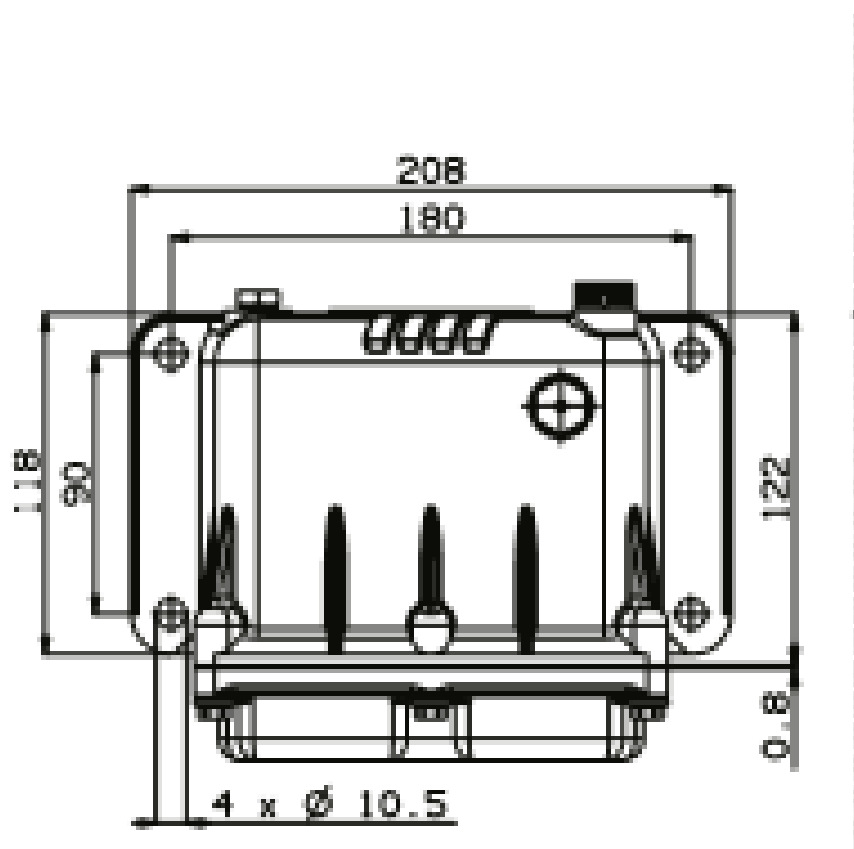
Palautussylinteri asennettiin nostomekanismin ollessa yläasennossa. Sylinterin kiinnityskorvakkeet silloitettiin ala- ja ylätason päähän. Korvakkeet hitsattiin pienahitsauksena (kuva 13).



Kuva 13. Palautussylinterin kiinnitys

## 5.6 Pumpun kiinnitysalusta

Pumpun kiinnitysalustan koko oli 250x150x10 mm ja kiinnitysalustaan porattiin kiinnityspulteille reiät (4 kpl) pumpun valmistajan antamien mittojen mukaan (kuva 14). Porattavien reikien halkaisija oli 12 mm.



Kuva 14. Pumpun kiinnitysreikien mitoitus pumpun valmistajalta

## 5.7 Nostomekanismin lukitustanko

Ylätason lukitsemiseksi yläasentoon valmistettiin 40x 6 mm:n laatasta ja lukitustangon pituus oli 580 mm. Laatan päihin porattiin Ø 20 mm:n reiät.

Laatan kiinnittämiseksi nostomekanismiin valmistettiin kiinnitystapit (6 kpl). Tapit valmistettiin Ø 30 mm:n pyörötangosta, josta sahattiin 25 mm pitkiä aihioita. Aihioista sorvattiin 15 mm:n pituudelta ainesta pois. Jäävä aineksen halkaisija oli 18 mm ja loppu 10 mm jäi hitsauspinnaksi. Lukitustapit hitsattiin pienahitsauksena ylätason sivuun ja keinojalkojen ulomman sivun sisäpintaan. Asennus ja hitsaus suoritettiin kokoonpanon yhteydessä (kuva 15).

Lukitustangon säilytystä varten lisättiin ylätason sivulle yksi lukitustappi lisää. Lukitustangon ollessa vapaana se voidaan kääntää ja lukita lisättyyn lukitustappiin.



Kuva 15. Nostomekanismin lukitustanko

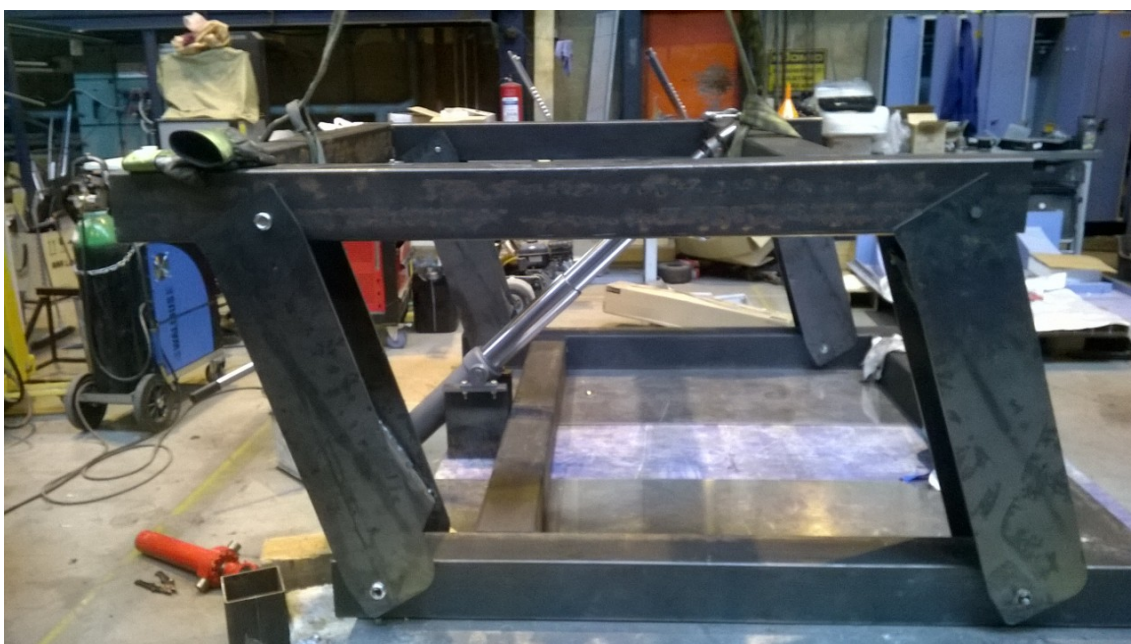
## 5.8 Pintakäsittely

Osan pintakäsittely on hyvä suorittaa ennen valmistettujen osien kokoonpanoa. Valmistettujen osien pintakäsittely irrallisena mahdollistaa osien kääntelyn, ja ahtaat välit ovat helpommin käsiteltävissä. Pintakäsittely suoritetaan telalla tai pensselillä. Pintakäsittelyä käytettiin samaa maalia kuin koukkulavan rungon valmistaja (Tikkurilan: Duasolid 50). Se on kaksikomponenttinen, korkeakuiva-aineinen ruosteenestopigmentoitu oksiraaniesterimaali, joka soveltuu yksikerrosmaaliksi tai oksiraaniesterijärjestelmien pintamaaliksi teräspinnoille vaativissa ilmasto-olosuhteissa. Maalia suositellaan maansiirtokoneiden, kuljetus- ja nostolaitteiden, trukkien, maatalouskoneiden, sähkölaitteiden, metallisisustuksien, pumppujen ja muiden teräsrakenteiden maalaukseen. (6.)

Maalauksen turvallisuudessa oli syytä noudattaa valmistajan ohjeita. Maali sisältää oksiraania eli etyleenloksiidia, joka on terveydelle vaarallinen. (7.)

## 6 Harjoitussimulaattorin kokoonpano

Ennen osien lopullista hitsausta nostomekanismin osat koottiin yhteen. Samalla varmistettiin nostomekanismin toiminta testaamalla (kuva 16). Testauksen jälkeen nostomekanismi purettiin osiin ja silloitetut osat hitsattiin lopullisesti paikoilleen. Viimeisteltiin hiomalla terävät särmät pois.



Kuva 16. Nostomekanismin testaus kokoonpanon yhteydessä



Valmiin koukkulavarunon päälle asemoitiin alataso kokoonpanokuvissa annettujen mittojen mukaan (kuva 17). Alataso hitsattiin asennuksen jälkeen rungon 180 I-palkin päältä kiinni alatasen pääty- ja välipalkista palkin molemmin puolin.



Kuva 17. Alatasen asemointi runkoon

Keinujalat asennettiin alatasoon merkatuille paikoille. Ennen akselin asentamista liukulaakerit voideltiin alustarasvalla CLS-0 EP (vaseliini), joka sopii liukupintoihin. (8.) Akselin lukitusholkkien ruuvit kiristettiin ja rengassokat asennettiin akselien päihin.

Ylätaso asennettiin kääntäen ja alapään peilikuvana paikoilleen. Ylätason liukulaakerit voideltiin ennen akselien asennusta. Akselin lukitusholkkien ruuvit kiristettiin ja rengassokat asennettiin akseleitten päihin.

Teleskooppisylinteri asennettiin ja rasvanippoihin (3 kpl) lisättiin alustarasvaa. Palautussylinteri asennetaan nostomekanismin ollessa yläasennossa. Palautussylinterin kiinnitystapit asennettiin paikoilleen ja lisättiin niihin rengassokat.

Pumpun kiinnitysalusta sijoitettiin sopivaksi katsottuun kohtaan. Tässä tapauksessa asemointi tehtiin koukkulavarungon etusermin sivulle, oletuksena turvallisuus käytössä ja alhaisempi vaurioitumisriski. Kiinnitysalusta hitsattiin pienahitsauksella (kuva 18).



Kuva 18. Pumpun alustan kiinnitys

Pumppu koottiin ja lisättiin saman tuotesarjan 7 litraiseen integroituun öljysäiliöön. Kokoamisen jälkeen pumppu asennettiin edestäpäin katsottuna pumpun kiinnitysalustalle M10 x45 mm:n pulteilla.

Hydrauliikkaputket Ø 15\*1,5 mm katkaistiin sopivan mittaisiksi ja kiinnitettiin koukkulavarungon 180 I-palkkiin hitsattuihin polypropyleeni-putkikiinnikkeisiin (kuva 19).



Kuva 19. Hitsattava polypropyleeni-putkikiinnike

Putkien päihin asennettiin liitinsarja, joka koostui seuraavista osista:

- putkiliittimet DIN 2353 (perusliitin), kevyen sarjan 90° kulmaliitin M-kartioulkokierteellä (M18X1,5) (kuvat 20–21).
- M-kierteiset kevyen sarjan suorat DKOL-liittimet (M18x1,5 kara 1/2).



Kuva 20. Putkien liitos edessä



Kuva 21. Putkien liitos takana



Letkujen liitokset pumppuun koostuvat liitinsarjasta:

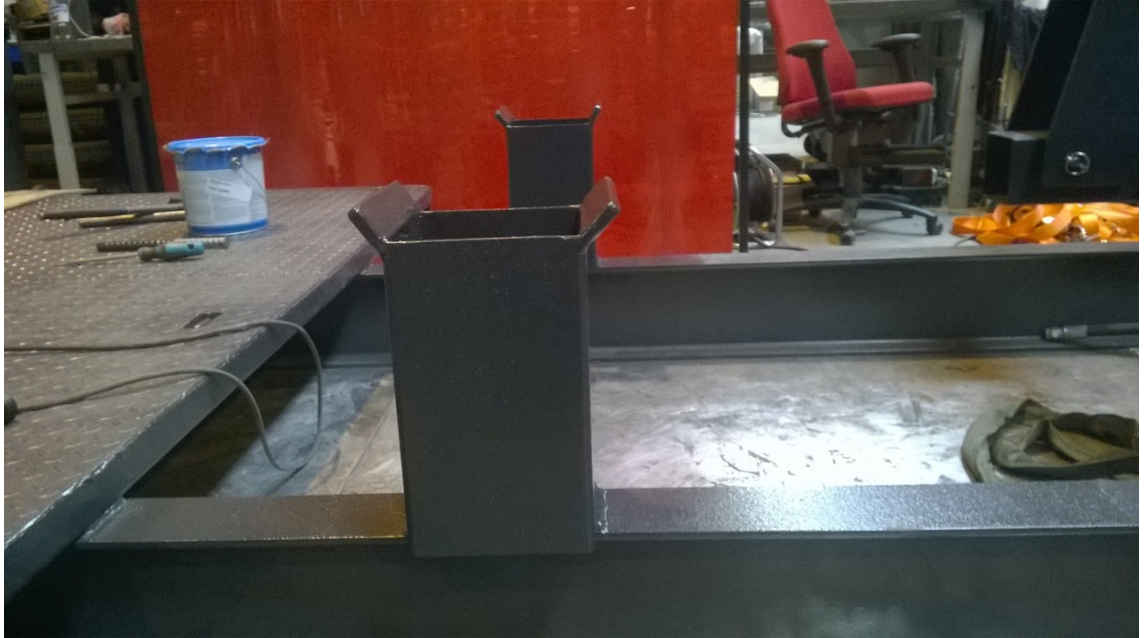
- M-kierteiset kevyen sarjan suorat DKOL-liitimet (M18x1,5 kara 1/2).
- FPSU -vastusvastaventtiili (Max työpaine 350 (bar), Max virtaus 50 (l/min) 1/2" sisäkierre), Kaksoisnippa BSP UK/UK (kierre 1R" 3/8, kierre 2R" 1/2).
- 90°-Nippa BSP SK / SK sisäkierre 3/8".
- Palautussyinterille menevän linjan liitin BSP - Sisäkierre 1/2 R 90°.

Putkiston ja liitosten asennuksen jälkeen lisättiin hydraulikka-öljy säiliöön (7 L) ja testattiin liitosten pitävyys pumppaamalla paine linjastoon. Mahdolliset vuodot korjattiin kiristämällä liitoskohdat (kuva 22).



Kuva 22. Putkiston ja liitosten asennus

Lisäyksenä loppuvalmistelun yhteydessä valmistettiin lisätuennat nostomekanismiin. Lisäyksellä varmistettiin nostomekanismin vakaus kuljetusasennossa (kuva 23).



Kuva 23. Nostomekanismin lisätuet ala-asennossa

Kokoonpanon lopuksi suoritettiin loppu pintakäsittely kohdan 5.8 mukaisesti. Maalattiin koko laitteen maalaamattomat pinnat, pois lukien sylinterien varret, pumppu ja hydraulikkalinjasto.

## 7 Harjoitussimulaattorin testaus ja käyttöönotto

Ennen laitteen käyttöönottoa on hyvä laatia käyttöohje, erityisesti harjoitussimulaattorin turvallisen käytön näkökulmasta. Tukesin valmistama opas käyttöohjeen laatimisesta, ja kuluttajaturvallisuuslaki (920/2011) edellyttävät antamaan riittävät tiedot laitteen turvallisesta käytöstä. (9.) Vaikka laite sinänsä olisi turvallinen, niin virheellinen käyttö voi aiheuttaa vaaratilanteita.

Kartoitettiin mahdolliset riskit ja listattiin ne käyttöohjeisiin. Ohjeissa on selitetty seikkaperäisesti laitteen toiminta ja ohjaamon kiinnityksessä huomioon otettavat seikat. Lisäksi käyttöohjeisiin on laadittu tarkastus- ja huolto-ohjeistus turvallisuuden lisäämiseksi (liite 3)

Riskianalyysi:

- Laitteessa on liikkuvia mekaanisia osia, joiden väliin voi joutua puristuksiin.
- Harjoitustilanteessa käytetään korokkeita, joista voi pudota.
- Asennusvaiheessa työskentelyä tehdään matalissa ja ahtaissa tiloissa, jolloin riski lyödä pää on huomattava (ohjaamon kiinnitys).
- Ulkoisia vaurioita voi aiheutua kuljetuksessa (korkeuden ylitys), sekä laitteessa käytetään ympäristölle haitallisia aineita (öljy).

Harjoitussimulaattorin toiminnan testausta suoritettiin valmistuksen eri vaiheissa. Kuten tyypillistä protomallissa on, testauksia suoritettiin kokoonpanon yhteydessä esimerkiksi ennen lopullista komponenttien hitsausta. Tarkastelun kohteena oli tason nouseminen ja laakeroitujen nivelten toiminnan varmistaminen. Toiminnan varmistaminen testattiin myös suunnitteluvaiheessa CATIA:n Digital Mock-Up kinematics Workbench-ohjelmalla suoritettuna simuloinnin avulla.

Käyttöönottotestaus suoritettiin 15.09.2017 Hervannan palolaitoksella Tampereella. Kyseinen tapahtuma oli koulutusohjelmaan suunniteltu koulutustilaisuus, jonka koulutuspäivän yhtenä teemana oli raskaankaluston pelastusharjoitus. Harjoituksessa suoritettiin ohjaamon ovien poistoa, jossa harjoiteltiin erilaisten työvälineiden käyttöä. Lisäksi harjoiteltiin ohjaamon avartamista ketjuvedolla pelastustehtävän suorittamiseksi. Harjoituksien aikana seurattiin harjoitussimulaattorin toimivuutta ja kestävyyttä. Testauksen aikana havaittiin ohjaamon etummaisten kiinnitysalustojen taipumista alaspäin.

Seuraava harjoitus suoritettiin Turussa 02.10.2017. Harjoitukseen vaihdettiin puolikorkea hytti, joka oli kooltaan isompi kuin mitä Tampereella oli käytössä. Hytin asennus suoritettiin kouluttajien toimesta laadittua käyttöohjetta apuna käyttäen. Saadun palautteen mukaan ohjeistus oli hyvä ja riittävä.

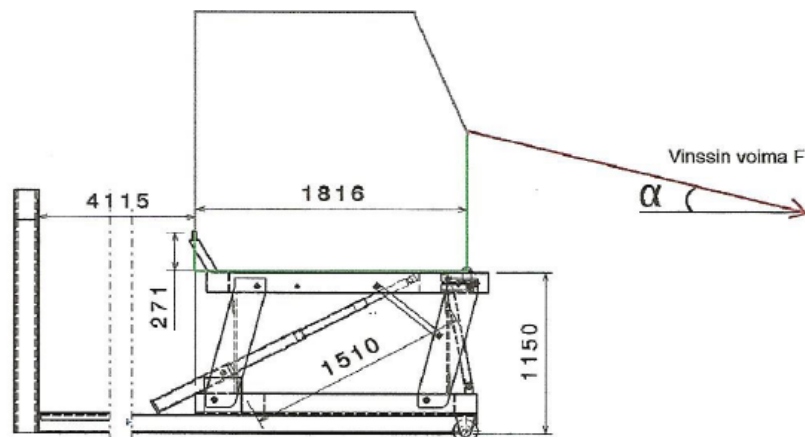
Ongelmia Turussa muodostui myös ohjaamon kiinnikkeiden taipumisesta ja siitä seuranneista pysyvistä muodonmuutoksista kiinnikkeiden alustoihin. Tästä seurauksena tarkennettiin kiinnikkeiden tutkimista ja laadittiin korjaussuunnitelma.

Etummaista kiinnitysalustaa tutkittiin CATIA:n FEM-analyysin avulla, josta saatiin maksimi rasitukset. Ennen tätä selvitettiin saatujen tietojen mukaan ketjuvedon aiheuttama voima kiinnitysalustoihin.



Laskennassa tarvittavat arvot ovat vinssin aiheuttama maksimi veto, vedon kulma ja kiinnitysten etäisyydet (kuva 24). Laskenta oli suoritettu Mathcad-ohjelmalla (kuvat 25–26).

- Ilmoitettu vinssin vetovoima: 5 t.
- Ketjuvedon pituus: 8 m
- Ketjuvedon korkeus vinssistä: maan tasosta 1,6 m
- Ohjaamon massaksi on arvioitu 1200 kg



Kuva 24. Hahmotelma ketjuvedosta



$$B_x := 1 \quad A_y := 1 \quad B_y := 1$$

Given

$$-B_x + \cos(\alpha) \cdot F = 0$$

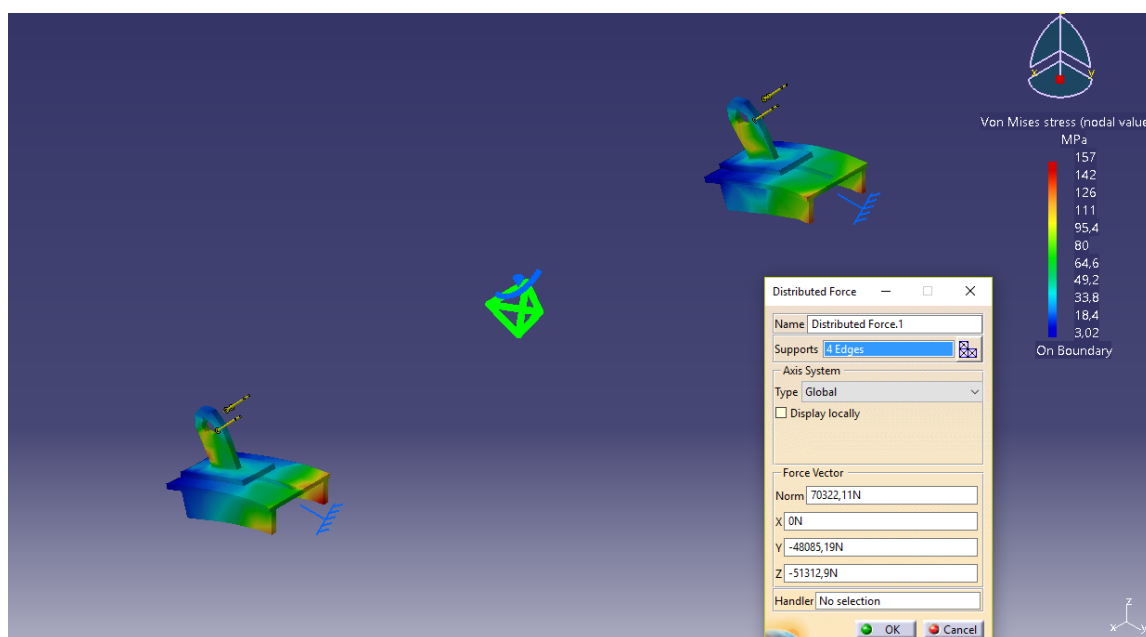
$$A_y \cdot 1.816 - mg \cdot 0.908 + \cos(\alpha) \cdot F \cdot 1.35 = 0$$

$$A_y + B_y - F \sin(\alpha) - mg = 0$$

$$\text{Vastaus} := \text{Find}(B_x, A_y, B_y) = \begin{pmatrix} 48085.19 \\ -29860.15 \\ 51312.9 \end{pmatrix}$$

Kuva 26. Mathcad-laskelman tulokset

FEM-analyysissä saatujen arvojen mukaan ohjaamon etukiinnikkeisiin kohdistuvien voimien resultantti on  $\approx 70,3$  kN (viistosti alaspäin). Tutkinnassa pitää ottaa huomioon, että laskennallinen voima jakautuu kahdelle kiinnitysalustalle, jolloin voiman jakautuessa FEM-analyysin antama arvo maksimi rasitukselle on 157 MPa (N/mm<sup>2</sup>) (kuva 27).



Kuva 27. FEM-analyysi ohjaamon etukiinnikkeen kiinnitystasosta

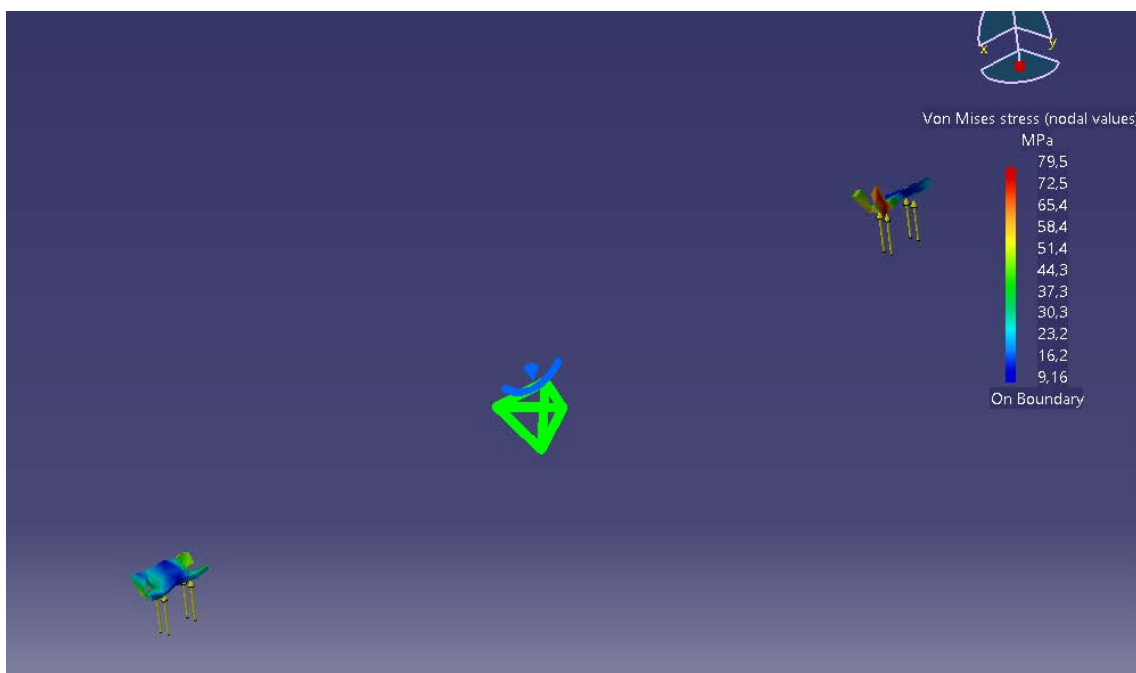
Protomallia valmistaessa käytettävä materiaali oli varastoitua ylijäämämateriaalia, jonka laatuominaisuuksia ei voitu todentaa. Kuitenkin käytetyn teräs-lajin oletetaan olevan S235JR. Merkinnän ensimmäinen kirjain kertoo teräksen tyypin (S = rakenneteräs). Kirjainta seuraava lukuarvo on myötölujuus, ReH on 235 N/mm<sup>2</sup>. Lopussa oleva lisätunnus JR iskutkeysluokka (testattu +20 °C: n lämpötilassa). Kyseessä on rakenneterästen edullisin peruslaatu.

Myötölujuudella ReH (ylempi myötöraja) tarkoitetaan jännitystä, jolloin plastista muodonmuutosta alkaa tapahtua huomattavasti. Yleisesti nykyään teräslaadun valinnassa myötölujuuden kriteerinä on käytetty alempaa myötörajaa (ReL). Syynä siihen on, että alhaisen ylikuorman sattuessa ei vielä synny pysyviä muodonmuutoksia. Usein teräslajiketaulukoista puuttuu ReL, joka on  $\sigma_{\epsilon}$ -piirroksessa heti ReH:n jälkeen tapahtuva jännityksen alentuma. ReL on noin 2 N/mm<sup>2</sup> alempi ReH:sta. S235JR ReL:n arvoksi saadaan näin ollen 233 N/mm<sup>2</sup>.

Oleellisena etummaisen kiinnitysalustan materiaalin valinnassa on S235 JR kimmokerroin. Yleissääntönä voidaan pitää, että kaikilla rakenneteräksillä on lujuudesta ja laadusta riippumatta sama kimmokerroin  $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$  (MPa). Jos kuormittava jännitys on alle kimmokertoimen, jännitteen poistuessa kappale palautuu alkuperäiseen muotoon.

Tarkastettaessa FEM-analyysin arvoja voidaan todeta, että ohjaamon etukiinnikkeen kiinnitysalustaan kohdistuva voima ei ylitä alemmaa myötörajaa, eikä kimmokerrointa.

Vastaava analyysi suoritettiin ohjaamon takakiinnikkeen kiinnikelevylle. Laskennallinen suurin voima Y-suunnassa on  $\approx 30,0\text{ kN}$  (ylöspäin). FEM-analyysin antama maksimi jännitys, joka kohdistuu kiinnikelevyihin, on  $79,5\text{ MPa}$  (kuva 28).



Kuva 28. FEM-analyysi ohjaamon takakiinnikkeen kiinnityspeleistä

Kuten edellisessä, kiinnityspeleyn kohdistuva jännitys ei ylitä alemmaa myötörajaa, eikä kimmokerrointa.

Päätelmänä voidaan todeta, että etummaiset ohjaamon kiinnitysalustat, sekä takakiinnikkeen kiinnityspevyt kestävät niihin kohdistuvat jännitykset. Tutkimuksen epävarmuustekijät ovat ketjuvedosta kohdistuva voiman suuruus, suunta sekä käytössä olevan ohjaamon painopisteen sijainti.

Ongelmaksi ohjaamon kiinnikkeiden kestävydessä voidaan havaita takakiinnikkeiden kiinnitys kiinnikealustaan (kuva 29).



Kuva 29. Hytin takakiinnike harjoituksen jälkeen

Kuten kuvasta 29 voidaan havaita, ohjaamon takakiinnikkeet pääsevät kiertymään kiinnityspulttien muodostaman poikittaisen aksiaalilinjan ympäri (nuoli). Kiinnityspulttien sijainti on epäedullinen, eikä näin ollen estä kiinnikkeiden kiertymistä. Laskennallinen voima siirtyy etukiinnikkeisiin. Tästä seurauksena ohjaamon paikallaan pito jää etukiinnikkeiden varaan, jotka myös vaurioituvat harjoituksessa saaden pysyviä muodonmuutoksia (kuva 30).



Kuva 30. Hytin etukiinnike

Ehdotettuna korjaustoimenpiteenä on uusia takakiinnike kokonaan (liite 5) ja vahvistaa etukiinnikettä lisäämällä tublinkilevy alustan päälle.

## 8 Yhteenveto

Insinööriyönä valmistetun pelastusharjoitussimulaattorin suunnittelu, valmistus ja testaus antoivat laajan käsityksen koneen tai laitteen rakentamisen moninaisuudesta: kuinka tärkeää on alkutiedon merkitys suunnittelussa ja innovaatiossa, kuinka koneen tai laitteen osavalmistus ja kokoonpano onnistuakseen vaatii huolellista suunnittelua, sekä mahdollista ennakoitua testausta simuloinnin avulla, sekä kuinka suuri valmiiden tuotteiden mahdollinen hyödyntäminen on järkevää, niin ajan kuin kustannusten suhteen.

Protomallin valmistuksessa pyritään enakkoon suunnittelemaan kone tai laite mahdollisimman pitkälle valmiiksi tuotteeksi. Kuitenkin tässä työssä kaikkea ei suoritettu suunnitteluvaiheessa, vaan osa suunnittelusta suoritettiin kokoonpanon yhteydessä. Tämä on tyypillistä protomallin valmistuksessa ja jatkossa tuotekehityksen edetessä luo edellytykset parantaa tuotetta. Lisäksi valmistustilojen kapasiteetin huomioiminen suunnittelussa lisäsi haasteita. Esimerkkinä voidaan mainita tasojen laakeriholkkien reikien valmistus, jossa reikien koko muutettiin pienemmäksi riittävän poranterän puuttumisen vuoksi.

Kehitettävää laitteen toiminnassa on korkeiden ohjaamojen kuljetuksessa harjoitussimulaattorin nostomekanismin päällä. Korkeat ohjaamot jäävät liian ylös, jolloin vaarana on tien yläpuolisiin rakenteisiin osuminen. Kuitenkin kuljetukset voidaan suorittaa turvallisesti etuosan lavalla. Korjauskeinona voisi olla tason alentumaan alatasen loveaminen keinuajan yläpään kohdalta ja teleskooppisylinterin siirtäminen eteenpäin. Hyöty olisi kuitenkin noin 100 mm.

Tilaajan toimesta lisättävää oli nostomekanismin lukitus ala-asennossa ja hydrauliletkujen suojaus esimerkiksi muovisilla spiraali-letkusuojilla.

Loppuvetona voidaan pitää lopputyötä onnistuneena. Pelastusharjoitussimulaattori toimi moitteettomasti ja täytti siihen liitetyt vaatimukset. Simulaattorilla pystyttiin suorittamaan laaditut harjoitukset optimaalisessa korkeudessa sekä se suoriutui vaadituista



kuljetuksista. Pelastusharjoitus­simulaattorin merkitystä osana raskaankaluston pelastustoiminnan kehittämistä ja ylläpitämistä voidaan pitää merkittävänä.

## Lähteet

1. Työ- ja Elinkeinoministeriö, Yritys-Suomi.  
Verkkoaineisto<<https://yrityssuomi.fi/prototyypit>  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1992/19921257#L4P24>>. Luettu  
26.11.2004/1016. 7.3.2017.
2. Ajoneuvon ja ajoneuvoyhdistelmän massat ja päämitat. 2017. Laki  
26.1.2017/47.
3. Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta. 2004.  
26.11.2004/1016.
4. SFS 4417. Ajoneuvot. Maahanlaskevat vaihtokorit. Mitat. Helsinki: Suomen  
Standardisoimisliitto
5. Hydromarket, luettelo, Hydraulikkakomponentit, Hydraulikkaletkut ja -liittimet.  
Verkkoaineisto. < <http://www.hydromarket.fi/>>. Luettu 30.10.2017.
6. Tikkurila, Ammattilaiset, Tuotteet. Verkkoaineisto.  
<[https://www.tikkurila.fi/ammattilaiset/tuotteet/duasolid\\_50.19503.shtml](https://www.tikkurila.fi/ammattilaiset/tuotteet/duasolid_50.19503.shtml)>  
Päivitetty 25.11.2014. Luettu 17.10.2017.
7. Ova-ohjeet, Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet, Etyleenioksiidi.  
Verkkoaineisto. <<http://www.ttl.fi/ova/etyloks.html>>. Päivitetty 06.11.2017.  
Luettu 14.11.2017
8. IKH, tuoteseloste, Alustarasva. Verkkoaineisto.  
<<https://www.ikh.fi/fi/alustarasva-cls-0-ep-420ml-wkr30>>. Luettu 25.7.2017
9. Tukes 2013, kunnollisen käyttöohjeen laadinta. Verkkoaineisto.  
<<http://www.tukes.fi/fi/Ajankohtaista/Tiedotteet/Kuluttajaturvallisuus/Uusi-opas-neuvoo-miten-kunnollinen-kayttoohje-laaditaan/>>. Päivitetty 24.8.2012. Luettu  
8.9.2017.

## Koulutus- ja kehityshankkeen suunnitelma

### Raskaan ajoneuvokaluston UATP 2017 - Uusi ajoneuvotekniikka tutuksi pelastustoiminnassa ja raivaustoiminta raskaan ajoneuvon onnettomuuksissa

#### Koulutuksen tausta ja tavoitteet

Koulutuksen taustalla on vuonna 2014 pelastuslaitosten noin 400 koulutusvastuulliselle palomestarille ja vuoro esimiehelle suunnattu koulutuskierros, jolla koulutettiin pelastusalan henkilöstöä sähkö- hybridi- ja maakaasuautojen onnettomuustilanteiden varautumiseen. Tavoitteena oli tuoda uusi autotekniikka tutuksi pelastustoiminnassa. Ohessa on linkki Metropolian laatimaan koulutuksen ennakkomateriaaliin, jonka tuottamista tuki Sähköturvallisuuden edistämiskeskus STEK.

<http://www.slideshare.net/linjaaho/pelastusala>

Koulutuskierroksen koulutusaineisto tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulussa ja kierros toteutettiin yhteistyössä Suomen Palopäälystöliiton, Suomen Pelastusalan Keskusliiton ja Pelastusopiston sekä useiden automaahantuoja- ja jälleenmyyjien tuella. Hankkeen päärahoittajana 50 % osuudella oli Palosuojelurahasto.

Koulutuskierros sai hyvän palautteen ja koulutusmateriaalia on käytetty edelleen pelastuslaitosten työvuorokoulutuksissa sekä sopimus- ja vapaaehtoispolokuntien henkilöstön koulutuksissa.

Henkilöautoja käsitteelle koulutukselle on suunniteltu jatko-osa, joka tulee käsittelemään pelastusalan henkilöstön toimintaa onnettomuustilanteissa, joissa on osallisena raskasta ajoneuvokalustoa.

Tarkastelun lähtökohtina ovat:

- pelastushenkilöstön työturvallisuus,
- pelastettavien nopea hoitoon saaminen ja
- onnettomuuksien seurannaisvaikutusten minimointi

Koulutushanke rajataan siten, että siinä ei tulla käsittelemään kuljetettavia tuotteita eikä niihin liittyviä ympäristövahinkojen torjuntatöitä.

### **Koulutushankkeen tämänhetkinen vaihe**

Hankkeen valmistelu on aloitettu maaliskuussa 2016 ja käynnissä on sisällön hahmottaminen, verkoston luominen ja rahoitushaku.

Toteutuksen edellytyksenä on riittävän yhteistyöverkoston ja rahoituksen saaminen toteutukselle.

Haetun rahoituksen onnistuminen arvioidaan 15.9.2016 mennessä.

### **Koulutuksen toteutus ja suunniteltu sisältö**

Tämän koulutushankkeen valmistelu- koordinaatio- ja toteuttamisvastuu on Metropolia Ammattikorkeakoululla. Hankkeen valmisteluun ja sen toteuttamiseen osallistuu Suomen Palopäälystöliitto erikseen hankkimallaan rahoituksella. Pelastusosalta hankkeeseen osallistuvat lisäksi asiantuntijapanoksella Pelastusopisto ja Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö.

Koulutus koostuu aamupäivän teoriaosuudesta, jossa on suunniteltu käsiteltäviksi:

- uusi kuorma-autotekniikka ja linja-autotekniikka
- latausasemat julkisilla paikoilla, katualueilla, pysäkeillä, liikennepalveluasemilla (pl hitaat latausjärjestelmät)
- tutkimus raivaustoimenpiteistä raskaan kaluston onnettomuuksissa (aineistoanalyysi)
- miten huomioida ajoneuvot ja päällirakenteet – miten voidaan välttää turhia, ylimääräisiä omaisuusvahinkoja
- kriisiapu kuljettajille – miten pelastushenkilöstö voi tukea omilla toimillaan kuljettajaa esim. itsetuhoisten törmääjien tilanteissa tai jos kuljettaja itse kokee aiheuttaneensa tilanteen
- raskaan kaluston onnettomuuksien operatiiviset toimenpiteet pelastustoiminnan yhteydessä (pelastusalan kannalta) - osin liittyvät suoraan iltapäivän harjoitteisiin:
  - o ketjuvetotekniikka, vinssaus, raivaustyökalujen käyttö,
  - o nostot, pyöriin käännöt
  - o ajoneuvoyhdistelmien irtikytkennät
  - o ja mahdollisuuksien mukaan säiliöiden, lastien purkujen valmistelutyöt

Koulutus jatkuu iltapäivän rastiosuoksilla, joilla

- tutustutaan uusien kuorma-autojen tekniikkaan mukaan lukien ajoneuvojen turvajärjestelmät
- käytetään raivaustyökaluja pelastettaessa kuljettaja vaurioituneesta ohjaamosta

Tilaisuuksia on yhteensä noin 10 eri puolilla Suomea vuonna 2017 ja niille osallistuu noin 200 palomestaria, -esimiestä.

### **Aikataulu ja koulutusaineisto**

Hankkeen esityö on aloitettu 1.3.2016 ja varsinainen koulutuksen valmistelu aloitetaan 1.10.2016.

Koulutusaineisto ja koulutustilaisuuksien järjestelyjen on määrä olla valmiina 31.3.2017.

Koulutus viedään saman sisältöisenä kymmenelle paikkakunnalle eri puolilla Suomea 1.4.–31.10.2017.

Tämä koulutus on tarkoitettu kouluttajavastuussa olevien palomestarien ja -esimiesten koulutukseen - **Raskaan ajoneuvokaluston UATP - Uusi ajoneuvotekniikka tutuksi pelastustoiminnassa ja raivaustoiminta raskaan kaluston onnettomuuksissa.**

Koulutettavien määrä tulee olemaan noin 200. Lisäksi aineistoa käytetään pelastuslaitoksilla pidettävissä työvuorokoulutuksissa sekä sopimuspalokuntien ja vapaaehtoispalokuntien henkilöstön koulutuksissa.

Aineistosta osa on siis julkista ns. koulutukseen osallistuvien ennakkomateriaalia ja osa kouluttajien käyttöön pelastusalan sisäisissä koulutuksissa käytettävää materiaalia.

Julkisen aineiston julkaisukanavia ovat hankkeessa mukana olevien tahojen sähköiset mediat. Näitä ovat muun muassa Metropolia Ammattikorkeakoulun, Palopäällystöliiton, Pelastusopiston ja hankkeen mukana olevien kumppanien www-sivut.

### **Kustannusarvio ja rahoitussuunnitelma pääpiirteissään**

Hankkeen kustannusarvio 110.000 €

Kustannuksista on noin 40.000 € Metropolian palkkakustannuksia, joiden päälle tulee 23,5 % henkilösivukustannuksia. Tämä vastaa noin 9 kk työpanosta (projektipäällikkö/projekti-insinööri), keskimäärin noin 50 % osa-aikaisuus hankkeessa sen kestoajana (18 kk).

Matkakustannuksia on arvioitu hankkeessa kertyvän noin 5.000 €.

Hankkeeseen hankitaan kaluston ostopalveluina kaluston kuljetuspalveluja, koulutustilaisuuksien ja seminaarien järjestelyjä, tiedottamista, julkaisuja tai muita vastaavia palveluja 8.600 € edestä.

Kolarivaurioituneiden ohjaamojen kuljettamista ja raivaustoimenpiteiden tekemistä varten tehdään lavalaitte- tai vastaava kuorma-autolla kuljetettava ja käsiteltävä lava, jossa on yleisimpiä ohjaamoja varten kiinnityspaikat valmiina, ja johon kiinnitettyä ohjaamoa voidaan avata ketjuvetotekniikalla. Lavasta pyritään tekemään esim. koukkulavatekniikalla käsiteltävissä oleva ja monistettavissa oleva, jolloin pelastuslaitokset voivat sellaisia myöhemmin tilata.

Edellä mainitun laitetekniikan valmistukseen varataan osa budjetoidusta 22.000 eurosta. Muu osa on yritysasiantuntijoiden omaa työpanosta, kolarivaurioituneiden ohjaamojen hankintoja ja kuljetuksia koulutuspaikkakunnille sekä mahdollisesti ulkoa ostettavia erityisasiantuntijapalveluja.

Suomen Palopäällystöliiton edustajat osallistuvat hankkeen valmisteluun, koulutuskierroille ja raportointiin, kokonaiskustannus on 25.000 €. Summasta arviolta on palkkakustannuksia 12.000 €, tilavuokra- ja matkakustannuksia 3.000 euroa sekä ostopalveluita 10.000 euroa. Ostot ovat ulkopuolisten kouluttajayritysten tai -toiminimien palkkiolaskuja

## Rahoitussuunnitelma 110.000 €

Päärahoittajaksi haemme 31.5.2016 erityisavustushakuna Palosuojelurahastolta 55.000 €, joka on 50 % kustannuksista.

Metropolia tulee sijoittamaan hankkeeseen omarahoitusta enintään noin 10.000 € - noin 9 %. Tästä suoraa rahaa on enintään 5.000 € (palkat soutuineen, matkakustannukset) ja muu osa resurssipanosta (tilat, laitteet, autot) ja työpanosta hankkeessa tehtävien insinööritöiden, projektitöiden ohjauksessa.

Suomen Palopäälystöliitto on saanut Palosuojelun edistämissäätiöltä 20.000 € rahoitusta omalle osalleen hankkeessa. Lisäksi SPPL on valmis laittamaan 5.000 € omarahoitusta.

Muiden yritysten, vakuutusyhtiöiden ja järjestöjen suoran rahallisen panoksen, työ-, kuljetus- tai aineellisen panoksen määräksi on suunniteltu yhteensä noin 20.000 € suuruista kokonaisuutta.

Yritysten ja vakuutusyhtiöiden panos voi siis olla esimerkiksi asiantuntijatyötä hankekokonaisuuteen, suoraa rahaa tai koulutustilaisuuksiin luovutettuja ja sinne kuljetettuja kolarivaurioituneita kuorma-autoja tai niiden ohjaamoja, joilla voidaan rastitehtävinä tehdä pelastusharjoituksia, käyttää raivaustyökaluja ja ketjuvetotekniikkaa.

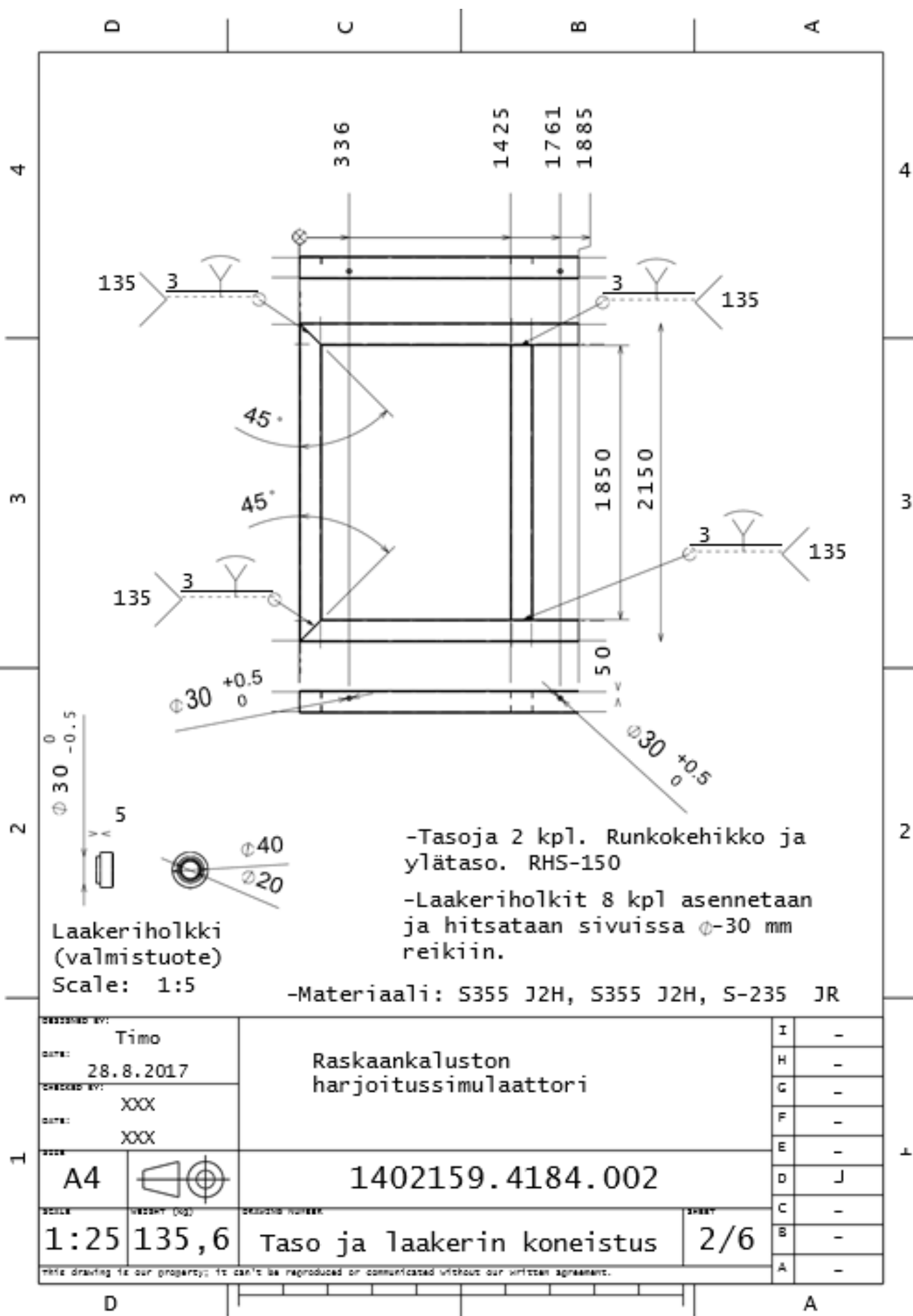
VALT:lta on haettu 31.3.2016 apurahaa erillisesti tehtävälle raskaan kaluston onnettomuuksien raivaustoimenpiteiden kartoitukselle. Haettu apuraha on kokonaismäärältään 6.500 €, mistä on matkakustannuksia enintään 1.000 €.

Helsingissä 25.5.2016

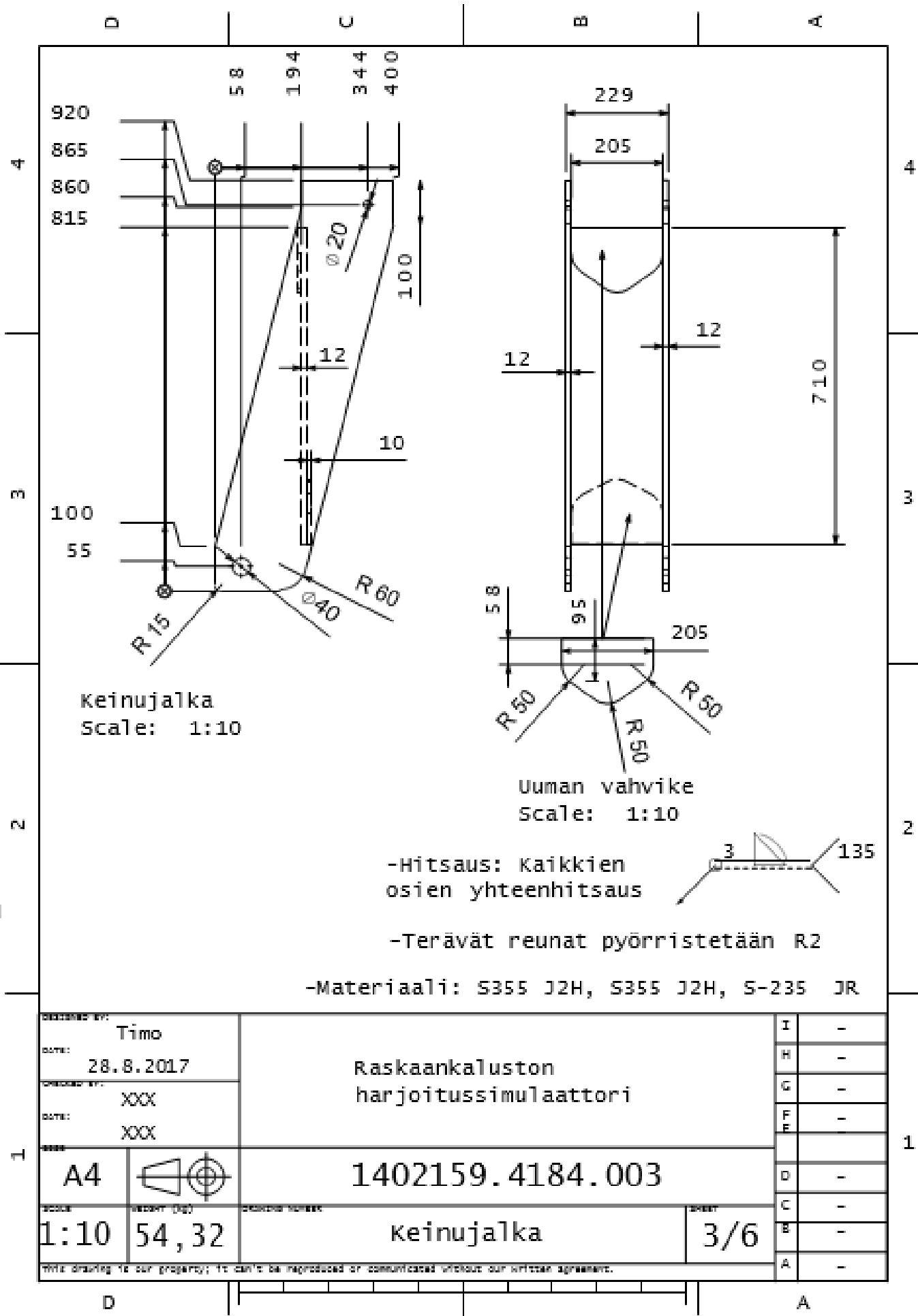
Markku Haikonen  
DI  
Lehtori, Projektipäällikkö  
Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Ajoneuvo- ja konetekniikka

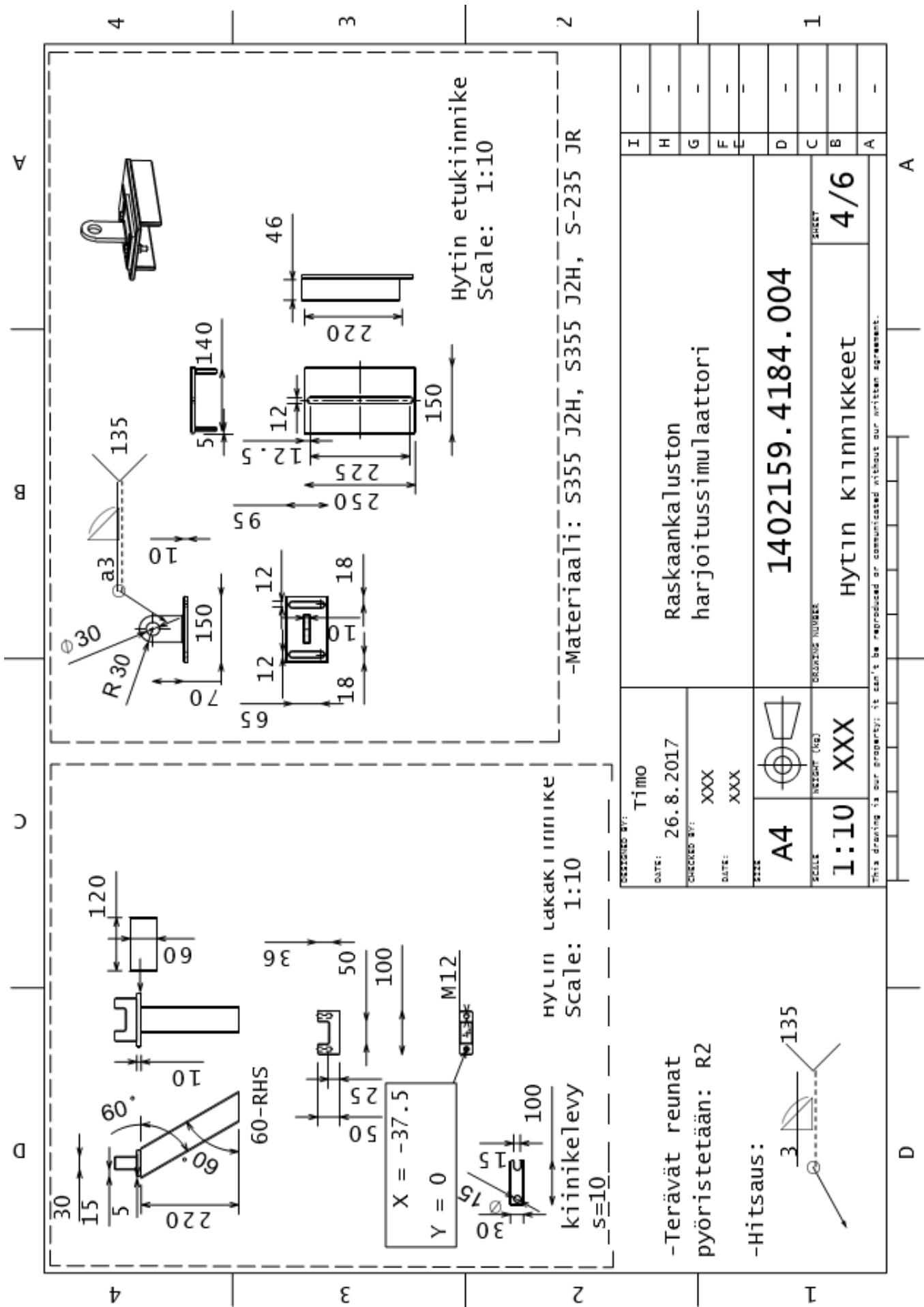
[markku.haikonen@metropolia.fi](mailto:markku.haikonen@metropolia.fi)  
05034445

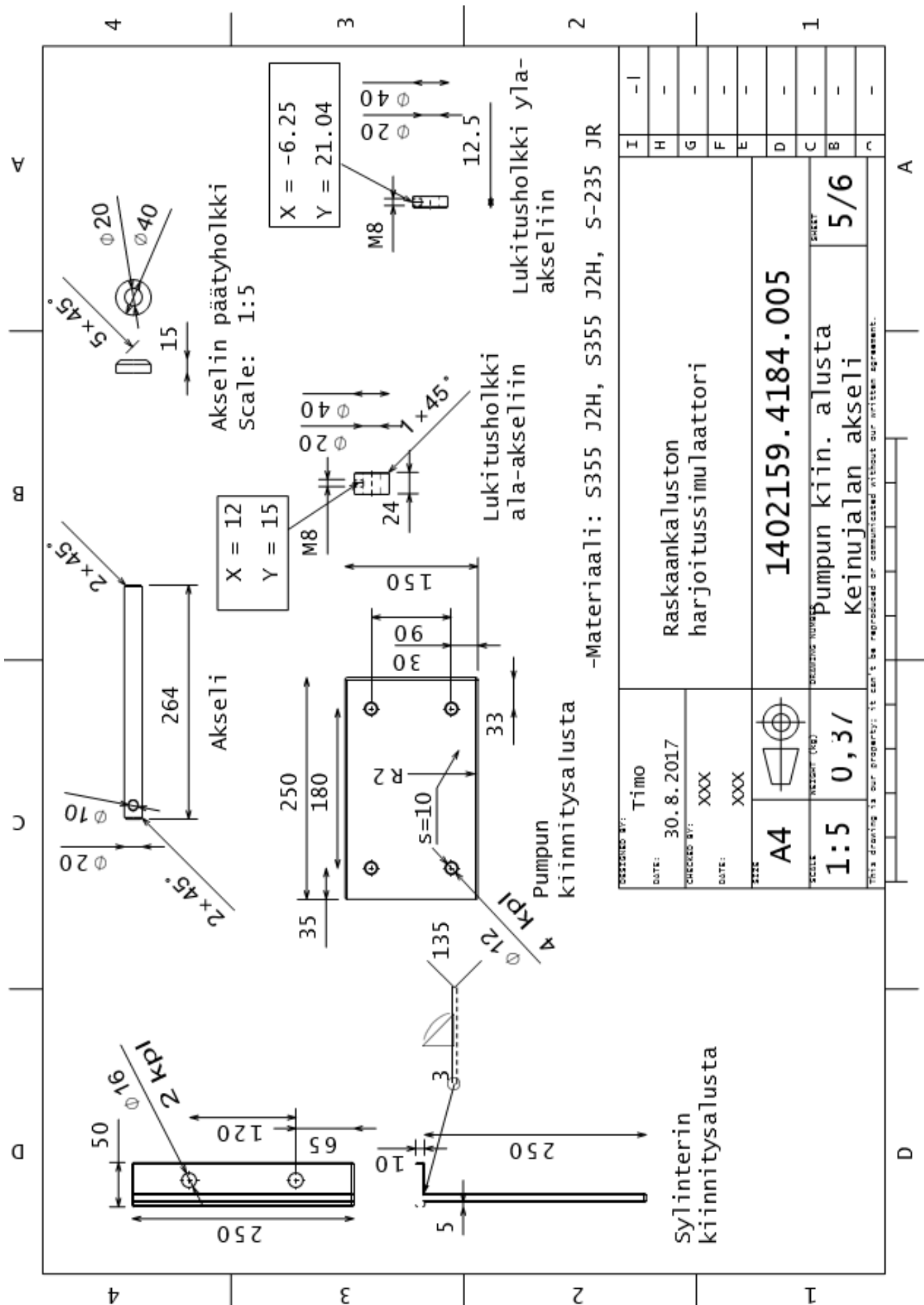


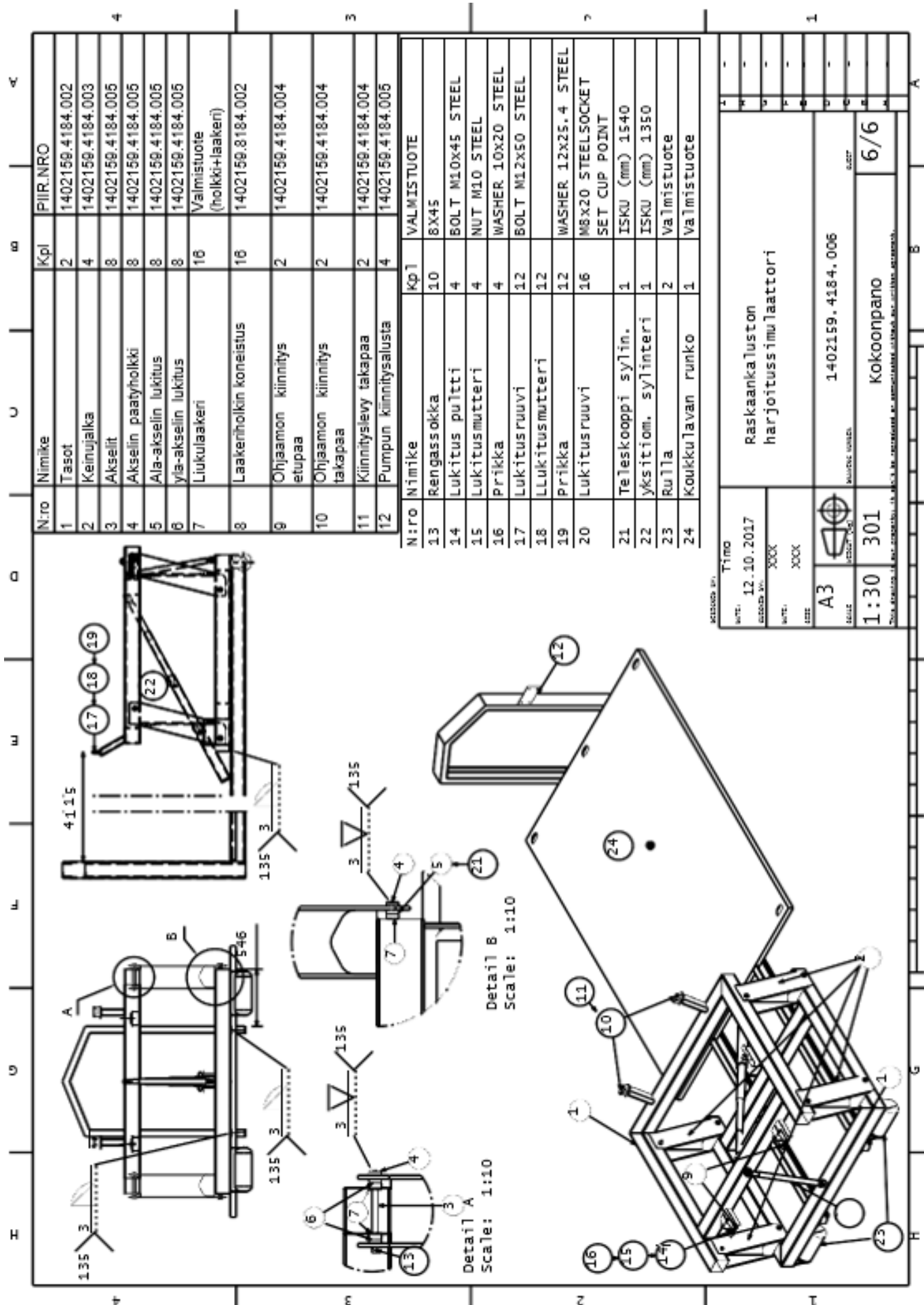


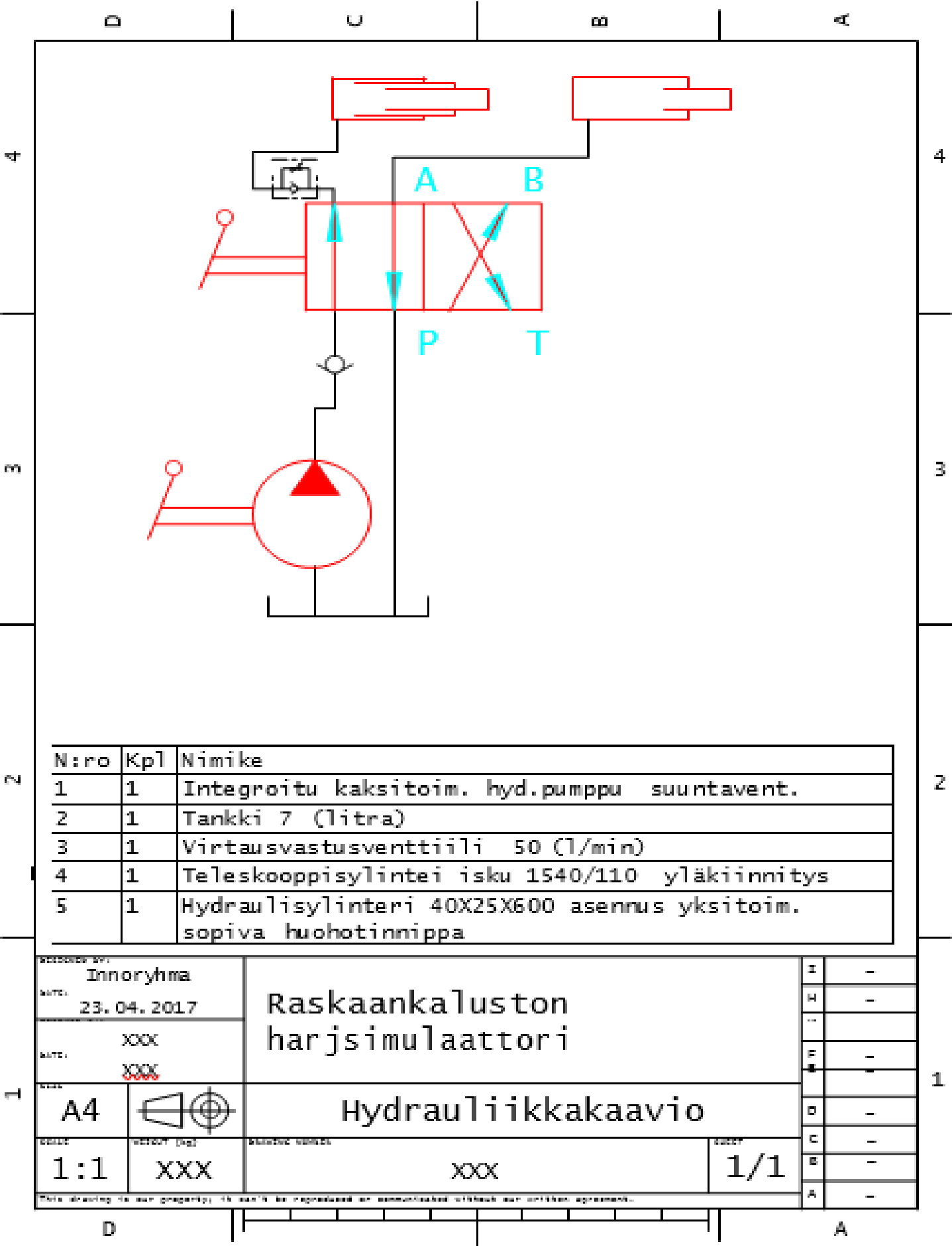














## Raskaankaluston pelastusharjoitussimulaattorin käyttöohje

Pelastusharjoitussimulaattori on valmistettu raskaankaluston käytöstä poistettujen ohjaamojen pelastusharjoituksiin ja niiden kuljetuksiin. Tähän on koottu seikkaperäiset ohjeet laitteen käytöstä ja huollosta.

1. Turvallisuus
2. Ohjaamon asentaminen harjoitussimulaattoriin
3. Ohjaussimulaattorin nosto harjoitusasentoon ja laskeminen kuljetusasentoon
4. Harjoitussimulaattorilla kuljettaminen tieliikenteessä
5. Harjoitussimulaattorin huolto

## 1 TURVALLISUUS

Laitetta käyttäessä on noudatettava annettuja ohjeita sekä huolehdittava, ettei aiheuta vaaraa itselleen, ulkopuolisille eikä ympäristölle.

- Laitteen käytössä on puristusvaara.
- Laitteen käytössä on putoamisvaara.
- Laitetta käyttäessä kuljetuksessa on vaarana kuormakorkeuden ylitys.
- Laitteen käytöstä voi aiheutua ympäristövaara (öljy).
- Varo iskemästä päätäsi kiinnittäessäsi ohjaamoja.
- Älä käytä harjoitussimulaattoria kovalla pakkasella hydraulikkaöljyn heikon juoksevuuden takia.
- Käytä suojavaarusteita.



## 2 OHJAAMON ASENTAMINEN HARJOITUSSIMULAATTORIIN

### Ohjaamon kiinnitys

Ohjaamon kiinnityksessä ensisijaisen tärkeää on varmistua, että ohjaamon kaikki kiristysruuvit ovat riittävän kireällä harjoituksen ja kuljetuksen aikana.

#### OHJAAMON ETUPÄÄN KIIINNITYS

- Löysää kiinnityskorvakkeiden M12x60 lukitusruuvit riittävän löysälle, jotta kiinnityskorvakkeiden sovittaminen ohjaamon korvakkeisiin olisi helpompaa.
- Nosta ohjaamo alustalle. Asettaessasi ohjaamoa pyri sijoittamaan se mahdollisimman lähelle ylätasen runkopalkkia. Ohjaamon korvakkeet olisi hyvä tukea palkkia vasten joko suoraan tai lisäämällä esim. tukipuuta väliin.
- Sovita kiinnityskorvakkeen reiät ja ohjaamon kiinnityskorvakkeiden reiät samalle linjalle.
- Kiinnitä M16x150 koneruuvilla ohjaamon korvakkeet ja soviteen korvakkeet yhteen. Ohjaamon sivuliikkeen poistamiseksi korvakkeiden väliin voidaan asentaa soviteholkit (kuva 1).
- Kiristä lopuksi lukitusruuvit etukiinnikkeistä, sekä korvakkeiden kiinnitysruuvit.



Kuva 1. Ohjaamon etupään kiinnitys

#### OHJAAMON TAKAPÄÄN KIIINNITYS

- Löysää takana olevien kiinnitysjalkojen alaosan lukitusruuveja riittävästi, jotta jalkojen säätely onnistuu soviteurissa (kuva 2).
- Irrota kiinnityslevy kiinnitysjalkojen yläosasta (kuva 3).
- Laske ohjaamo paikalleen ja sovita kiinnitysjalat kohdalleen siten, että ohjaamon korvakkeen lukitusakseli on kiinnitysjalassa olevan uran pohjassa.
- Ruuvaa kiinnityslevy takaisin paikalleen.
- Kiristä alaosan lukitusruuvit.
- VARMISTA, ETTÄ KAIKKI RUUVIT OVAT RIITTÄVÄN KIREÄLLÄ.





**Kuva 2. Ohjaamon takakiinnityksen alaosa**



**Kuva 3. Ohjaamon takakiinnityksen yläosa**

### Ohjaamon irrotus harjoitussimulaattorista

Ohjaamon irrotus tapahtuu käänteisessä järjestyksessä kuin ohjaamon kiinnitys (ks. Ohjaamon kiinnitys). Ohjaamon poistoston jälkeen kiristä kiinnityskorvakkeiden lukitusruuvit kiinni.

### 3 OHJAUSSIMULAATTORIN NOSTO HARJOITUSASENTOON JA LASKEMINEN KULJETUSASENTOON

Harjoitussimulaattorin ylätason nostossa ja laskussa on noudatettava erityistä varovaisuutta puristumisvaaran johdosta.

#### OHJAUSSIMULAATTORIN NOSTO YLÄASENTOON

- Varmista ettei mikään estä työ suoritusta.
- Käännä pumpussa oleva suuntaventtiili (punainen nuppi) oikealle edestä taaksepäin katsottuna (kuva 4).
- Aseta pumpun käsivipu paikalleen ja aloita pumppaaminen.
- Ylätaso on yläasennossa, kun se makaa jalkojen varassa.
- Aseta lukitustanko paikoilleen ylätasossa ja jaloissa olevien kiinnitystappien väliin (kuva 5). Lopuksi lisää sokat.
- Irrota pumpusta käsivipu ja aseta se säilytyslaatikkoon.



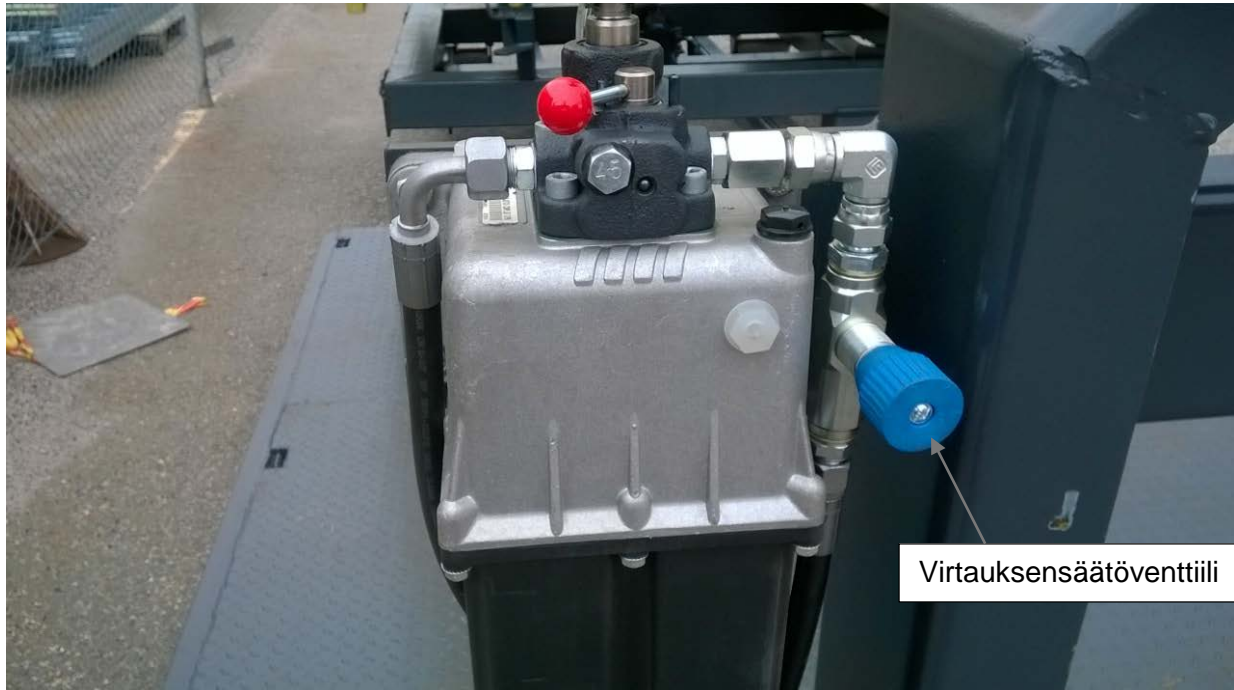
**Kuva 4. Pumpun suuntaventtiilin asento nostaessa**



**Kuva 5. Harjoitussimulaattorin lukitus yläasentoon**

#### OHJAUSSIMULAATTORIN LASKEMINEN ALA-ASENTOON

- Varmista ettei mikään estä työn suoritusta.
- Irrota lukitustanko ja aseta se takaisin säilytyspaikalle.
- Käännä pumpussa oleva suuntaventtiili (punainen nuppi) vasemmalle edestä taaksepäin katsottuna (kuva 6).
- Varmista, että sininen virtauksensäätöventtiili on riittävän auki (kuva 6).
- Aseta pumpun käsivipu ja aloita pumppaaminen.
- Lopeta pumppaaminen, kun ylätaso lähtee laskeutumaan omalla painollaan.
- Irrota pumpusta käsivipu ja aseta se säilytyslaatikkoon.



**Kuva 6. Pumpun suuntaventtiilin asento laskiessa**

## 4 HARJOITUSSIMULAATTORILLA KULJETTAMINEN TIELIIKENTEESSÄ

Harjoitussimulaattoria käyttäessä ohjaamojen kuljettamiseen tieliikenteessä on noudatettava tieliikennelain määräyksiä.

- Yhdistelmän koko korkeudeksi on määritelty tieliikennelaissa max 4,40 m. Tämän ylittävältä osalta on anottava erillinen lupa.
- Nostaessasi koukkulavaa kuljetukseen huolehdi, että **harjoitussimulaattori on ala-asennossa**.
- Huolehdi kuorman riittävästä sidonnasta.
- Tarkista että sidontalenkit ovat ehjät.

