



# **REKKAPESURI**

Marko Rauta

Opinnäytetyö  
Elokuu 2015  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Älykkäät koneet

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Älykkäät koneet

RAUTA, MARKO:  
Rekkapesuri

Opinnäytetyö 36 sivua, joista liitteitä 14 sivua  
Elokuu 2015

---

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Naistenlahden voimalaitoksen polttoprosessissa syntyvän tuhkapölyn haittojen torjuntaa reaaliympäristössä. Työn tarkoituksena oli tutkia nykyisten menetelmien tehokkuutta ja arvioida niiden jatkokehitysmahdollisuuksia. Tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa menetelmä, jolla tuhkan aiheuttamia haittoja voidaan vähentää sitä kuljettavan rekan lastausvaiheessa ja sen jälkeen.

Projektin tuloksena toteutettiin puoliautomoisoitu läpiajettava pesukaari tuhkasiilon lastaushallin päätyyn. Lisäksi tuotiin esiin valitun tuhkapölyntorjuntamenetelmän jatkokehitysehdotuksia ja soveltuvuus muuhun käyttöön.

---

Asiasanat: voimalat, tuhka, haitat, torjunta, pesu

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering  
Intelligent Machines

**RAUTA, MARKO:**  
Truck Washer

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 14 pages  
August 2015

---

In this dissertation the rejection of the drawbacks of the ash dust which is created in the burning process of the power plant of Naistenlahti is dealt with in the real environment. The purpose of the work was to study the effectiveness of the present methods and to estimate their further development proposals. The objective was to design and to carry out a method which can be used to reduce the drawbacks caused by the ash at the loading stage of the freight truck which transports it and after it.

A semi-automatic through to be driven wash curve was carried out to the end of the loading hall of the ash silo as a result of the project. Furthermore, the further development proposals of the chosen ash dust rejection method and the suitability for another use were brought out.

---

Key words: power plants, ash, drawbacks, rejection, wash

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TAUSTAA .....	7
2.1	Voimalaitosprosessi .....	8
2.2	Päästöt.....	9
2.3	Tuhkalle altistuminen .....	10
3	TUHKAHAITTOJEN TORJUNTAMENETELMÄT .....	11
3.1	Tuhkan kostutus .....	11
3.2	Raappa .....	12
3.3	Imuri.....	12
3.4	Pesu.....	12
3.5	Torjuntamenetelmien tehostustoimet.....	13
3.5.1	Tuhkan kostutus .....	13
3.5.2	Raappa.....	13
3.5.3	Imuri.....	13
3.5.4	Pesu .....	13
4	TUOTEKEHITYSPROSESSI.....	14
4.1	Prosessin kuvaus .....	15
4.2	Projektin lähtötiedot.....	16
4.2.1	Lähtötietojen laskennallinen selvitys .....	18
4.2.2	Selvitys koepukin avulla .....	19
4.2.3	Päätelmät .....	21
4.3	Suunnittelu .....	21
4.3.1	Putkiston veto.....	22
4.3.2	Pesukaari .....	23
4.3.3	Suuttimet .....	25
4.3.4	Suihkukulman säätö .....	25
4.3.5	Käyttö.....	26
5	PROJEKTIN TULOKSET .....	28
5.1	CE-merkintä.....	29
5.2	Työturvallisuuslaki .....	29
5.3	Tavoitteiden täytyminen .....	30
5.3.1	Tuhkapölyn huuhtelu .....	30
5.3.2	Budjetti.....	31
5.3.3	Aikataulu .....	32
5.3.4	Lisätoiveiden täytyminen.....	32
5.4	Kehitysehdotukset.....	33

5.4.1	Paineenkorotuspumppu .....	33
5.4.2	Suuttimien vaihto .....	33
5.4.3	Pesuaineen annostelu .....	33
5.4.4	Raapan reunasuihku ja napin siirto .....	34
5.4.5	Muiden ajoneuvojen pesu .....	34
5.4.6	Sprinkleri kuljettajan koppiin.....	34
5.4.7	Liittäminen DNA-järjestelmään.....	34
6	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET .....	39
	Liite 1. Työpaikkakäynti Naistenlahden voimalan tuhkaa ajavien kuljettajien altistumisen arvioimiseksi.....	39
	Liite 2. Selvitys tuhka-aseman rekkapesupisteen toteutettavuudesta.....	41
	Liite 3. Koepukin valmistuskuva.....	43
	Liite 4. Mittaukset 3D-mallinnukseen.....	44
	Liite 5. Läpiviennin, venttiilin ja toimilaitteen asennus .....	45
	Liite 6. Pesukaari pohjoisesta, suuttimien positiot .....	46
	Liite 7. Pesukaaren kenttäkotelo, layoutit ja piirikaavio .....	48
	Liite 8. Käyttö- ja huolto-ohje .....	51

## 1 JOHDANTO

Allekirjoittaneen aikaisempi asennuskokemus yhdeksässä yrityksessä edesauttoi valintaa Tampereen Energiantuotannon asennusvalvojarahjoittelijaksi kesällä 2014.

Asennusvalvojan tehtäviin Naistenlahden voimalaitoksella kuuluu vuosihuoltotyömaan asennusten valvonta hankevastaavien ja mestareiden apuna. Tällaisia projekteja ovat esimerkiksi tuhkansiirron modifiointi, syöttöruuvien entisöinti ja lastausraapan huolto. Asennusvalvontatyön ohessa on mahdollista toteuttaa erilaisia projekteja, kuten suunnitella menetelmä tuhkasta aiheutuvien haittojen torjumiseksi rekan lastaustilanteessa ja sen jälkeen.

Aihe on mielenkiintoinen, sillä työssä vaaditaan asiantuntemusta monelta eri osa-alueelta, mutta myös haasteellinen edellisten vastaavien hankkeiden osoittauduttua tehottomiksi. Voimalaitosprosessin tuntemus, nykytilanteen ja kehitysmahdollisuuksien selvitys ja arviointi, käytännönläheinen suunnittelu sekä työturvallisuuden huomiointi edellyttävät laajan kokonaisuuden hahmottamista.

Kolme keskeisintä tavoitetta opinnäytetyössä ovat toimiva tuhkantorjuntamenetelmä, asennustyöhön tutustuminen suunnittelijan näkökulmasta sekä työsuhteen vakiinnuttaminen yritykseen. Ensimmäiset kaksi päämäärää aiotaan saavuttaa hyödyntämällä kouluissa ja työharjoitteluissa sisäistettyjä tietoja ja taitoja, kun taas kolmannen halutaan uskoa olevan luonnollista jatkumoa. Työn kannalta oleellisimpia opittuja asioita ovat perustietämys tuotekehityksestä, 3D-mallinnuksesta, työturvallisuudesta, asennusmenetelmistä sekä virtaus-, sähkö- ja automaatiotekniikasta.

Projekti aloitetaan luomalla ongelmasta tilannekuva, jonka pohjalta ideoidaan muutama kehitysehdotus. Kehitysehdotuksissa korostetaan todettujen tuhkapölyn aiheuttamien haittojen mahdollisimman laaja-alaista torjuntaa sekä huomioidaan projektille asetetut toiveet ja vaatimukset. Lopuksi valitaan arviointimenetelmien avulla toteutuskelpoisin konsepti valmistettavaksi.

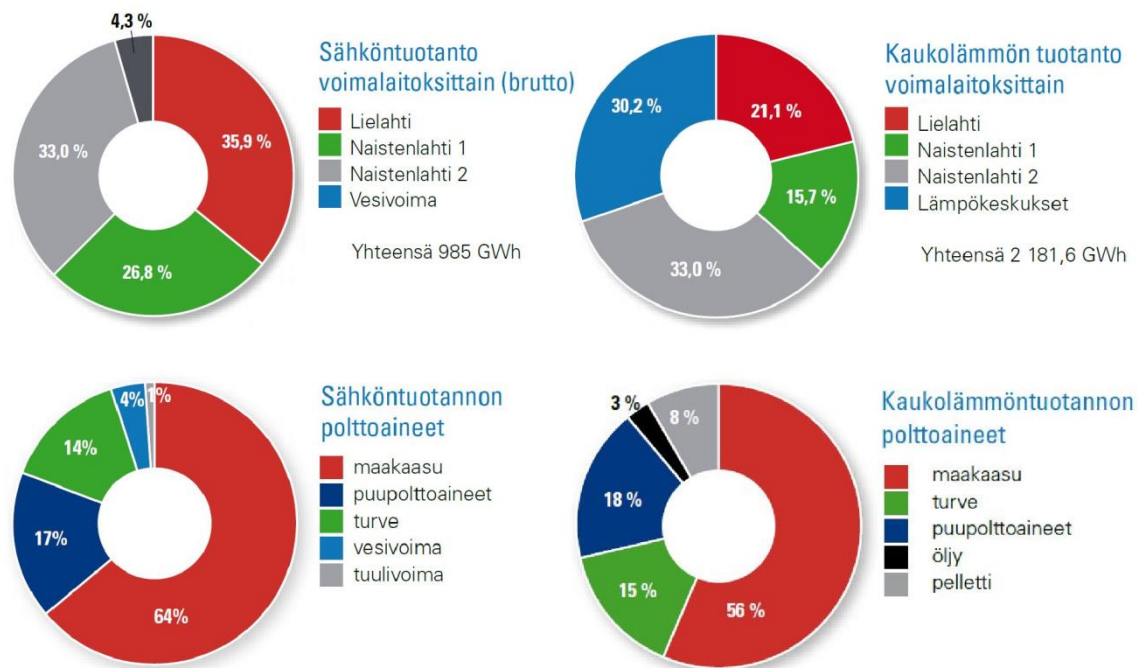
Aika-, raha- ja henkilöressurssien ollessa rajalliset, tullaan projektin aikana säästösyistä nojaamaan suurelta osin omaan osaamiseen. Vahvistus näkemyksille tullaan tarkistamaan lähteistä, jotka liitetään opinnäytetyön loppuun muun tuotetun oheismateriaalin lisäksi.

## 2 TAUSTAA

Tampereen Sähkölaitos on vuonna 1888 perustettu Suomen ensimmäinen kunnallinen sähkölaitos, joka yhtiöitettiin vuonna 2009. Samalla muodostettiin tytäryhtiöt energiantuotantoon, sähkönmyyntiin, kaukolämpöön, sähköverkkoon ja Tampereen Vera, joka keskittyy rakentamis- ja kunnossapitopalveluihin. (Sähkölaitoksen historia 1888 - 1899)

Tampereen Sähkölaitos Oy työllisti noin 400 henkilöä vuonna 2014, jolloin liikevaihtoa oli 289 000 000 euroa ja asiakkaita 142 000 kappaletta. (Yritys ja ympäristö)

Tampereen Energiantuotanto Oy tuottaa Pirkanmaalla kaukolämpöä, -jäähdytystä ja sähköä pääosin Lielahden ja Naistenlahden voimalaitoksilla (Kuvio 1). Kymmenen lämpölaitoksen ohella hyödynnetään myös vesi- ja tuulivoimaa. Lisäksi Pirkanmaan Jätehuolto Oy:n kanssa vuonna 2012 perustettu Tammervoima Oy tuottaa energiaa jätteenpoltolla. Tampereen Sähkölaitos ei ole mukana missään ydinvoimahankkeessa ja tavoittelee uusiutuvien energianlähteiden kasvattamista 30 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. (Vihreiden askelten visio)



KUVIO 1. Tampereen Sähkölaitoksen tuotanto vuonna 2014

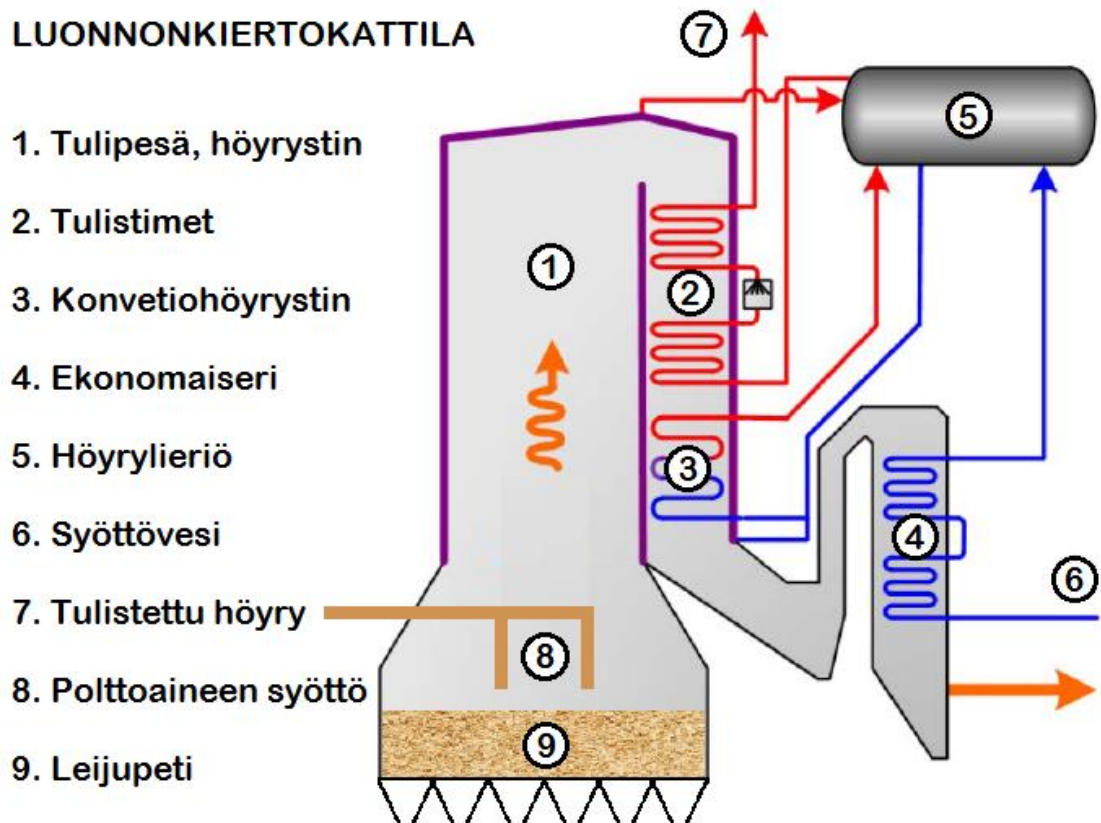
Naistenlahti 1 on vuonna 1971 valmistunut öljykäyttöinen, vuonna 1982 jyrshinturvekäyttöiseksi ja vuonna 2000 maakaasukäyttöiseksi modernisoitu kombivoimalaitos.

Naistenlahti 2 on vuonna 1977 valmistunut jyrshinturvelaitos, jossa voidaan käyttää vuoden 1988 modernisoinnin jälkeen polttoaineena myös puuta, kaasua ja öljyä. Laitoksen sähköteho on 60 megawattia ja lämpöteho 120 megawattia. (Voimalaitokset)

## 2.1 Voimalaitosprosessi

Naistenlahti 2:n perinteisellä höyrykattila- ja -turbiinyhdistelmällä voidaan tuottaa sekä sähköä että lämpöä. (Ympäristölupa)

Turbiinien energianlähteenä käytetään asteittain tulistettua vesihöyryä, joka tuodaan savukaasukanavan esilämmittimen kautta kattilapesän höyrystimeen ja siitä edelleen tulistimen kautta turbiineille (Kuva 1). Lierion tehtävänä on erottaa vesi ja höyry toisistaan painovoimaan ja tiheyden eroon perustuvan menetelmän avulla.



KUVA 1. Kerrosleijukattilan toimintaperiaate (Kuva: Marko Rauta 2014)

Lämmitykseen vaadittavan palamisprosessin polttoaineena käytetään pääasiassa siiloista hihnakuljettimilla tuotua puuta ja turvetta, jonka kosteutta säädellään sekoitussuhdetta muuttamalla. Käynnistyspolttoaineena toimii öljy.

Kattilan hiekkapedillä 750 – 950 celsiusasteessa poltettavaa seosta leijutetaan paineilman avulla, jolloin saavutetaan huonolaatuisenkin materiaalin nopea ja tasainen palaminen. Tällöin polttoaine myös jauhautuu ja poistuu prosessista pääasiassa lentotuhkana, joka kanavoidaan savupiippuun sähkösuodattimen kautta. (Kattilatyyppit)

Suurimmat partikkelit, kuten polttoaineiden seassa kulkeutuvat leijupetihiikkaa raskaamat naulat, vaativat erillisen tuhkanpoiston palkkiarinan alakautta. Kattilan pohjasuppiloiden ja savukaasun sähkösuodattimen kautta prosessista poistettava tuhka varastoidaan tuhksiiloon (Kuva 2, kulmikas betonirakennus vasemmassa laidassa). Tuhka kuljetetaan siilosta rekalla Tarastenjärven jätteenkäsittelylaitokselle keskimäärin neljästi päivässä 20 tonnin kuormina.



KUVA 2. Naistenlahden voimalaitos (Kuva: Marko Rauta 2014)

## 2.2 Päästöt

Vuodesta 2010 vuoteen 2012 Tampereen Sähkölaitos Oy:n hiilidioksidipäästöt ovat laskeneet neljänneksellä ja uusiutuvan energian osuus tuotannossa kasvanut lähes viidenneksellä. (Ilmastokäänne Tampereella)

Vuonna 2013 päästöt olivat laskeneet entisestään (Taulukko 1). Turpeen polttamisesta syntyy hiilidioksidin lisäksi lähinnä rikkidioksidia, typen oksideita ja pölymäistä tuhkaa. Puupolttoaineita lisäämällä voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjen määrää. (Vaikutus Ilmaston)

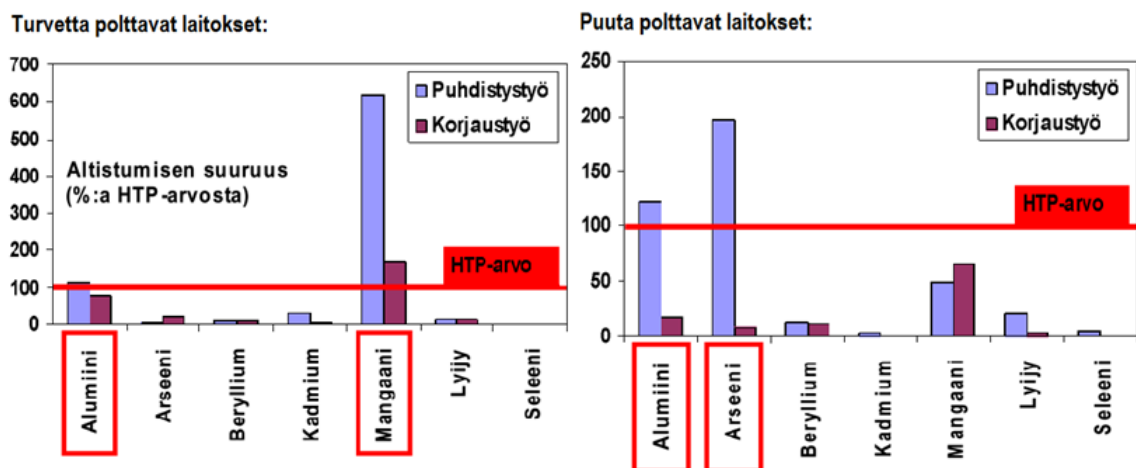
TAULUKKO 1. Energiantuotannon kokonaispäästöt vuonna 2013

Päästöt tonneina	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset
Lielähti	192 300	0	158	0
Naistenlahti 1	252 400	0	178	0
Naistenlahti 2	152 500	265	487	10
Lämpökeskukset	71 800	32	110	3
<b>Yhteensä</b>	<b>669 000</b>	<b>297</b>	<b>933</b>	<b>13</b>

### 2.3 Tuhkalle altistuminen

Naistenlahden voimalaitokselle tehtiin 9.5.2012 työpaikkakäynti tuhkaa ajavien kuljettajien pölyaltistumisasteen arvioimiseksi. Taustamateriaalina käytettiin Työterveyslaitoksen tutkimusta tuhkan sisältämistä kemiallisista aineista ja mineraaleista. (Jumpponen, 2011)

Tutkimus osoittaa, että kuljettajat ovat vaarassa altistua puhdistus- ja korjaustyön aikana haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien arvot ylittävään määrään alumiinia, arseenia ja mangaania (Kuvio 2).



KUVIO 2. Tuhkan metallipitoisuuksien HTP-arvot

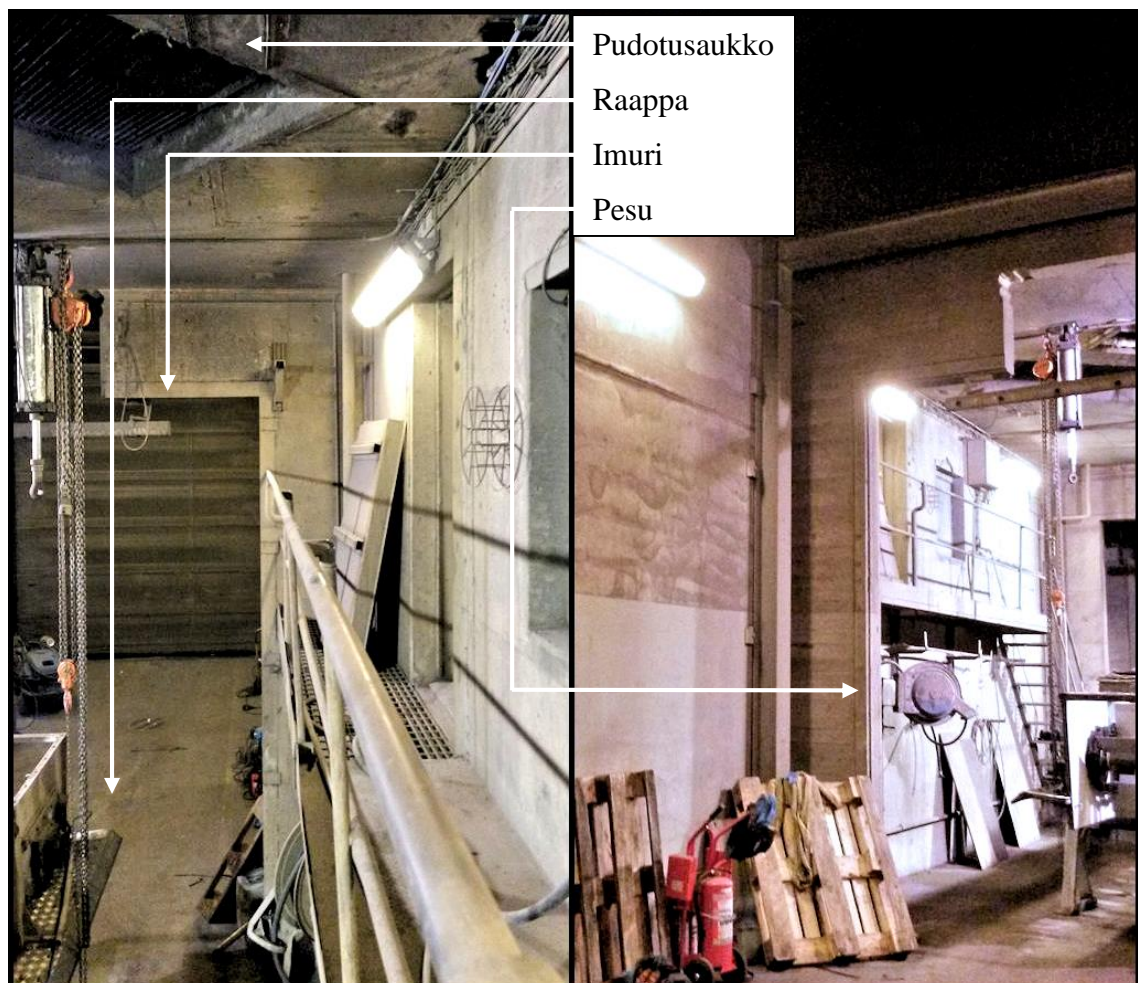
Työpaikkakäynnillä todettiin kuljettajilla olevan käytössään henkilökohtaisia suojaimia tuhkalle altistumisen torjumiseksi. Näitä olivat muun muassa suojahaalari, -käsineet ja moottoroitu P3-luokan pölynsuodattimella varustettu hengityssuojain. Lisäksi korostettiin välineiden huollon, käsienpesun ja saunomisen tärkeyttä.

### 3 TUHKAHAITTOJEN TORJUNTAMENETELMÄT

#### 3.1 Tuhkan kostutus

Tuhkasiilon ja purkuhallin välisessä tilassa, jota kutsutaan kuljetinhuoneeksi, on käytössä tuhkan kostutusjärjestelmä. Tuhkaa siirretään siilon pudotusaukosta purkuhalliin (Kuva 3, vasen yläkulma) kahdella ruuvikuljettimella, joissa on palovesiverkkoon liitetyt sumutus-suuttimet tuhkan kostuttamiseksi. Tällä tavoin on pyritty estämään tuhkan pölyämistä lastaustilanteessa.

Menetelmän haittapuolena on tuhkan käyttäytyminen betonimaisesti, jolloin se muuttuu kastuessaan kivikovaksi. Tällöin tuhkarakan lavan tyhjentäminen ja ruuvikuljettimien la-  
pojen puhdistus hankaloituu ja viivästyy huomattavasti. On ollut tapauksia, jolloin tuhkaa on jouduttu hakkaamaan rautakangella irti seinämistä.



KUVA 3. Tuhkasiilon purkuhalli etelä- ja pohjoispäädystä (Kuva: Marko Rauta 2014)

### 3.2 Raappa

Tuhkan pölyämistä on pyritty hallitsemaan myös eräänlaisella telaketjuraapalla (Kuva 3, alakulmissa huoltoasennossa), joka lasketaan valvontatilasta neljää sylinteriä ohjaamalla tuhkarakan lavan päälle. Raapan tehtävänä on levittää tuhka tasaisesti kahdesta tuloaukosta rekan lavalle sekä estää reunakumien avulla tuhkan pölyäminen.

Menetelmän haittapuolena on tuhkan vettäkin pienempi viskositeetti, jolloin pienikin rako tiivistyskumin ja rekkalavan reunan välissä aiheuttaa purkuhallin täyttymisen tuhkapölyllä.

### 3.3 Imuri

Kolmantena menetelmänä on purkuhallin kumpaankin päähän rakennettu imujärjestelmä. Imuri (Kuva 3, putki keskilaidoilla) on käynnissä noin kuusi minuuttia kestävän lastauksen ajan ja viisi minuuttia sen jälkeen. Tämäkin menetelmä on koettu riittämättömäksi, sillä kuljettaja joutuu odottamaan pölyn laskeutumista vähintään vartin päästäkseen pesemään rekan.

### 3.4 Pesu

Viimeinen menetelmä tuhkapölystä aiheutuvien haittojen ehkäisemiseksi rekkojen lastaustilanteessa ja -ympäristössä on pesu.

Kuljettajia on ohjeistettu pesemään ajoneuvo osittain jokaisen lastauksen jälkeen. Tämä tarkoittaa hytin pölyisten pintojen puhdistusta sekä ikkunoiden, sivupeilien ja lastaustilan lattian etuosan huuhtelua vedellä. Kahden lastauskerran välein ajoneuvo pestään kokonaan ruiskuttamalla ulkopinnoille pumppupullostsa pesuainetta, jonka vaikutusajan jälkeen ajoneuvo harjataan ja huuhdellaan palovesiletkun suihkusuuttimella (Kuva 3).

Peseminen on pölyntorjunnan menetelmistä tehokkain, mutta kuljettajan kannalta työläin. Ajoneuvon pesu kokonaan vie aikaa noin tunnin, josta huomattava osa kuluu ahtaasta tilasta johtuen niska takakenossa, yläraajat koholla tai tasanteelta kurotellen.

## **3.5 Torjuntamenetelmien tehostustoimet**

### **3.5.1 Tuhkan kostutus**

Tuhkankostutusjärjestelmää on pyritty parantamaan säätelemällä suihkutukseen käytettävää vesimäärää, jotta märkä tuhka ei tarttuisi rekkalavan laitojen lisäksi ruuvikuljettimen lapoihin. Metallisiin lapoihin tarttunut tuhka lisää myös materiaalin normaalia kulumista, joten lapojen päätykierteisiin on hitsattu kovametallia. Tarttumisen estämiseksi käytetään lisäksi lapoihin kiinnitettäviä pinnoitelevyjä.

### **3.5.2 Raappa**

Raapan kohdistamista rekkalavan reunojen peitteeksi on pyritty helpottamaan seinälle asennetun ajo-ohjainpuomin avulla, joka helpottaa ajoneuvon kuljettajaa ajamaan rekan kohtisuoraan raapan alapuolelle. Raapan reunakumeja on myös pyritty muokkaamaan tiivistämiskyvyn parantamiseksi.

### **3.5.3 Imuri**

Imujärjestelmän tehokkuus on todettu riittämättömäksi. Korjaustoimeksi on ehdotettu moottorien vaihtamista suuritehoisempiin ja imuaukkojen parempaa suuntausta pölyn vuotokohtiin.

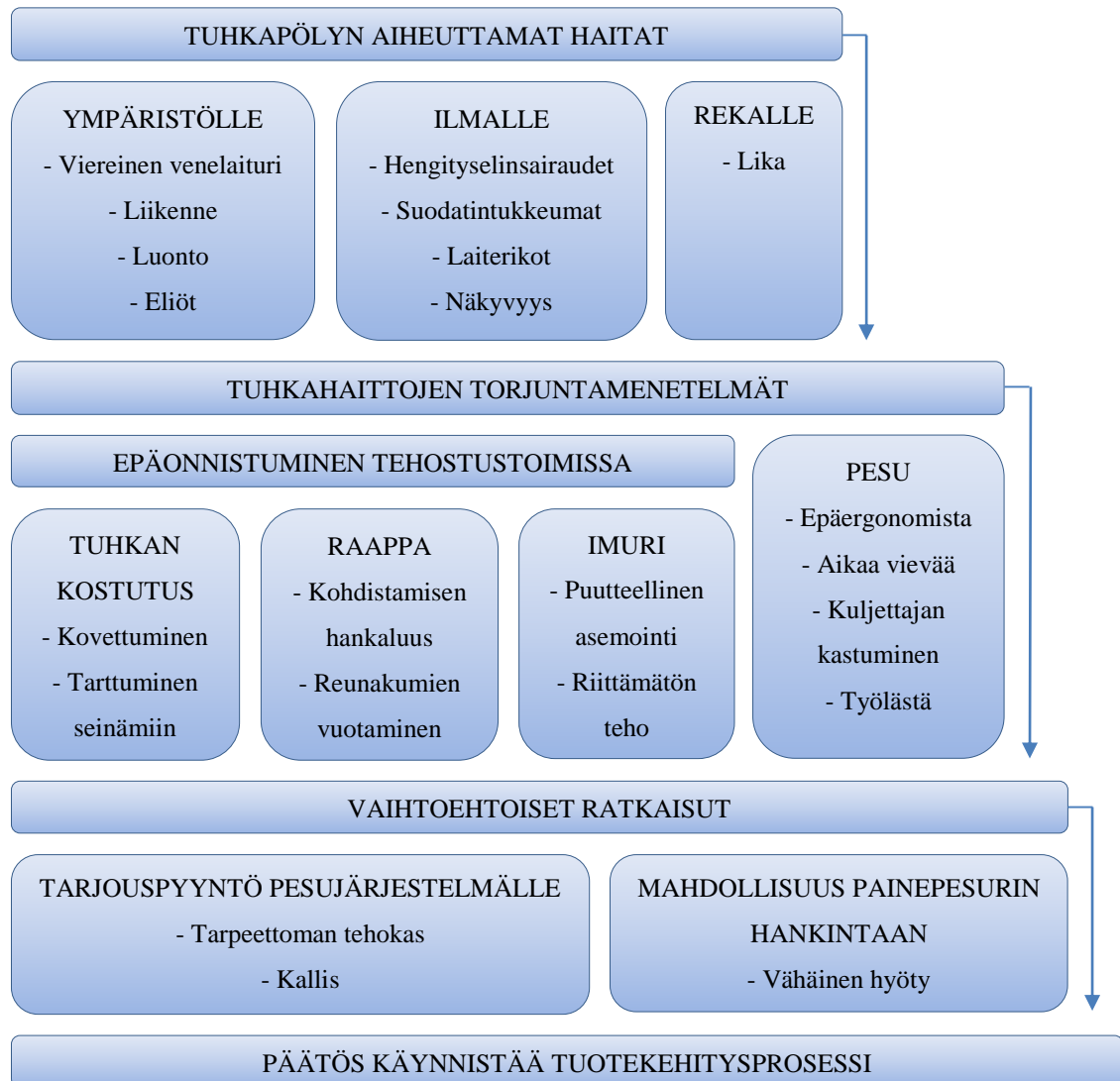
### **3.5.4 Pesu**

Ajoneuvon pesemisen helpottamiseksi on ehdotettu painepesuria ja pyydetty myös tarjous paikalliselta raskaan kaluston pesulaiteratkaisuihin erikoistuneelta yritykseltä.

Painepesuriin investointi ei kuitenkaan poistaisi ahtaan tilan tuomaa ongelmaa tai lyhentäisi pesuaikaa. Paikallisyrityksen tarjous puolestaan koski pesutarpeeseen huomattavasti ylimitoitettua järjestelmää, jonka hintakin oli kymmeniä tuhansia euroja.

## 4 TUOTEKEHITYSPROSESSI

Alla olevaan käsitekarttaan (Kuvio 3) on hahmoteltu ylhäältä alaspäin kronologisessa järjestyksessä tuotekehitysprojektin käynnistämispäätöstä edeltäneet vaiheet. Siinä on tuotu esiin käsitteiden suhde toisiinsa, ongelman laajuus ja otettu kantaa valittujen menetelmien tai ratkaisujen toimivuuteen. (Tutkimisen taito ja tiedonhankinta; Teoreettisen viitekehysten rakentaminen)



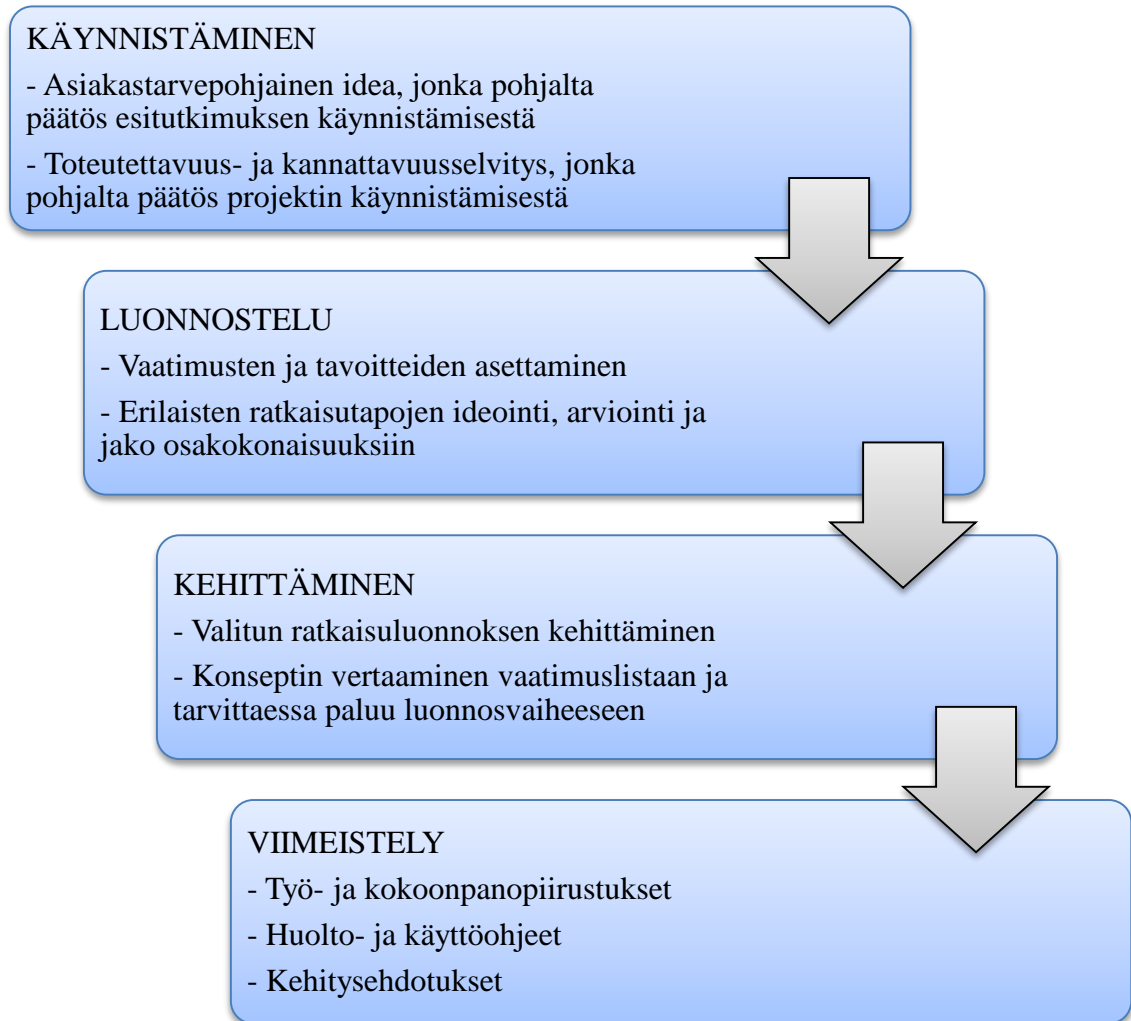
KUVIO 3. Viitekehys

Selvityksen taustamateriaalina on käytetty pääasiassa yrityksen sähköisessä muodossa olevia kirjallisuuslähteitä, kuten Työterveyshuollon yhteenvetoa (Liite 1).

Lisäksi työntekijöiden kanssa käydyt keskustelut ja itsenäinen tutustuminen työympäristön olosuhteisiin on ollut tukena päätöksenteossa.

#### 4.1 Prosessin kuvaus

Tuotekehitysprosessi käynnistetään tarpeesta uuden tai olemassa olevan tuotteen kehittämiseksi. Prosessi koostuu yleensä neljästä päävaiheesta (Kuvio 4), joista ensimmäisessä tutkitaan tuoteidean kehityskelpoisuutta (Liite 2).

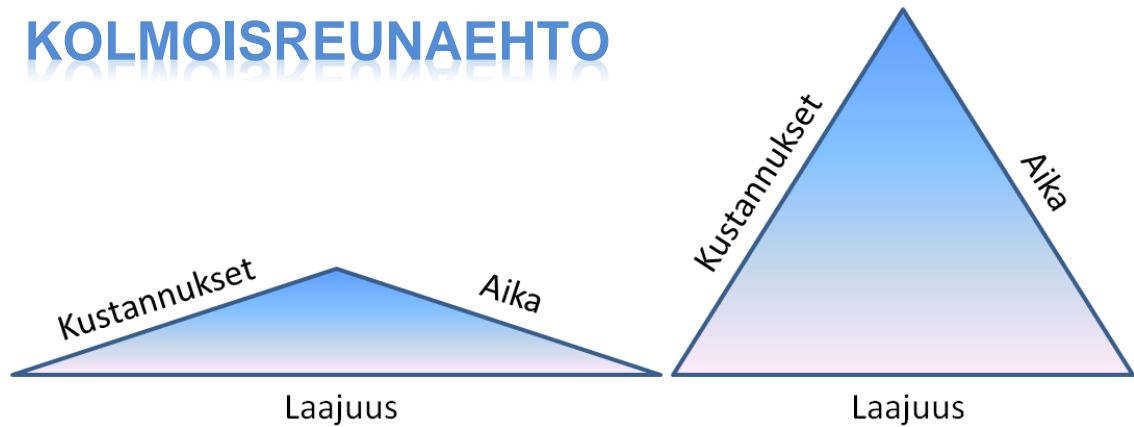


KUVIO 4. Tuotekehitysprosessi

Yleisesti ottaen ensisijaisina riskeinä tietyntyyppisissä projekteissa nähdään kustannusten ja ajankäytön kasvu (Kuvio 5). Normaalitilanteessa kaikki kolme määrettä ovat tasapainossa, jolloin riskit ovat parhaiten hallittavissa.

Usein projektin kustantava taho pyrkii tämän opinnäytetyönkin tavoin kireään aikatauluun, joksi määriteltiin esimiehen toimesta saattaa työ valmiiksi niin pian kuin suinkin mahdollista. Nopean toteutuksen lisäksi kustannuksia pyrittiin pitämään kurissa projektin edetessä tarkoituksenmukaisin työtapa- ja materiaalivalinnoin.

# KOLMOISREUNAehto



KUVIO 5. Optimistinen ja realistinen näkemys

## 4.2 Projektin lähtötiedot

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä rekkapesuriprojekti luovutettiin Naistenlahden voimalaitoksen asennusvalvojarjoittelijan vastuulle sen esitutkimusvaiheessa. Tällöin myös ehdotettiin, että nykyisistä torjuntamenetelmistä ryhdyttäisiin kehittämään rekan pesua.

Päätökselle haettiin vahvistus painoarvotaulukolla, jolla arvioitiin kunkin menetelmän kehityskelpoisuutta asteikolla yhdestä viiteen (Taulukko 2).

TAULUKKO 2. Painoarvotaulukko

PAINOARVOTAULUKKO		Arvosana menetelmille (painotettu)			
Kriteeri	Painoarvo	Kostutus	Raappa	Imuri	Pesu
Toimivuus	30 %	4 (1,2)	3 (0,9)	3 (0,9)	3 (0,9)
Huollettavuus	20 %	3 (0,6)	2 (0,4)	3 (0,6)	3 (0,6)
Kuskin kuormitus	30 %	3 (0,9)	2 (0,6)	1 (0,3)	5 (1,5)
Kehityspotentiaali	20 %	1 (0,2)	2 (0,4)	2 (0,4)	5 (1,0)
<b>Yhteensä</b>	<b>100 %</b>	<b>2,9</b>	<b>2,3</b>	<b>2,2</b>	<b>4</b>

Prosessin toisessa, eli luonnosteluvaiheessa, eritellään asiakkaan toiveet ja vaatimukset kehitettävän tuotteen suhteen (Taulukko 3). Tämä luo raamit ja tavoitteet toiminnalle, joka rekkapesurin tapauksessa oli suunnitella ja valmistaa voimalaitoksen kesäseisokin loppuun mennessä kohtuuhintainen järjestelmä, jolla saadaan huuhdeltua suurin osa rekan päällä olevasta tuhkapölystä (Kuva 4). Liikkuvan pesukaaren valmistamisen ei päätelty olevan tilanahtaus-, ajankäyttö- ja kustannussyistä järkevä vaihtoehto.

TAULUKKO 3. Toive- ja vaatimuslista

TAVOITTEET	VAATIMUS	TOIVE
Huuhtelee suurimman osan tuhkapölystä	V	
Kohtuullinen hinta (alle 10 000 euroa)	V	
Nopea suunnitella	V	
Nopea valmistaa	V	
Vähäinen paineilman-, sähkön- ja vedenkulutus		T
Työn ergonomiaa parantava		T
Työtä nopeuttava		T
Täydellinen pesu		T



KUVA 4. Suunnittelijat likaisen rekan vieressä (Marko Rauta 2015)

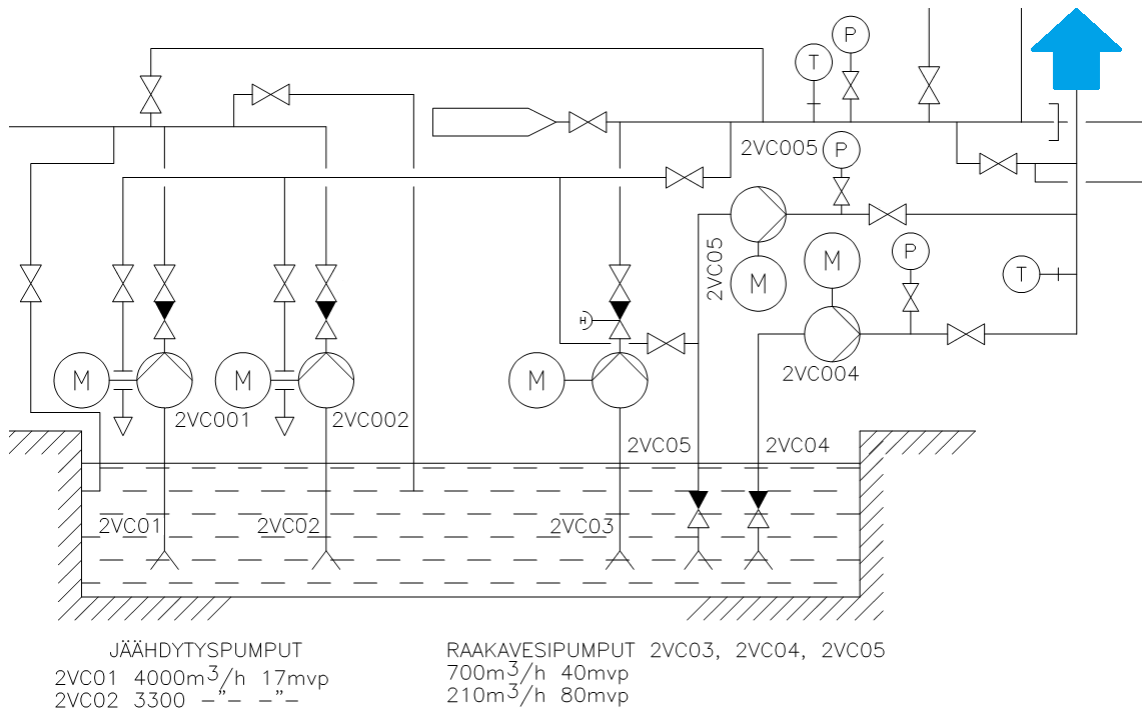
Toinen oleellinen osa luonnosteluvaiheessa vaatimuslistan lisäksi on erilaisten ratkaisutapojen ideointi, arviointi ja jako osakokonaisuuksiin. Lopuksi valitaan osakokonaisuuksien ratkaisuja yhdistelemällä kehitettävä ratkaisuluonnos (Kuva 12).

Prosessin kehitysvaihe alkaa valitun ratkaisuluonnoksen analysoinnilla, jolla pyritään havaitsemaan mahdollisia heikkouksia. Tämän lisäksi pyritään tuotespesifikaatioiden (kustannukset, materiaalit, toleranssit jne.) optimointiin, jonka tuloksena on kehitetty konstruktioehdotus. Jos projektille asetetut vaatimukset eivät täyty, palataan takaisin luonnosteluvaiheeseen uuden ratkaisuluonnoksen pohjalta.

Tuotekehitysprosessin viimeistelyvaiheessa tehdään työpiirustukset, käyttö- ja huolto-ohjeet sekä loppudokumentointi. (Jokinen, 2001)

#### 4.2.1 Lähtötietojen laskennallinen selvitys

Palovesiputkiston tilavuusvirran määrittelyä varten tutkittiin PI-kaaviota, jonka mukaan vesi tulisi pesukaarelle joko viideltä eri pumpulta tai varavesisäiliön kautta (Kuvio 6).



KUVIO 6. Ote PI-kaaviosta (Kuva: Marko Rauta 2014)

Asian varmistaminen laitosta taskulamppu kädessä kiertämällä osoittautui aikatauluun nähden turhan työlääksi ja putkisto oli paineeton hetkellä, jolloin olisi ollut oikea aika mittauksille. Varavesisäiliön suureista oli tiedossa vain paine, 10 baaria. Pumpuista tiedettiin paineen lisäksi tilavuusvirrat kuutiometreinä tunnissa, joista pienimmän mukaan saatiin laskettua vähimmäistilavuusvirraksi lähes kuusikymmentä litraa sekunnissa

$$0,00028 \times 210 \frac{m^3}{h} \approx 0,05880 \frac{m^3}{s}$$

Laskennallinen tilavuusvirta arvioitiin riittävän suureksi pesukaarta varten, mutta käsi-käyttöistä palovesiletkun suihkusuutinta kokeiltaessa paineen aiheuttama työntövoima vaikutti vähäiseltä - laskennallista pienemmältä.

Pesupaineen vähäisyyden arviotiin johtuvan putkiliinjassa olevista lukuisista korkeuseroista, kertavastuksista, kavennuksista, kulmista ja korroosion aiheuttamasta kitkasta.

#### 4.2.2 Selvitys koepukin avulla

Koska laskennallinen menetelmä osoittautui annettuun aikatauluun nähden liian työlääksi ja epävarmaksi, päätettiin kehittää vaihtoehtoinen menetelmä lähtötietojen selvittämiseen. Vähimmäistiedoiksi pesukaaren suunnitteluun määriteltiin riittävä tilavuusvirta, paine ja suuttimien lukumäärä. Tarkoitusta varten valmistettiin koepukki (Kuva 5, Liite 3).



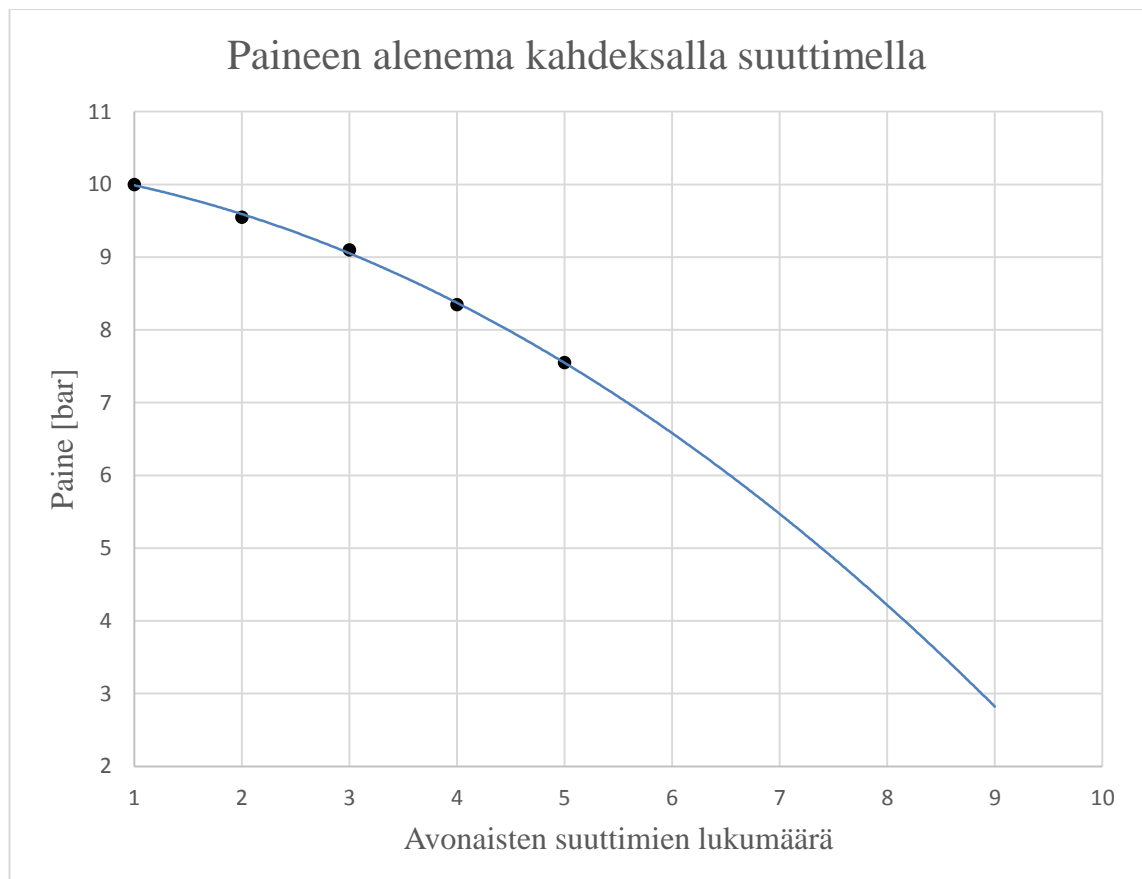
KUVA 5. Koepukki (Kuva: Marko Rauta 2014)

Koepukkiin tehtiin liitännä nykyiseen rekan pesuun käytettävää palovesiletkaa varten. Toiseen päähän koepukkia kytkettiin painemittari, jonka avulla nähdään putkiston paine ja sen muutokset. Tilavuusvirran ajateltiin olevan kytköksissä paineen alenemaan, jota seurattiin säätämällä viittä venttiiliä. Venttiilit sijaitsivat vaihtelevin välimatkoin toisistaan ja niihin oli kytketty eri suihkukulmilla varustettuja suuttimia. Tällä tavoin pyrittiin arvioimaan optimaalista suuttimien lukumäärää, maksimietäisyyttä pestävään pintaan ja painenvaihtelun vaikutusta suihkukulmaan. (Suutin - tärkeä osa prosessia)

Suuttimet koepukkiin tilattiin maahantuojan kanssa käydyn puhelinkeskustelun pohjalta. Vähimmäissuutinmääräksi ylösalaiseen U-kaareen arvioitiin 16 kappaletta, joka kerrottuna valitun kahden millimetrin reikäkoolla tarkoittaa noin 50 neliömillimetrin pinta-alaa. Kustannussyistä suuttimia tilattiin ensi alkuun messinkinen viiden kappaleen koesarja. (Catalog 70 Metric)

Kaikki koepukin viisi venttiiliä avaamalla paine laski kyseisillä suuttimilla kymmenestä baarista 9,2:een. Tämä on yli kolminkertaisesti valmistajan ilmoittaman Veejet-tyyppisten suuttimien 2,8 baarin minimikäyttöpaineen verran. Tavoitteeksi pesukaaren käyttöpaineelle asetettiin kaksinkertaisella varmuudella 5,6 baaria. (Spray Products for the Car Wash Industry)

Ottamalla huomioon paineen aleneman kasvu vielä 11 lisäsuuttimella, päätettiin lopulliset suuttimet tilata kaksinkertaisella reikäpinta-alalla aiempiin nähden. Materiaaliksi valittiin ruostumaton teräs. Päätökselle haettiin vahvistus paineen alenemaa ennustavalla kuvaajalla, joka saatiin säätämällä koepukin venttiilejä yksitellen ja ottamalla lukemat ylös painemittarista (Kuvio 7).



KUVIO 7. Ennuste paineen alenemalle

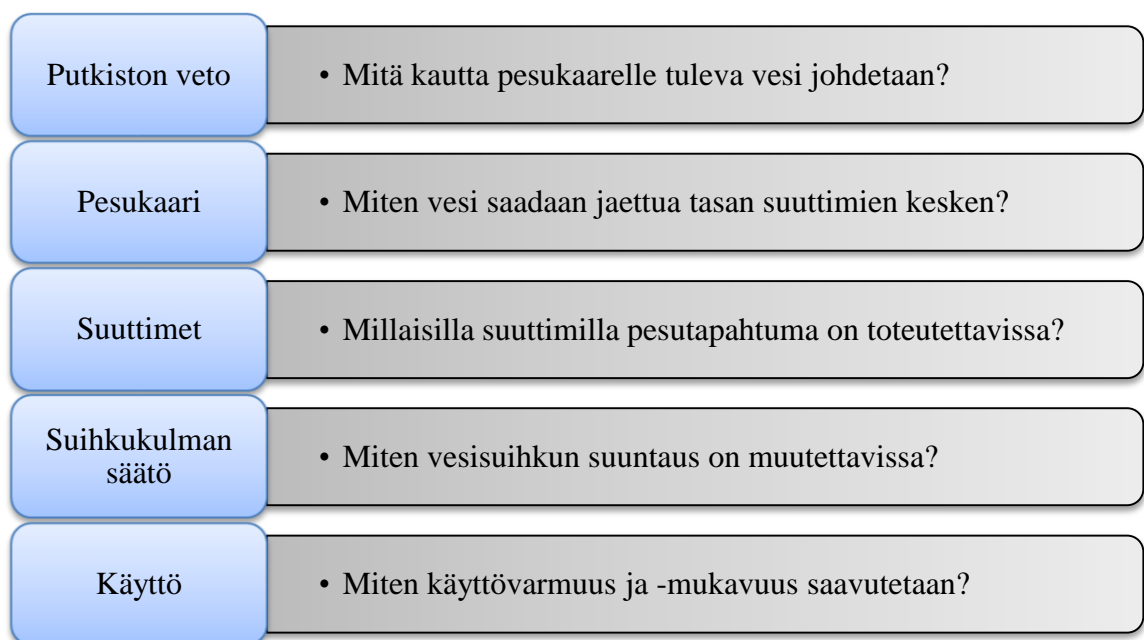
### 4.2.3 Päätelmät

Kaavion perusteella paine laskisi seitsemällä suuttimella tavoiteltuun 5,6 baariin ja yhdeksällä jo minikäyttöpaineeseen. Lisäksi todettiin, että kahdeksan suutinta on vain puolet vaadittavasta määrästä, mittakellon tarkkuus 0,1 baaria ja kuvaajasta päätellen paineen alenema jyrkkenee loppua kohden.

Edellä mainittuja epävarmuustekijöitä ei pidetty esteenä, sillä putkikokojen painehäviöiden arvioimisen vuoksi oli selvää, että pesukaarta varten jouduttaisiin vetämään uusi putkilinja. Uudeksi putkikooksi tulisi suurin mahdollinen, kavennusta edeltävät kaksi tuumaa, joka lähes nelinkertaistaisi läpivirtauspinta-alan häviöiden kompensoimiseksi. Myös kertavastukset vähenisivät kuristuksen poistuessa ja putkilinjan oikaistessa seinien läpi mutkien vähentämiseksi.

### 4.3 Suunnittelu

Yleisesti tuotekehitysprosessissa kokonaistoiminto jaetaan pienempiin osatoimintoihin optimaalisten ratkaisuvaihtoehtojen selvittämiseksi. Rekkapesurin tapauksessa kehityskohteena on asennuksen ja huollon lisäksi vain yksi toiminto, vesisuihku. Asian käsittelyn helpottamiseksi jäsenneltiin osatoimintojen sijasta osaratkaisut (Kuvio 8).



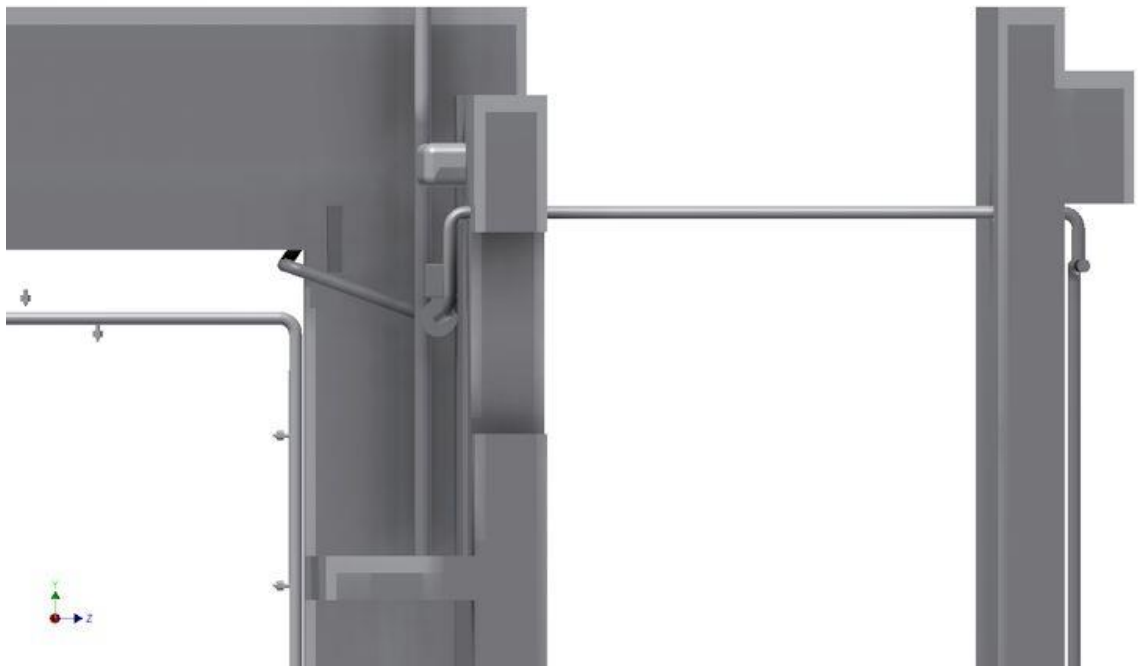
KUVIO 8. Osakokonaisuudet rekkapesurikonseptille

### 4.3.1 Putkiston veto

Uuden putkilinjan vetäminen on aika- ja kustannusmielessä tehokkainta mahdollisimman vähin muutoksin lyhintä mahdollista reittiä. Käytännössä vaihtoehtoja oli kaksi, sillä palovesiletkun jatkaminen hylättiin virtauspinta-alan kasvattamispäätöksen yhteydessä.

Putkilinjan vetäminen ulkokautta ei olisi minkään tiellä, mutta se vaatisi joko eristyksen tai lämmityskaapelin ulkopakkasista johtuvan jäätyksen estämiseksi. Sisäkautta vetäminenkin olisi mahdollista, mutta ainoastaan kuljettajan noin neljän neliömetrin kokoisen kopin läpi. Tällöin ei tarvittaisi eristystä tai lämmitystä, mutta putki olisi todennäköisesti kuljettajan tiellä. Asiaa tutkittiin tekemällä mittauksia (Liite 4) ja niiden pohjalta 3D-mallinnos Autodesk Inventor-ohjelmalla (Kuva 6; Kuva 8).

Kopin ja laitoksen välisen reiän mitoittaminen oli hankalaa, koska yhtäkään pintaa ei voitu käyttää mittauspisteenä epätasaisuuksien vuoksi. Kopin seinän kiinteät komponentit, ikkuna, ilmastointiaukko ja laitoksen puoleinen poikkipalkki toivat omat haasteensa.



KUVA 6. Uuden putkilinjan alkupää (Kuva: Marko Rauta 2014)

Huolellisen sommittelun jälkeen tultiin johtopäätökseen, että putki on mahdollista vetää palovesilinjasta (Kuva 7, oikeassa alakulmassa) kopin sisäkautta olematta kuljettajan tiellä. Ainoa vaadittava muutos oli valkoisen kahvikaapin siirtäminen kymmenen senttimetriä alemmas.

Uusi putkilinja asetoitiin kopin takaseinälle sähkökaapin viereen ikkunan ja ilmastointiaukon väliin. Tällä tavalla putkea kaksi senttiä suurempi reikä jää poikkipalkin alapuolelle. Mitoituksen hankaluuden vuoksi (Kuva 7, virhemerkinnät oikealla) paikallisyrittys suoritti vesiavusteisen timanttikorauksen kopin sisäpuolelta ja kohdistus varmistettiin po-raamalla ensin ohjausreikä kapeammalla terällä.



KUVA 7. Putkilinja kuljettajan kopin läpi (Kuva: Marko Rauta 2014)

Putkilinjaan asennetaan huollettavuussyistä linjan tyhjentämiseksi sulkuventtiili, jolla es-tetään myös putken jäätyminen purkuhallin lämpötilan laskun varalta. Linjan tyhjentä-miseksi putkeen täytyy tehdä lasku, jonka alin kohta mitoitettiin roiskeiden ja ylimääräis-ten mutkien välttämiseksi yläpuolen kuljetinhuoneesta tulevan rännin yhteyteen (Kuva 6). Tyhjennys ränniin tapahtuu avaamalla käsikäyttöinen venttiili (Liite 5).

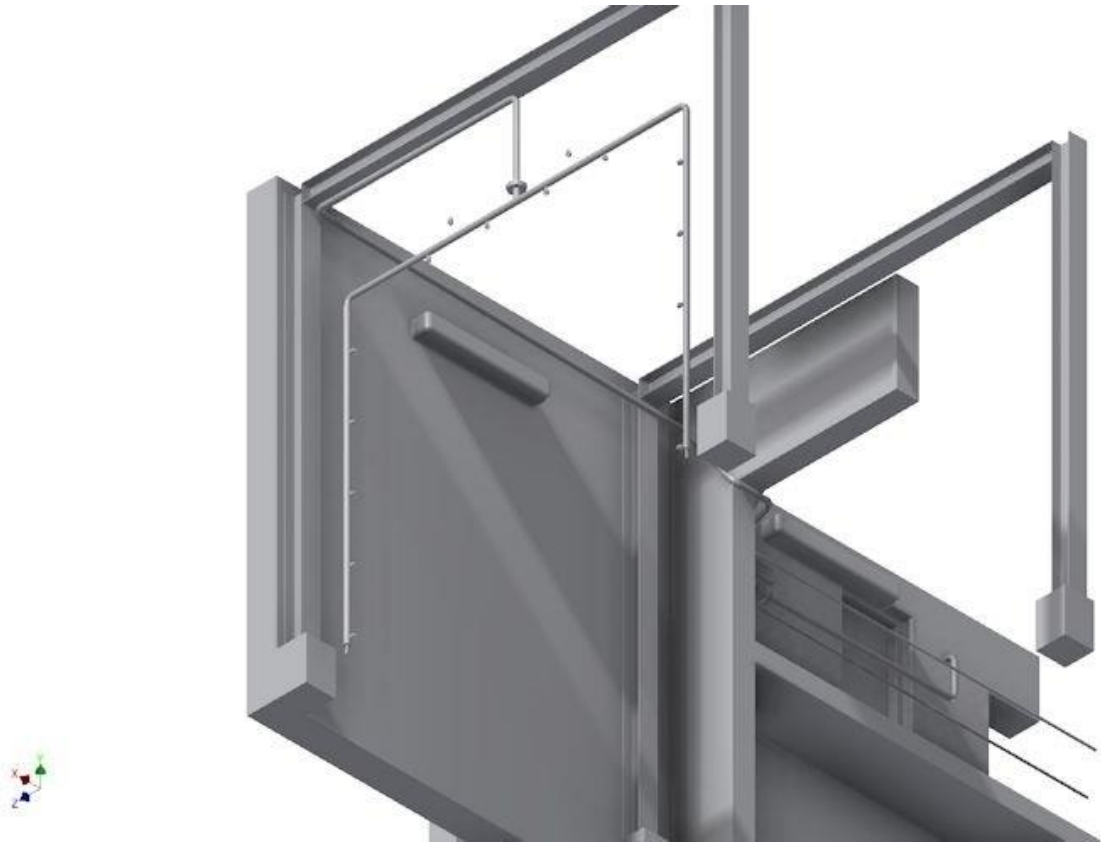
Loppuosa putkilinjasta vedetään seinämiä pitkin pesukaarelle (Kuva 8, oikealta vasem-malle). Materiaalina käytetään kustannussyistä terästä, joka hieman ennen pesukaarta vaihdetaan laippaliitosta käyttämällä ruostumattomaksi teräkseksi.

#### 4.3.2 Pesukaari

Koska pesukaari on käytännöllisintä asentaa purkuhallin päädyssä olevaan teräksiseen I-palkkikaareen, jonka lävitse rekka ajetaan ulos, päätettiin selvittää kummankin mitat.

Kesäseisokin aikana ei synny tuhkaa, joten rekkaa ei pidetä laitoksella. Mitat saatiin kui-tenkin valmistajan sivuilta (Scania), kun ajopäiväkirjan rekisterinumeron perusteella oli ajoneuvorekisteristä ensin selvitetty rekan malli, Scania G 400.

Pohjoispäädyn teräskaari käytiin mittaamassa ja lisättiin olemassa olevaan 3D-malliin (Kuva 8, tulevan pesukaaren ympärillä).



KUVA 8. Uuden putkilinjan loppupää (Kuva: Marko Rauta 2014)

Ajoneuvon ja teräskaaren mittojen selvittyä todettiin, että pesukaari on mahdollista toteuttaa niiden väliin jäävään tilaan. Pesutehon maksimoimiseksi kaari asennetaan mahdollisimman lähelle ajoneuvoa puolen metrin varoetäisyydellä suuttimiin.

Tasaisen pesujäljen saavuttamiseksi paineen tulee jakautua kullekin suuttimelle. Uuden putkilinjan vetämisen kannalta olisi helpointa johtaa vesi pesukaaren reunaan, mutta menetelmä vaatisi paineen tasaamiseen erillisen kuristusventtiilin kullekin suuttimelle. Toinen vaihtoehto olisi johtaa vesi materiaalinvaihdoslaippaliitokselta 16 erillisellä putkella. Tämä ei kuitenkaan olisi linjassa projektin aika- ja kustannusvaatimuksiin nähden sekä aiheuttaisi suuret kitkahäviöt.

Käytännöllisin menetelmä on tuoda vesi pesukaaren yläputken puoliväliin T-haaralla. Muusta putkilinjasta poiketen kaaren yläosaan ei tehdä laskua, sillä suuttimet tulevat osoittamaan alaspäin. Sivuputkien alapäihin asennetaan käsiventtiilit linjan tyhjentämiseksi (Liite 6).

### 4.3.3 Suuttimet

Paikallisyrittäjien pesujärjestelmätarjouksen pohjalta tutustuttiin heidän tuotekatalogiinsa, jossa käytettiin laajalti piste- ja rotaatiosuuttimia. Näiden vaatimia paineita olisi kuitenkin mahdollista saavuttaa ilman paineenkorotuspumppua, joten pesukaareissa päätettiin käyttää viuhkasuuttimia.

Suutinkulman kasvu ja etäisyys kohteesta on suorassa suhteessa pesutehon heikkenemiseen. Optimaalisten kulmien mitoittamiseksi vaadittavalle peittoalueelle käytettiin maahantuojaan sivuilla olevaa työkalua. (Spray Coverage Calculator)

Suuttimet tullaan asentamaan loivassa kulmassa rekan tulosuuntaa vasten, jotta likavesi ei valuisi jo aiemmin pestylle alueella. Tämä estää vastakkaiseen suuntaan olevien pystypintojen pesemisen. Asian kompensoimiseksi kaaren yläosan suuttimista kaksi tullaan rekan poistumissuuntaan muita leveämmällä viuhkalla. Lisäksi kummankin pesukaaren pystyosan viidestä suuttimesta alimmat tullaan suuntaamaan hieman yläviistoon alustan huuhtelemiseksi. Tämä on mahdollista, koska suutinvalikoiman mukaisesti lähimmät viuhkakulmat jättävät säätövaraa peittoalueen pestävään pintaan nähden kaksikymmentä senttimetriä.

### 4.3.4 Suihkukulman säätö

Suutinkulman säätömenetelmäksi ehdotettiin esimiehen toimesta pesukaaren kulman ja pystyputken välistä laippaliitosta, jota kääntämällä kiinteät suuttimet saataisiin suunnattua. Menetelmässä säätökulma riippuisi laipan reikävälistä, jota kasvattamalla lisääntyisi myös työmäärä.

Alkuperäinen idea päätettiin korvata maahantuojaan tuotevalikoimasta löytyvällä pallonivelellä, joka mahdollistaa myös pystysuuntaisen säädön suutinkohtaisesti. Ratkaisupäätösten pohjalta tilattiin kaksi 110° suutinta, 14 45° suutinta ja 16 palloniveltä. Palovesilinjaan alun perin suunniteltua hienosuodatinta ei päätetty tilata sen aiheuttamasta painehäviöstä ja korkeasta hinnasta johtuen. Lisäksi huomioitiin, että paloputkiston käyttämää järvivettä varten laitoksella on jo karkea suodatin, joten se ei todennäköisesti tulisi tukki-  
maan suuttimia. (Catalog 70 Metric)

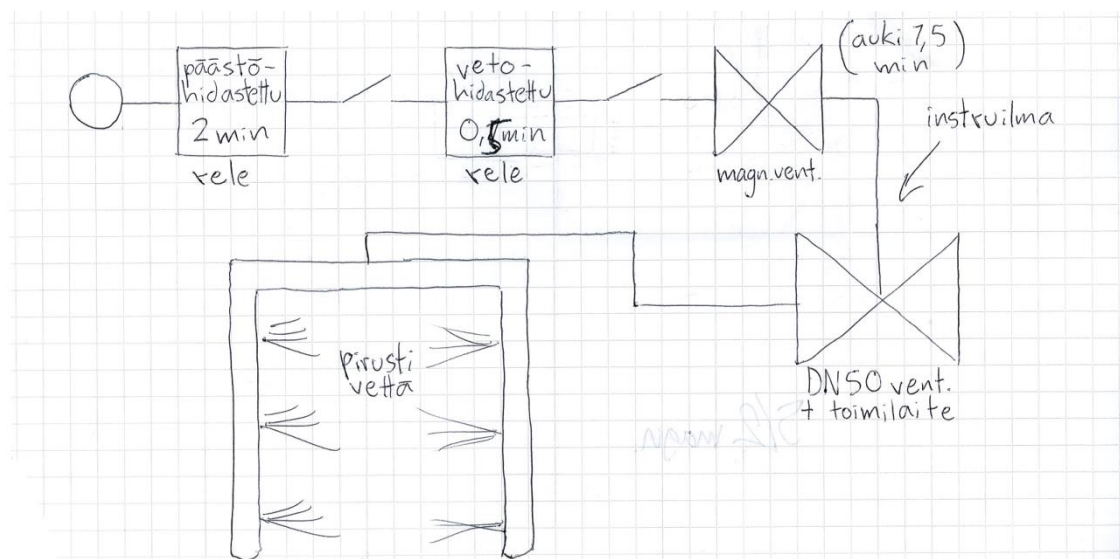
### 4.3.5 Käyttö

Projektin tavoitteissa määritellyistä toiveista pesun täydellisyyttä lukuun ottamatta näihin voitiin vaikuttaa käyttömenetelmän valinnalla.

Ensimmäinen ajatus pesukaaren vedensyötön kontrolloimiseksi oli ajoneuvon kuljettajan käytettävissä oleva käsiventtiili, jonka etuna on tuhkapölyn haittaamattomuus. Paras vaihtoehto on palloventtiili, sillä sen aiheuttama virtausvastus on pieni. Menetelmää varten joutuisi kuitenkin joko vetämään putkilinjan aiottua alemmaa tai kuljettaja kulkemaan tasanteen ja ajoneuvon välillä. Toinen ratkaisuvaihtoehto on pesukaaren aktivoinnin automatisointi, jolla saadaan nopeutettua työtä, parannettua ergonomiaa ja vähennettyä energiankulutusta (Taulukko 3).

Pesutapahtuman automatisointi vaatii sähkön lisäksi myös paineilmaa, sillä kahden tuuman putkilinjalle ei ole saatavissa järkevän kokoista sähkötoimista palloventtiiliä. Uuden putkilinjan lisäksi sähkön ja paineilman tuonti purkuhalliin vaatisi kuitenkin lisää aikaa ja -kustannuksia, joten päätettiin selvittää muita vaihtoehtoja.

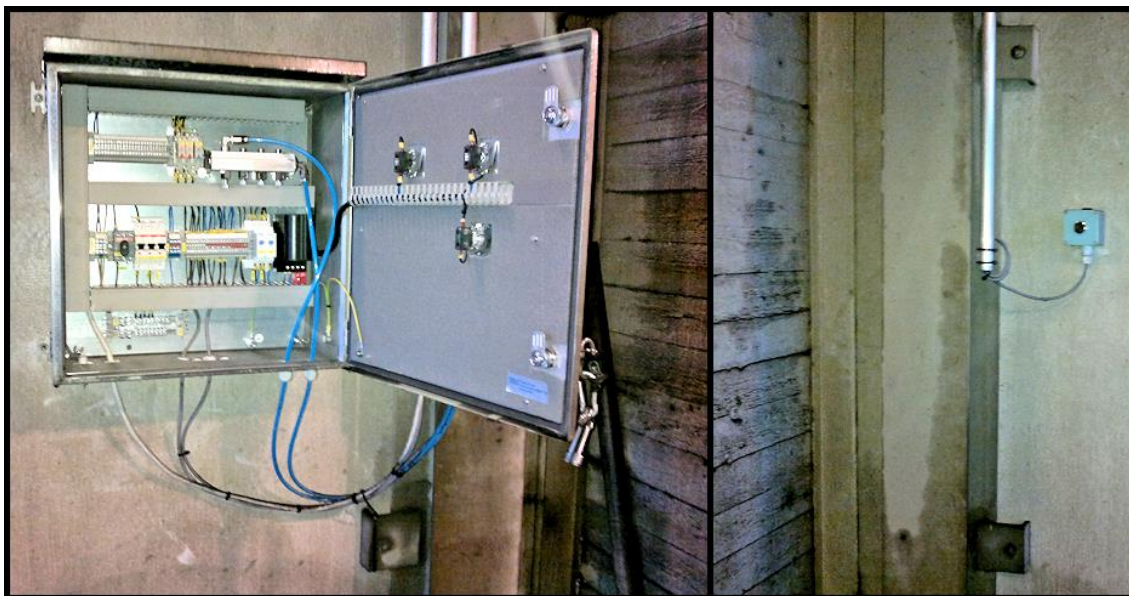
Kuljettajan kopin kohdalta on tuotu pesutasanteelle raapan ohjauskaappiin sähkö ja suodatettu instrumentti-ilma. Kyseiseen kaappiin ei tilahtauden vuoksi mahtuisi enempää komponentteja, mutta sen ansiosta sähköä ja ilmaa ei tarvitsisi tuoda kauempaa. Löydön vuoksi alettiin vertailla automatisointivaihtoehtoja, joiksi määriteltiin pesun aktivointi anturoinnilla tai painonapilla. (Kuva 9).



KUVA 9. Automatisoinnin karkea suunnitelma (Kuva: Marko Rauta 2014)

Paineilmaohjattu magneettiventtiili mitoitettiin sijoitettavaksi pesutasanteelle joko ennen käytössä olleen ja nykyään kiinnihitsatun oven sisennykseen tai tasanteen perälle (Liite 5). Näin se tulee mahdollisimman vähän kuljettajan tielle sekä sähkö- ja paineilmalinjojen läheisyyteen. Pesukaaren tavoin myös magneettiventtiilin huolto helpottuu, sillä se tulee sijaitsemaan vikatoimintojen varalta palovesilinjaan nähden laitoksen puolella sijaitsevan käsiventtiilin jälkeen.

Pesutapahtuman anturointi ei vaatisi kuljettajalta muita toimenpiteitä kuin ajoneuvon kuljettaminen pesukaaren läpi. Tosin käsiventtiilimenetelmään nähden alttius pölyhaitoille tai vahinkolaukaisulle on suurempi. Tässä vaiheessa projektia voimalaitoksen kesäseisokin ja työsuhteeni päätyminen alkoi kuitenkin olla lähellä, joten painonappia monimutkaisemman anturointiratkaisun selvittäminen päätettiin hylätä. Näin jäisi enemmän aikaa niin asennustyöhön kuin mahdollisille riskiviivästymisillekin.



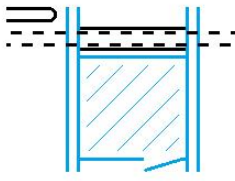
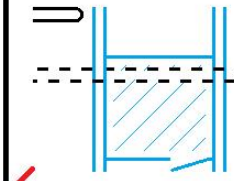
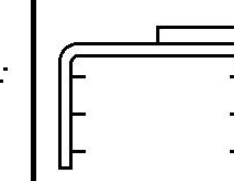
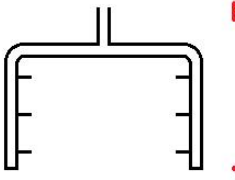
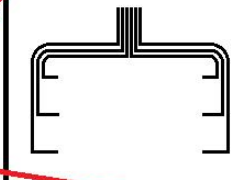
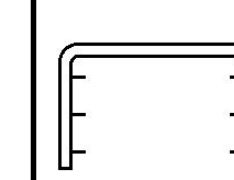


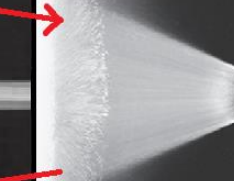






KUVA 10. Uusi ohjauskaappi ja painonappi (Kuva: Marko Rauta 2014)

Menetelmän automatisointi päätettiin toteuttaa kuljettajan ulottuvissa olevalla pöly- ja vesitiiviiksi IP55-luokitetulla painonapilla (Kuva 10; Kuva 12), josta pesutapahtuma aktivoidaan. Pesun riittäväksi pituudeksi arvioitiin minuutti. Aktivoinnin jälkeen kuljettajalla olisi hyvä olla kastumista välttääkseen riittävästi aikaa siirtyä ajoneuvon hyttiin. Tämän pituudeksi arvioitiin 30 sekuntia. Aikaviivettä ja vedentulon katkaisua varten ohjauskaappiin asennetaan säädettävät veto- ja päästöhidasteiset aikareleet. Lisäksi asennetaan lämmitin pakkasen varalle, merkkivalo indikoimaan pesutilaa, automaation valintavipu, sulakkeet ja muut alihankkijan tarpeellisiksi näkemät komponentit (Liite 7).

## 5 PROJEKTIN TULOKSET

Projektin lopullinen konsepti muodostettiin morfologisen analyysin avulla, jossa kunkin osakokonaisuuden vaihtoehtoisia toteutustapoja ja niiden yhteensopivuutta vertaillaan keskenään (Kuva 11). Usein konseptoinnin tuloksena syntyy useita ratkaisuvaihtoehtoja, joista toteutuskelpoisin idea todennetaan esimerkiksi painoarvotaulukolla. Rekkapesurin tapauksessa käytettiin suunnittelunaikaista karsintamenetelmää, jossa pääkriteereinä olivat yhteensopivuus, nopea toteutettavuus sekä kustannustehokkuus (Kuvio 5).

Rekkapesuri on puoliautomatisoitu painonappikäyttöinen pesukaari tuhkarokalle, jonka pinnoilta huuhdellaan lastauksen jälkeinen tuhkapöly ajamalla rekka hitaasti pesukaaren lävitse ulos tuhksiilon purkuhallista tavanomaista ajoreittiä pitkin.

OSAKOKONAISUUS	RATKAISUMENETELMÄ		
	1	2	3
PUTKISTON VETO			
PESUKAARI			
SUUTTIMIT			
SUIHKUKULMAN SÄÄTÖ			
KÄYTTÖ			

KUVA 11, Konseptikartta (Kuva: Marko Rauta 2014)

## 5.1 CE-merkintä

Konedirektiiviä 2006/42/EY sovelletaan seuraaviin teknisiin laitteisiin:

1. Koneisiin
2. Vaihdeavusteisiin laitteisiin
3. Turvakomponentteihin
4. Nostoapuvälineisiin
5. Nostoketjuihin, -köysiin ja -vöihin
6. Nivelakseleihin
7. Osittain valmiisiin koneisiin

Direktiivi määrittelee koneeksi toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmän, jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä ja jossa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva ja joka on kokoonpantu erityistä toimintoa varten. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta)

Edellä mainitun määritelmän perusteella pesukaari ei kuulu konedirektiivin piiriin edes osittain valmiin koneen määritelmän mukaisesti ja tämän vuoksi sille ei päätetty hakea CE-merkintää.

## 5.2 Työturvallisuuslaki

Projektin tarve ilmeni työturvallisuuslain 10 pykälässä mainitun työterveyshuoltolain määrittelemän työpaikkaselvityksen pohjalta. (Työturvallisuuslaki)

Pesukaaren suunnittelussa huomioitiin voimassa oleva työturvallisuuslaki ja pyrittiin täyttämään sen säädökset oleellisimmin osin. Erityisesti otettiin huomioon pykälät 1, 8, 24 ja 25, joissa otetaan kantaa työnantajan velvollisuuksiin työpisteen ergonomisuuteen ja työn kuormitustekijöiden välttämiseen liittyen.

Lisäksi päätettiin esimiehen pyynnöstä tuottaa rekkapesurille ytimekäs käyttö- ja huolto-ohje (Liite 8), kuten määritellään myös työturvallisuuslain pykälissä 14, 41, 43, 57 ja 58.

### 5.3 Tavoitteiden täytyminen

Onnistuneeksi projektiksi voidaan määritellä sellainen, joka on pysynyt budjetissa ja aikataulussa sekä täyttää tavoitellun laatutason. (Kerzner, 1998)

Laatutasolla tarkoitetaan tämän projektin osalta sille asetettuja vähimmäisvaatimuksia (Taulukko 3). Projektille itse asetettuja lisätoiveita arvioitiin omana kokonaisuutenaan (Taulukko 5).

#### 5.3.1 Tuhkapölyn huuhtelu

Projektin ensisijaiseksi tavoitteeksi asetettiin huuhdella rekan ulkopinnoilta suurin osa tuhkapölystä kuljettajan altistumisajan ja -määrän vähentämiseksi. Lisäksi huomioitiin liikenneturvallisuus-, työviihtyvyys- ja siisteysnäkökulmat, joiden vaikutus ulottuu kuljettajan lisäksi myös muihin työntekijöihin.

Rekkapesurin ensimmäisiä koekäyttöjä taltioitiin videolle (Kuva 12). Koekäytöissä olivat mukana kuljettaja, suunnittelijoita, toteuttajia ja työturvallisuushenkilökuntaa. Erään videolla esiintyvän Tampereen Energiantuotannon työntekijän kommentti tiivistä erinomaisesti projektista jälkikäteen saadut palautteet, se on ihan hyvä. Tavoite voitiin siis tyytyväisinä tulkita saavutetuksi.



KUVA 12. Pesukaaren vesisuihku videolta (Kuva: Marko Rauta 2015)

### 5.3.2 Budjetti

Projektin suunnittelun alussa määriteltiin sille myös tavoitteeksi kohtuullinen hinta, jonka ylärajaksi arvioitiin kymmenen tuhatta euroa.

Alkuvaiheessa pystyttiin omaan ammattiosaamiseen luottaen arvioimaan karkeasti materiaalikuluiksi muutamia tuhansia euroja. Suurimmat lisäkustannukset tiedettiin tulevan ohjauskotelosta ja asennustöistä, jotka jälkikäteen osoittautuivat lähes samansuuruisiksi.

Materiaalivalintojen osalta kustannuksia saatiin laskettua muun muassa jättämällä pois kaksinkertainen veden suodatus, korvaamalla pesukaaren ruostumatonta terästä raudalla, koepukissa messingillä, yksinkertaistamalla pesun automatisointi, oikaisemalla putki seinien läpi ja hylkäämällä paineilmatoinen rekan jälkikuivaus. Säästöjä saatiin myös tekemällä itse osa mitoituksista, asennuskuvista ja tarjouspyynnöistä.

Pesukaaren magneettiventtiilin kela paloi tuntemattomasta syystä kahden viikon käytön jälkeen, joka aiheutti 10 000 euron budjetin ylityksen lähes viidellä eurolla (Taulukko 4). Tätä vastoin käymistä lukuun ottamatta voidaan todeta, että projektin budjetti osui oikeaan ja tavoite voitiin täten myöten tulkita täytetyksi.

TAULUKKO 4. Pesukaaren valmistuskustannukset

Kustannushinta	Kuvaus
4 852,96	Ohjauskotelo ja asennus
4 490,00	Pesukaari ja asennus
260,90	Timanttiporaus
182,98	Putkitarvikkeita
102,00	Sähköasennus
34,00	Instrumenttiasennus
25,96	Hitsattava laippa DN50 musta
16,29	Venttiili SK/SK 1/2 PN 40 AISI 316
11,93	Levyl. 1092/1 DN50 PN40 S235
11,32	Käyriä ST/SR
9,08	Palloventtiili messinkiä SK 3/4 DN 20
5,02	HST-kannake BRS M8/M10 56-61
1,00	Kartio D1 60.3MM D2 48.3MM X 2,6 MM
0,99	Palloventtiili DN50 PN40 Hitsattava
<b>10 004,43</b>	

### 5.3.3 Aikataulu

Vaikka projektille ei sen kiireellisyydestä johtuen tehty erillistä aikataulua, asetettiin kuitenkin tavoitteeksi valmistaa rekkapesuri ennen vuosihuoltoseisokin päättymistä.

Suunnittelussa priorisoitiin tehtäviksi ensin työvaiheet, jotta on hankala toteuttaa voimailoksen ollessa käynnissä. Tällöin tuhkasiilon purkuhallissa ei voi liikenteen vuoksi olla juurikaan rakennustelineitä tai työvälineitä ja tila on ahdas. Lisäksi rekan lastausvaihe ja siitä aiheutuva tuhkapöly aiheuttavat työturvallisuussyistä väliaikaisen oleskelukiellon tilassa.

Työharjoittelu asennusvalvojana tuli päätökseen kesäseisokin loppuvaiheessa, jolloin osa asennustöistä oli vielä tekemättä. Seuraavan kerran syksyllä laituskäynnillä pesukaari oli jo toiminnassa, vaikka magneettiventtiilin sähköistys vielä olikin toistaiseksi toteutettu jatkojohdolla. Rekkapesuri saatiin siis toimintakuntoon suurin piirtein ajoissa, mutta lopulliset instrumentti- ja sähköasennustyöt saatettiin loppuun vasta syksyn aikana. Aikataulutavoite täyttyi tarkoitukseen nähden riittävän hyvin, mutta ei täysimääräisesti.

### 5.3.4 Lisätoiveiden täytyminen

Alkuperäiseen menetelmään verrattuna vähäinen paineilman-, sähkön- ja vedenkulutus oli mahdollista saavuttaa pesutapahtuman automatisoinnilla. Tällöin ensimmäisten koe-käyttöjen jälkeen voitiin hukkaveden minimoimiseksi säätää vedensyöttöajaksi sama kuin rekalta kuluu pesukaaren läpiajoon. Näin saatiin vähennettyä myös pesutyöhön kuluva aikaa ja parannettua työn ergonomiiaa poistamalla kokonaan fyysisesti raskas työvaihe. Täydellistä pesujälkeä ei valitulla tekniikalla kyetty saavuttamaan, mutta sille jätettiin optio projektin aikana syntyneiden kehitysehdotusten muodossa.

TAULUKKO 5. Projektin lisätoiveet

<b>TOIVEIDEN TÄYTTYMISEN ARVIOINTI ASTEIKOLLA 1 - 5</b>	
Vähäinen paineilman-, sähkön- ja vedenkulutus	4
Työn ergonomiiaa parantava	5
Työtä nopeuttava	4
Täydellinen pesu	3
<b>Keskiarvo</b>	<b>4</b>

## **5.4 Kehitysehdotukset**

Projektin aikana syntyi useita kehitysehdotuksia, joilla rekkapesurin ominaisuuksia ja oheistoimintoja voitaisiin kehittää. Seuraavissa kappaleissa käsitellään yksittäisiä ehdotuksia perusteluineen.

### **5.4.1 Paineenkorotuspumppu**

Suuttimen pesutehoon vaikuttaa pääasiassa kolme tekijää, jotka ovat paine, vesimäärä ja pesuetaisyys. Myös pesuveden lämpötilalla ja ennalta suoritettulla liotuksella on positiivisia vaikutuksia pesujälkeen (Lehtiniemi & Puumala 1993, 44)

Pesuveden lämpötilaan ei olosuhteista johtuen voida juurikaan vaikuttaa, mutta paineenkorotuspumpun avulla voitaisiin saavuttaa korkeampi paine ja vesimäärä. Tämä johtaisi edelleen mahdollisuuteen käyttää korkeapainepesuun tarkoitettuja suuttimia paremman pesujäljen saavuttamiseksi (Spray Products for the Car Wash Industry)

### **5.4.2 Suuttimien vaihto**

Pesukaaren huollon yhteydessä voitaisiin asentaa muutaman kuluneen suuttimen tilalle uudet aiempaa suuremmalla suutinreiällä. Tällä tavalla saadaan kokeiluperiaatteella lisättyä pesuun käytettävää vesimäärää siihen rajaan asti, jonka jälkeen alkaa vuorostaan paineen lasku vaikuttamaan pesutehoon negatiivisesti (Suutin - tärkeä osa prosessia)

### **5.4.3 Pesuaineen annostelu**

Rekkapesuriin voitaisiin asentaa ja automatisoida ajoneuvojen pesujärjestelmissä yleisesti käytetty pesuaineen annostelija.

Annostelija toimisi niin, että ensimmäistä kertaa ajettaessa tuhkarokka pesukaaren läpi levitetään liuotin. Tämän jälkeen annetaan liottimen vaikuttaa vaaditun ajan ja toista kertaa ajettaessa rekka pesurin läpi rekkapesuri toimii alkuperäisellä tavalla.

#### **5.4.4 Raapan reunasuihku ja napin siirto**

Rekkapesurin vajaan vuoden kestäneen käytön aikana kuljettaja oli huomannut, että ilmassa olevaa tuhkapölyä saadaan vähennettyä huomattavasti pitämällä rekkapesuria päällä myös lastauksen aikana. Tästä syntyi ehdotus pesutapahtuman aktivointinapin asentamisesta myös kuljettajan koppiin.

Edellä mainitulla tavalla pesukaarta käytettäessä se kuluttaisi myös huomattavasti suunniteltua enemmän vettä. Ideaa viedessä pidemmälle voitaisiin asentaa raapan ympärille erillinen suutinputki tuhkapölyn sitomiseksi ympäröivästä ilmasta lastaustilanteessa, jolloin kyseisellä menetelmällä voitaisiin parhaassa tapauksessa tehdä itse rekkapesuri ja suurin osa pölyntorjuntamenetelmistä tarpeettomiksi.

#### **5.4.5 Muiden ajoneuvojen pesu**

Tuhkarekan lisäksi, varsinkin kehitysehdotusten mahdollisesti toteuduttua, pesukaarella voitaisiin pestä myös muita ajoneuvoja. Tällaisia ovat esimerkiksi henkilökunnan omat autot sekä voimalaitoksella käytössä oleva Wille-merkkinen ympäristöhoitokone. Kertaalleen hylättyä ideaa paineilmatoimisesta jälkikuivauksestaikin voitaisiin tässä yhteydessä harkita uudemman kerran.

#### **5.4.6 Sprinkleri kuljettajan koppiin**

Rekkapesurin asennustöiden yhteydessä todettiin, ettei kuljettajan kopissa ole olemassa minkäänlaista palonsammutusjärjestelmää. Tilanne voitaisiin muuttaa asentamalla kopin lävistävään uuteen putkilinjaan sprinkleri työturvallisuuden parantamiseksi.

#### **5.4.7 Liittäminen DNA-järjestelmään**

Ohjauskotelon suunnittelun ja asennuksen yhteydessä jätettiin optioksi rekkapesurin kytkeminen Metso DNA-käyttöliittymään, jolla käyttöhenkilökunta operoi voimalaitokseen liittyviä prosesseja ja niiden parametreja valvomosta käsin.

## 6 POHDINTA

Projektin alussa tiedostetut riskit, kuten kiireellinen aikataulu, rajallinen budjetti, laajan alati muuttuvan kokonaisuuden hallinta ja asennustöitä vähäisempi kokemus suunnittelutöistä aiheuttivat lieviä suorituspaineita. Muun työn ohessa myös ennalta tuntematon työympäristö ja -yhteisö toimintatapoineen toivat omat haasteensa projektinhallintaan.

Jälkikäteen ajateltuna projektia olisi pitänyt alkaa valmistelemaan hyvissä ajoin, jolloin oltaisi ehditty muodostamaan selkeä konsepti, työnositus ja resursointi hankkeelle ennen vuosihuoltoseisokkia. Nyt projektille riittävät lähtötiedot keksittiin kuitenkin selvittää koepukin avulla, jonka ansiosta säästettiin huomattavasti aikaa matemaattisiin malleihin verrattuna. Tuhkarekan mitat ja purkutapahtuman olosuhteet saatiin selvitettyä onnistuneen tiedonhaun avulla, sillä seisokin aikana rekka ja kuljettaja eivät ole laitoksella.

Raportti työpaikkakäynniltä tuhkaa ajavien kuljettajien altistumisen arvioimiseksi auttoi selkeyttämään projektin päämäärää, kun taas avuliaat työtoverit auttoivat ymmärtämään jo olemassa olevia tuhkapölyntorjuntamenetelmiä ja niiden toimivuutta. Näiden tietojen, laitoksen sähköisessä muodossa olevan materiaalin ja tarjouspyyntöjen pohjalta osoittautui yllättävänkin yksinkertaiseksi saada suunniteltua lopullinen konsepti annetun budjetin rajoissa. Lisäksi toimintojen erottelu osakokonaisuuksiin edesauttoi suunnittelua huomattavasti.

Projektin lähtötietojen selvittämisen ja karsintaperusteisen konseptin muodostamisen jälkeen projektin loppuun saattamisen esteenä oli henkilöresurssien yhteensovittaminen muiden vuosihuoltotöiden kanssa. Tämä hoitui pääasiassa sähkö- ja kunnossapitomestareiden toimesta, mutta välillä päästiin itsekin soittelemaan viikonlopun väsyttämien alihankkijoiden perään.

Suunnittelutyökokemuksen puutteesta johtuen vei aikansa vaihtaa haalarit farkkuihin, mutta toisaalta roolin muuttaminen helpottui asennustyökokemuksen ansiosta. Olemalla itsekin mukana jokaisen työvaiheen organisoinnissa mahdollistettiin sujuva tiedonkulku kaikkien sidosryhmien, kuten muiden suunnittelijoiden, alihankkijoiden ja mestareiden välillä. Määräaikaisen työsuhteen päättymisen jälkeisenä aikana projektin toteuttajilla oli vielä hyödynnettävissään suunnittelun aikana tuotettu suullinen ja kirjallinen materiaali rekkapesurin valmistamiseksi.

Projektin lopputulokseen voidaan kokonaisuudessaan olla erittäin tyytyväisiä. Tuhkarekan kanssa tekemisissä sekä projektissa osallisina olleet tahot ovat antaneet kiitettävää palautetta, erityisesti tuhkarekan kuljettaja on ilmaissut olevansa kiitollinen toteutettuun pesujärjestelmään.

Harkitusti sijoitettujen viuhkasuuttimien muodostamasta peittoalueesta rekan pinnoille tuli optimaalinen, painetta oli riittävästi ja huuhtelujälki todettiin hyväksi. Komponenttien valinnat osoittautuivat yhteensopivuusnäkökulmasta oikeellisiksi ja samalla saavutettiin tavoiteltu kustannustehokkuus. Toiminta- ja huoltovarmuus vallitsevien olosuhteiden puitteissa toteutettiin mahdollisimman yksinkertaisella ja kestäväällä kokonaisrakenteella.

Kyseistä työtä tehdessä on opittu, että jo opiskeluiden aikana kannattaa kerätä mahdollisimman laajaa kokemusta tekniikan eri osa-alueilta. Samalla saattaa hahmottua näkemys, että mitä töitä haluaa tehdä tulevaisuudessa ja kokemuksen kautta kehtaa myös luottaa osaavansa asiat. Lukuisat tunnit tietokoneella 3D-mallinnusten, piirikaavioiden, asennuskuvien, painoarvotaulukoiden ja työturvallisuusmateriaalin parissa eivät mene hukkaan.

Projektin aloittamisen ajankohdan aikaistamisen lisäksi, ja mahdollistamana, olisi ensi kerralla kiinnittävä enemmän huomiota selkeään työnositukseen. Jatkuva epävarmuus seuraavista työvaiheista kasvattaa epäonnistumisen riskiä ja on ylimääräinen stressitekijä. Toisaalta paineensieto- ja harkintakyvyt kasvavat koettelemusten myötä.

Lopuksi haluan vielä välittää kiitokseni opinnäytetyöprosessissa apuna olleille henkilöille sekä perheelleni ja tyttöystävälleni alla olevat terveiset:

- *Trust me, I know what I'm doing.*

## LÄHTEET

Anttila P. 1998. Tutkimisen taito ja tiedonhankinta. 2. painos. Hamina: Akatiimi Oy.

Catalog 70 Metric. Spraying Systems Co. Tuoteluettelo. Luettu 2.6.2015.  
<http://www.spray.com/cat70m/index.aspx>

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. 6. korjattu painos. Helsinki: Otatieto.

Jumpponen, M. 29.3.2011. Loppuraportti työsuojelurahastolle: Tuhkan sisältämät haitalliset kemialliset aineet ja mineraalit - Altistuminen ja torjunta. Työterveyslaitos.

Kattilatyypit. 2015. Tampereen Sähkölaitoksen perehdytysmateriaali. Luettu 25.5.2015.

Kerzner, H. 1998. In Search of Excellence in Project Management. Van Nostrand Reinhold. New York.

Lehtiniemi & Puumala. 1993. Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina. Vakolan tutkimuslause 67. Maatalouden tutkimuskeskus. Vihti.

Scania Mining Specification. Scania G 400 6x4 Heavy Duty. Tuote-esite. Luettu 4.6.2015.  
[http://www.scania.com.au/Images/ScaniaG400\\_6x4HeavyDuty\\_Mining\\_FINAL\\_WEB\\_tcm51-336442.PDF](http://www.scania.com.au/Images/ScaniaG400_6x4HeavyDuty_Mining_FINAL_WEB_tcm51-336442.PDF)

Spray Coverage Calculator. Spraying Systems Co. Mitoitussovellus. Luettu 4.6.2015.  
[http://www.spray.com/sprayware/spray\\_coverage\\_calculator.aspx](http://www.spray.com/sprayware/spray_coverage_calculator.aspx)

Spray Products for the Car Wash Industry. Spraying Systems Co. Tuote-esite. Luettu 2.6.2015. [http://www.spray.com/literature\\_pdfs/C25MA\\_Spray\\_Products\\_Car\\_Wash.pdf](http://www.spray.com/literature_pdfs/C25MA_Spray_Products_Car_Wash.pdf)

Suutin - tärkeä osa prosessia. SGN-Tekniikan esite. Luettu 2.6.2015.  
[http://www.sgntekniikka.fi/files/sgnieminen/suuttimet/Suutin\\_tarkea\\_osa\\_prosessia.pdf](http://www.sgntekniikka.fi/files/sgnieminen/suuttimet/Suutin_tarkea_osa_prosessia.pdf)

Sähkölaitoksen historia 1888 - 1899. Tampereen Sähkölaitoksen intranet. Luettu 25.5.2015.  
<http://sahkolaitosintra.tac.fi/sahkolaitos/historia/1888>

Työturvallisuuslaki 738/2002.

Vaikutus ilmastoon. Tampereen Sähkölaitoksen kotisivu. Luettu 27.5.2015.  
<https://www.tampereensahkolaitos.fi/yritysjaymparisto/energiantuotanto/vaikutusilmastoon/>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Finlex 12.6.2008/400. Luettu 8.6.2015. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>

Vihreiden askelten visio. Tampereen Sähkölaitoksen kotisivu. Luettu 25.5.2015.  
<https://www.tampereensahkolaitos.fi/yritysjaymparisto/toimintamme/visio>

Voimalaitokset. Tampereen Sähkölaitoksen kotisivu. Luettu 25.5.2015.  
<https://www.tampereensahkolaitos.fi/yritysjaymparisto/energiantuotanto/voimalaitokset>

Välimäki, P. 26.9.2013. Blogi: Ilmastokäännö Tampereella. Tampereen kaupunki. Luettu 27.5.2015. <http://ilmasto.org/kirjoitukset/ilmastokaanne-tampereella>

Willberg E. 2009. Teoreettisen viitekehyksen rakentaminen. Praktikumi. Jyväskylän yliopisto. Luettu 30.7.2015.  
<https://www.jyu.fi/edu/laitokset/eri/opiskelu/opiskelu-info/prosem/viitekehys>

Ympäristölupa. 2005. Lupapäätös LSY-2004-Y-207. Helsinki: Länsi-Suomen ympäristölupavirasto. Luettu 25.5.2015.

Yritys ja ympäristö. Työnhaku. Tampereen Sähkölaitoksen kotisivu. Luettu 25.5.2015.  
<https://www.tampereensahkolaitos.fi/yritysjaymparisto/tyonhaku>

## LIITTEET

Liite 1. Työpaikkakäynti Naistenlahden voimalan tuhkaa ajavien kuljettajien altistumisen arvioimiseksi

1 (2)

*Työpaikkakäynnillä tutustuttiin turpeen ja puun polton yhteydessä syntyvän tuhkan käsittelyyn voimalaitoksella. Tarkoituksena oli lähinnä arvioida kuljettajien altistumista tuhkan sisältämille aineille ja altistumisen vähentämistä.*

*Kyseessä on leijupettilaitos, jossa turpeen poltto on aloitettu vuonna 1979. Nykyisin 50 - 60 % energiasta saadaan puupolttaineesta ja 40 - 50 % turpeesta. Tuhkaa ajetaan yhden työpäivän aikana keskimäärin neljä kuormaa. Yhden kuorman suuruus on 20 000 kg. Sijoituspaikka on Tarastenjärven jätteenkäsittelylaitos. Sähkölaitos seuraa tuhkan koostumusta kuljettajan kolmesti viikossa ottamien tuhkanäytteiden avulla kaatopaikkakelpoisuuden arvioimiseksi.*

*Selvityksen taustamateriaalina oli TTL:n tutkimus Tuhkan sisältämät haitalliset kemialliset aineet ja mineraalit, Altistuminen ja torjunta. Työpaikkakäynnillä työntekijät selvittivät eri työvaiheet.*

### **Lastauspaikalla tehtävät työt**

- Auton pesu osittain jokaisen lastauksen jälkeen (hytti, ikkunat ja lastaustilan lattian etuosa) ja kokonaan kahden lastauksen jälkeen (kastelu, harjaus, huuhtelu)
- Koko pesuun kuluu aikaa noin tunti, josta huomattava aika niska taakse taipuneena ja yläraajat kohoilla (ergonomista työskentelyä haittaa tilan ahtaaus)

### **Kuljetinhuone**

- Tässä tilassa sijaitsevat päältä avattavat kuljettimet, jossa tuhkaan sekoitetaan vesi
- Kannen avautuessa puuttuu automaattinen pysäytys- ja aukipitomekaniikka
- Kuljettajan tehtävänä on puhdistaa siivekkeet tukkiutumien ehkäisemiseksi petkeleen avulla (aikaa siihen menee 30 - 60 min), raskas, etukumara työasento
- Lattialla kaksi kompastumisvaaraa aiheuttavaa kiinteää mutteria

### **Valvontatila**

- Noin kuusi minuuttia kestävä lastaus ohjelmoidaan ahtaasta valvontatilasta
- Lavan päälle lasketaan kumireunainen ”raappa”, joka estää tuhkan leviämistä sen laskeutuessa siilosta lavalle
- Kuormauksen ajan ja viisi minuuttia sen jälkeen ovat käytössä imurit kummasakin päässä lastaustilaa
- Kuljettajan tehtävä on seurata ja huolehtia riittävästä tuhkan kuljetuksesta käytösteen mukaan
- Noin 15 minuutin kuluttua kuljettaja jatkaa töitä autolla
- Kuorman takaosaa kastellaan ylätasanteelta vesiletkulla
- Pressu siirtyy kuorman suojaksi hydraulisesti

(jatkuu)

**Auton ominaisuudet**

- Kuljettajat pitivät autoa ominaisuuksiltaan hyvänä
- Sisäilman suodattimet on vaihdettu 15 000 km välein
- Istuinten materiaali on kangasta, joka imee pölyä
- Raapan tiiviys vaatii kehittelyä

**Käytössä olevat henkilökohtaiset suojaimet**

- Tuhkalle altistumista liittyy kaikkiin työvaiheisiin, myös jätteenkäsittelylaitoksella purkutilanteessa sääolosuhteista riippuen
- Suojahaalari
- Suojakäsineet, jotka vaihdetaan toistuvasti
- Moottoroitu hengityssuojain (ABEK+P3) suosituksen mukaisella suodattimella
- P3-kevytsuojain
- Työvuoron jälkeen sauna

**Myönteisiä huomioita**

- Työntekijät ovat voineet olla kehittämässä teknisiä ratkaisuja ongelmien poistamiseksi.
- Henkilökohtaisia suojavarusteita on saatavilla tarpeen mukaan.
- Työ on itsenäistä ja vastuullista.

**Suosituksia altistumisen vähentämiseksi ja turvallisuuden lisäämiseksi**

- Henkilökohtaisten suojainten huolellinen käyttö
- Tulipaloturvallisuuden ym. vuoksi suositellaan turvahälytintä ja sammutinta kuljetinhuoneeseen. Paikallaolon varmistuksen kehittäminen tapaturman varalta
- Ilmastoinnin tehostus lastauspaikalle on suunnitteilla (tehokkaampi moottori ja imusuunnan uusi arviointi)
- Valvontakopin laajennus
- Raapan reunakumien korjaus
- Käsienpesupiste valvontakopin tuntumaan tai muuhun sopivaan paikkaan
- Painepesuri auton pesua helpottamaan
- Altistumiskokeet /alumiini, arseeni, magnaani ja lyijy
- ASA-rekisteri
- Uuden työntekijän työhönsopivuutta arvioitaessa kiinnitetään erityisesti huomiota ihon ja hengitysteitten terveyteen ja suojainten kanssa työskentelyn omaksumiseen
- Määräaikaistarkastukset kolmen vuoden välein kokonaisvaltaisina (altistumiskokeitten tiheys määräytyy tulosten perusteella)
- Auton hytin istuinmateriaali
- Auton sisäilmasuodattimien vaihto rasvauksen yhteydessä kuukausittain

## Liite 2. Selvitys tuhka-aseman rekkapesupisteen toteutettavuudesta.

1 (2)

## Ongelma:

- Naistenlahden voimalaitoksen tuhkasiilo tyhjenetään valuttamalla tuhka rekan kyytiin. Pudotusaukon tiivistyksestä, kattoimureista ja tuhkan kostutuksesta huolimatta rekka likaantuu. Paikallisyrityksen tarjous oli 30 000 euroa, joka on aivan liian kallis.

## Ratkaisu:

- Tuhkasiilon tyhjennyshallin päädyssä on I-raudasta tehty ylösalainen U-tukikaari, johon olisi mahdollista integroida rekanpesuyksikkö.

## Pointteja:

- Putkien tulee kulkea suutinpäistään tulovesiliittimeen nähden alaviistoon, jotta ylijäämävesi valuu käytön jälkeen pois putkista. Näin putket ja liittimet eivät pääse halkeamaan jäätyessään pakkaskeleillä laajenevan veden vaikutuksesta.
- Tuhkasiilon tyhjennystilassa on jo olemassa paloposti, jota käytetään nykyisin suihkusuuttimella tuhkarakan pesemiseen (kun ensin on levitetty pesuaine pumppupullosta). Tämän tulovesipisteen olemassa olevan paineen soveltuvuus painepesujärjestelmään tulisi selvittää, jolloin säästyttäisiin kalliin pumpun hankinnalta.
- Syöttöpaine tasataan jakamalla tulovesi useampaan (suuttimien lukumäärä) samansuuruisen yhteeseen. Tällöin huomioidaan etäimpien pisteiden mahdollinen painehäviö ja selvitetään sen kompensointimahdollisuuksia asentamalla ne tulovesiliittimeen nähden alas, jolloin painovoima tasaisi häviötä.
- Paikallisyrityksen tarjoama järjestelmä vaikuttaa ajatustasolla olevan ylimitoitettuna tehokas järjestelmä tuhkapölyn huuhtelemiseen rekan pinnoilta, koska tavoitteena ei ole viedä ajoneuvoa näyttelyyn (johtopäätös on tehty paikallisyrityksen esitteen ja mainosten pohjalta).
- Putkien ja liittimien jäätymishalkeilu voidaan estää myös putken sisään (tai ulkopuolelle eristeen alle, mutta huonommalla hyötysuhteella) asennettavalla itsesäätävällä sulanapitokaapelilla. Selvitettävä kulutus, mahdollinen säätö, aktivoitumislämpötila ja paineensietokyky.

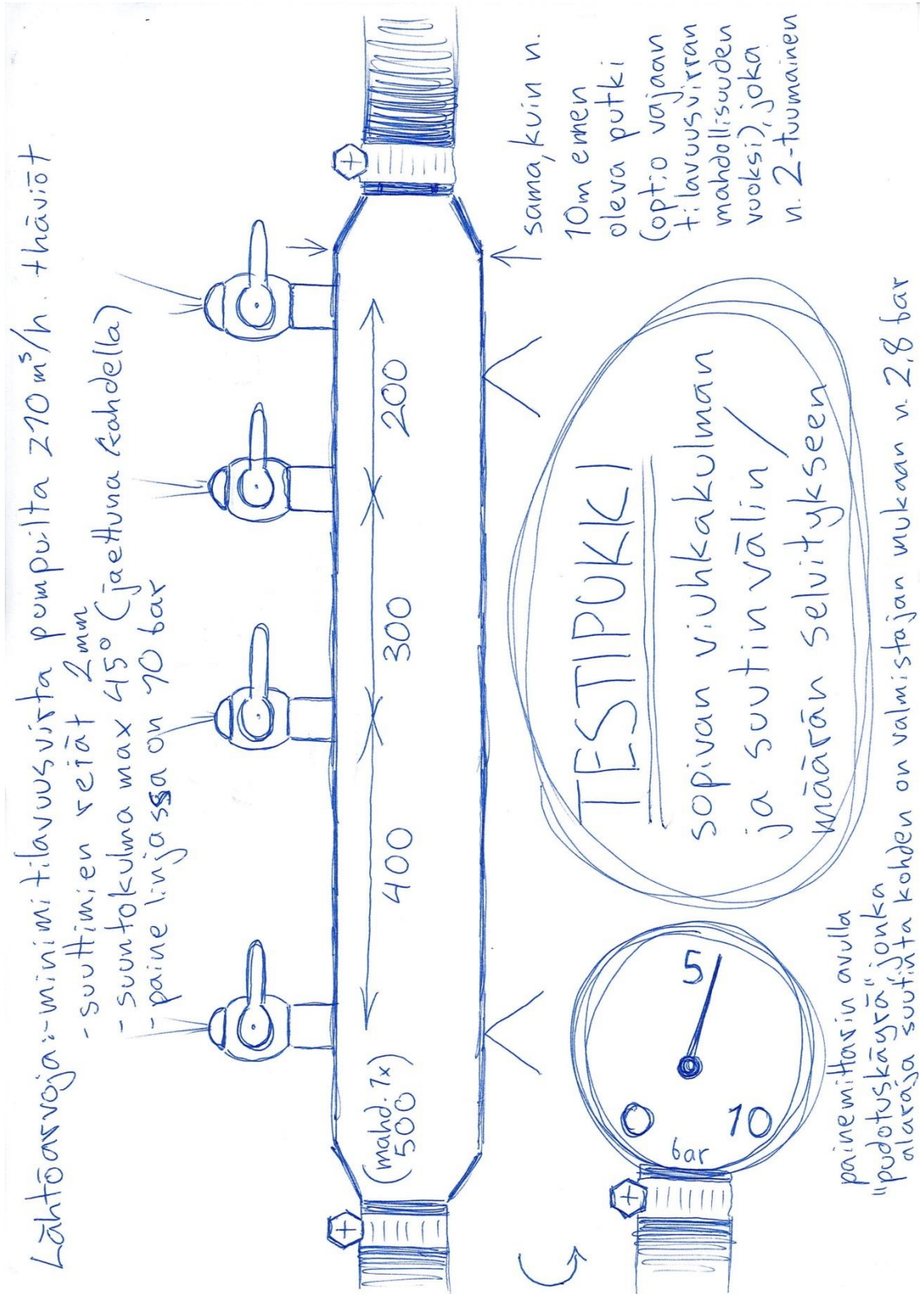
(jatkuu)

- Viuhkasuuttimet tulee asentaa hieman viistosti rekkaa kohden, jotta liikainen vesi ei pääse valumaan takaisin pestylle alueelle.
- Ylösalaisen U-tukikaaren mitat ovat sellaiset, että yläpuolelle jää tilaa noin 1200 mm ja sivuille 500 mm (todella karkeat arviot), jolloin yläpuolella olisi käytettävä kapeaviuhkaisempaa suutinta ja sivuilla leveämpää tai useampaa. Esitteistä löytyi 50- ja 145-astekulmaiset viuhkasuuttimet.
- Mikäli tilasta löytyy paineilmaa, voidaan vesisuuttimien jälkeen ”pesulinjalle” asentaa paineilmasuuttimet rekkan kuivumisen nopeuttamiseksi. Toinen vaihtoehto on ajaa rekka takaisin sisätilaan kuivumaan, mutta tällöin rekkaa joudutaan ajamaan edestakaisin ja sisällä leijuva tuhka tarttuu mahdollisesti uudelleen rekkaan.
- Järjestelmään olisi hyvä rakentaa jollakin liipaisimella (joka toimii mahdollisesti viiveellä) tai kaukosäätimellä toimiva yhteinen kytkin vedelle ja paine-ilmalle.

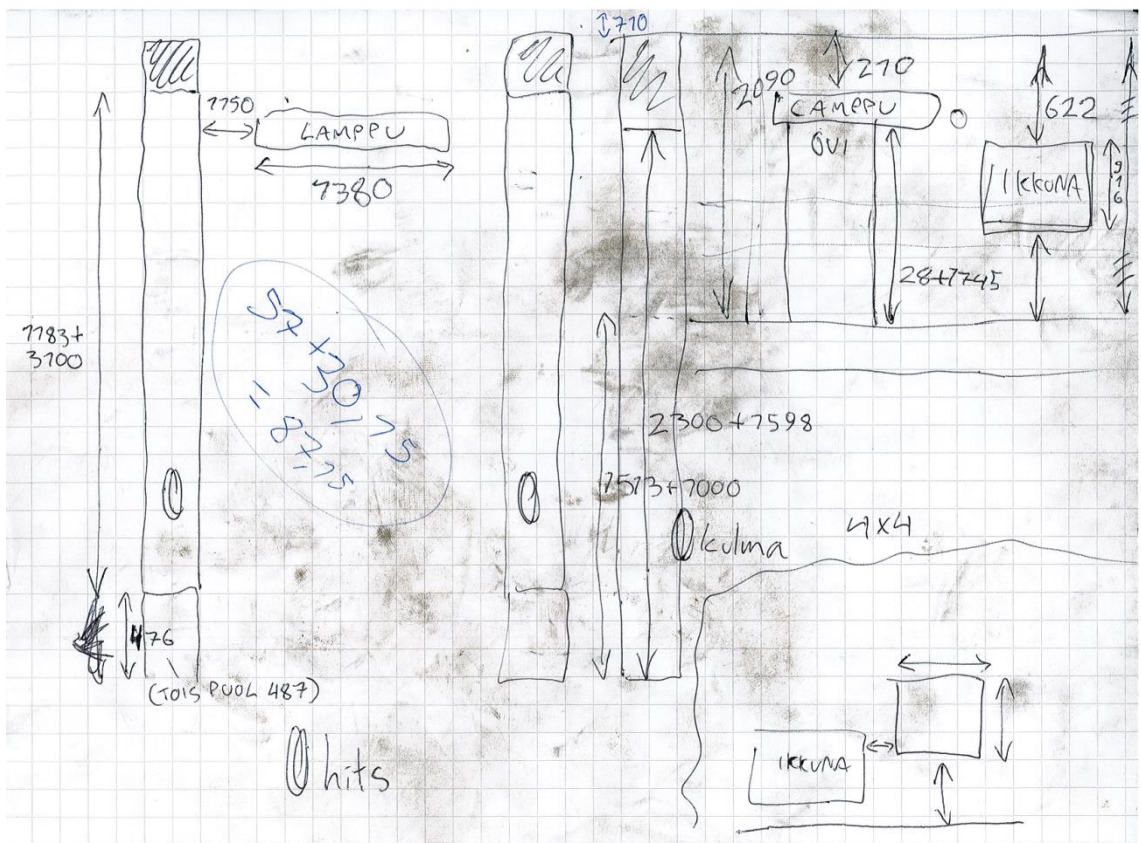
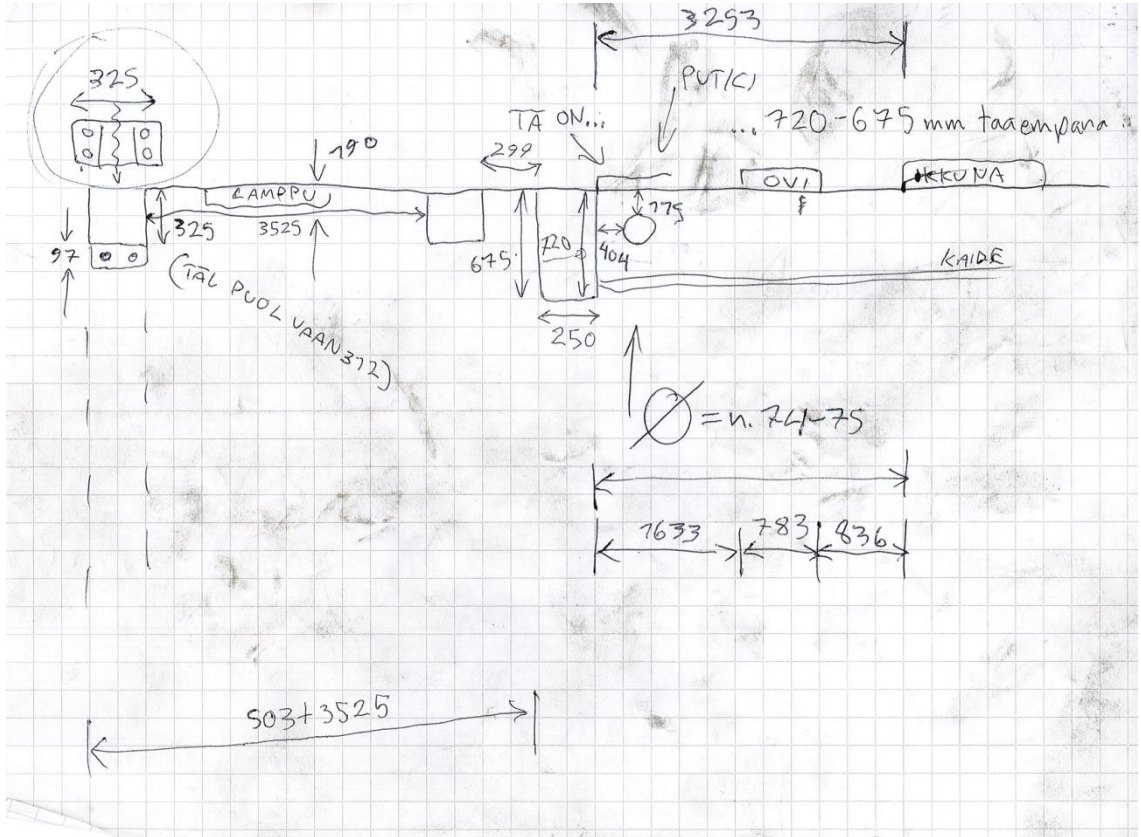


- Kuvassa (yläpuolella) havainnollistettuna veden ja ilman virtaus tyhjennyshallissa.
- Useampisuuttimisessa putkessa on selvitettävä paineen taseus kuhunkin ulostuloon.

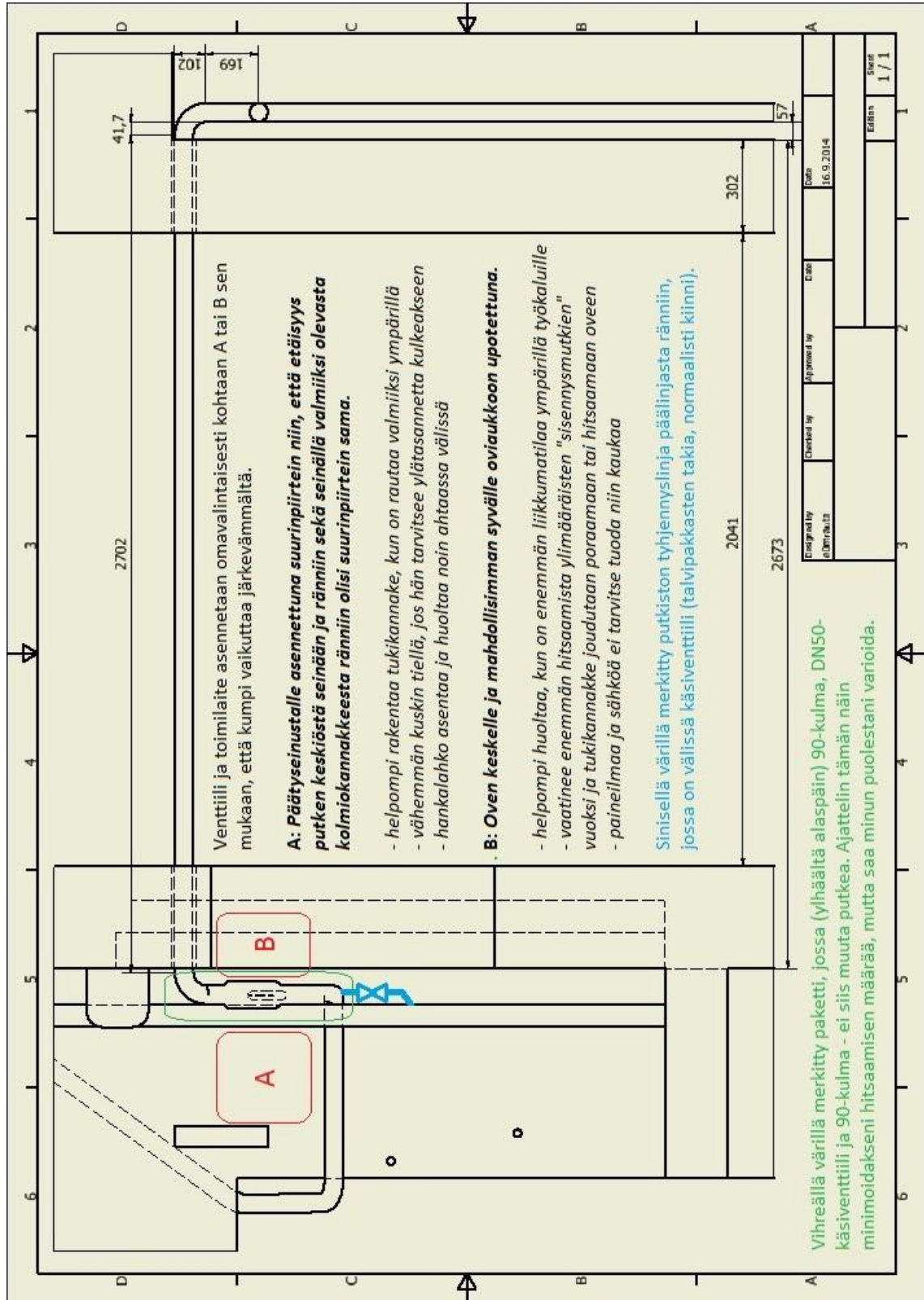
Liite 3. Koepukin valmistuskuva



Liite 4. Mittaukset 3D-mallinnukseen

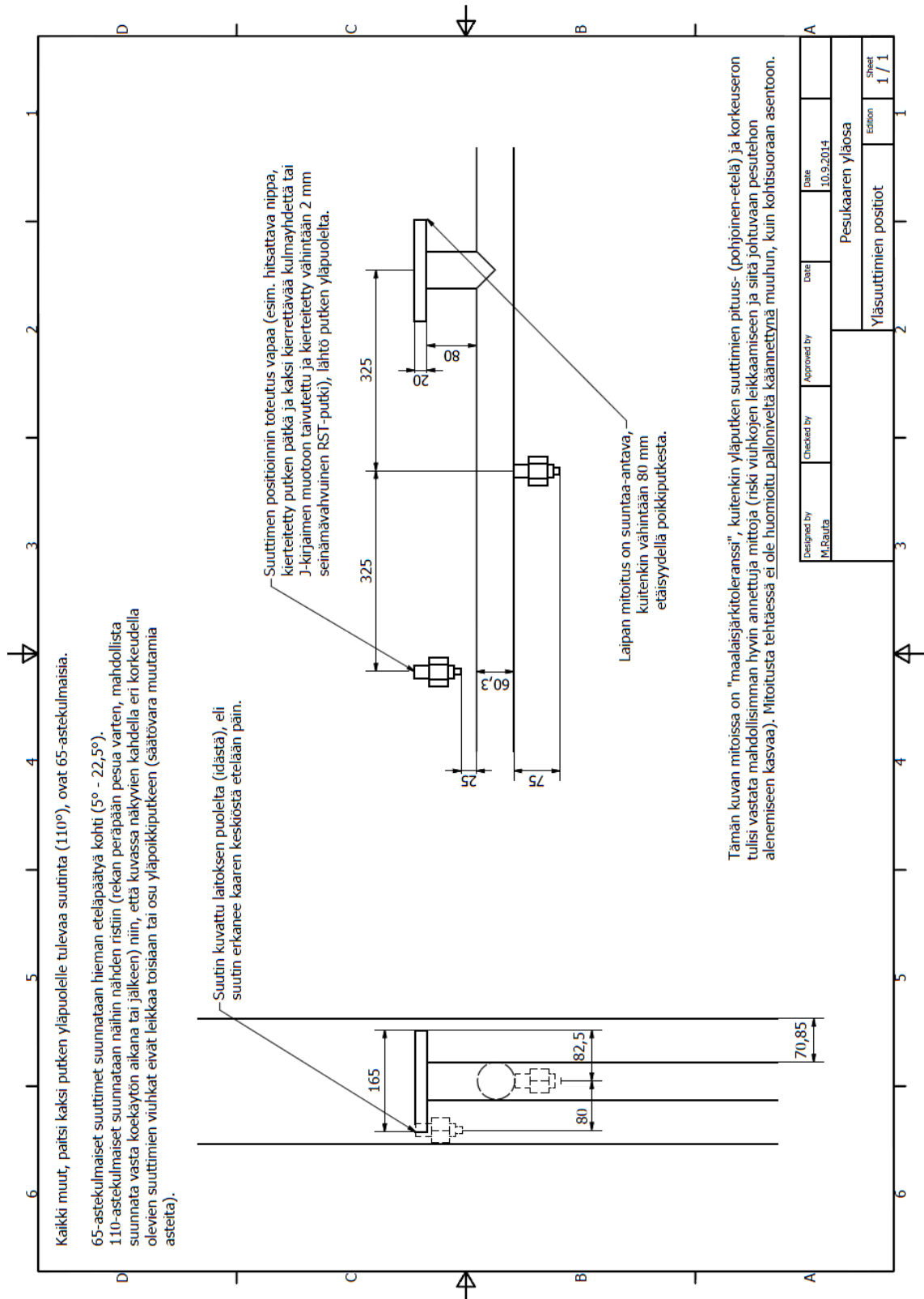


## Liite 5. Läpiviennin, venttiilin ja toimilaitteen asennus

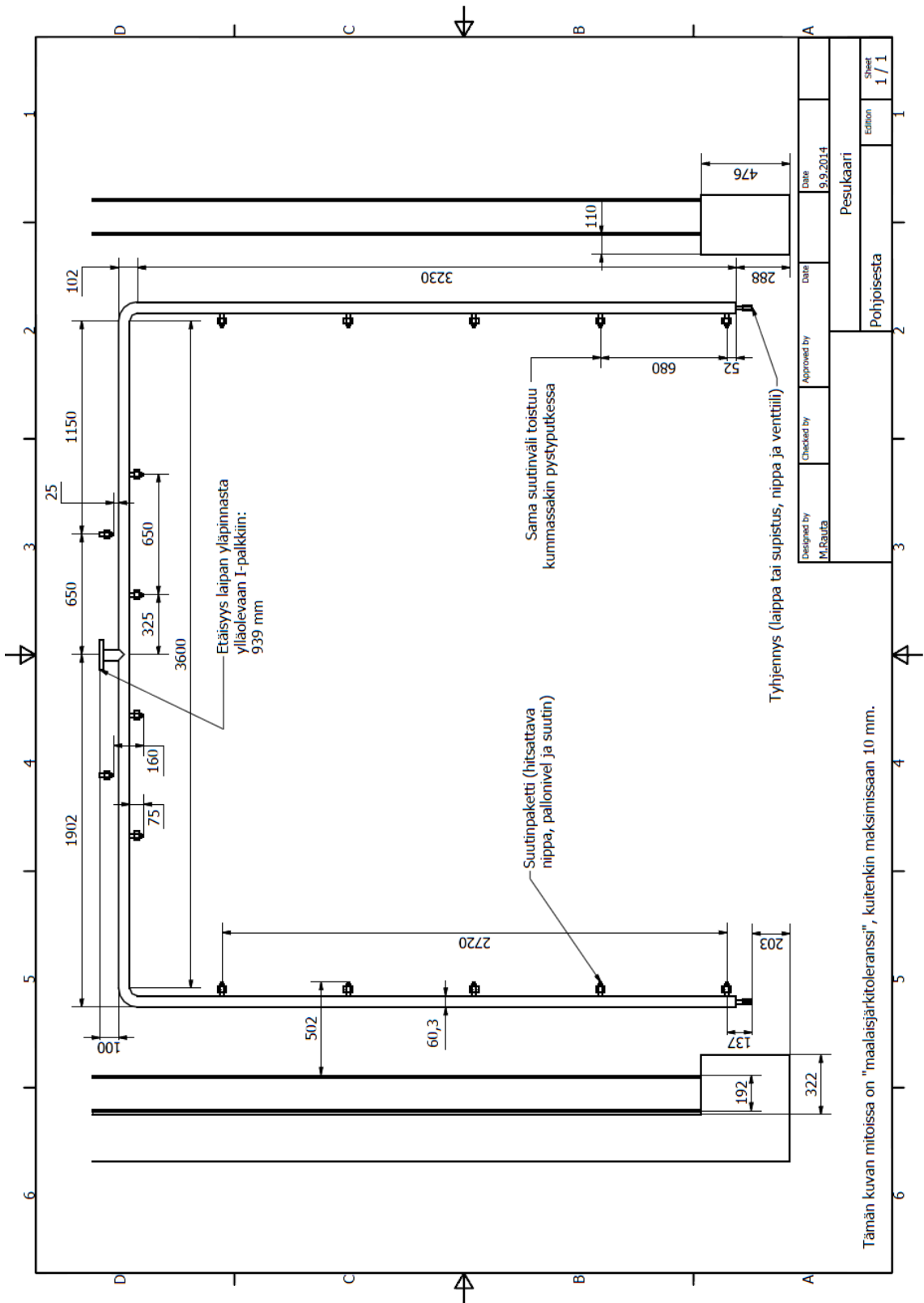


## Liite 6. Pesukaari pohjoisesta, suuttimien positiot

1 (2)

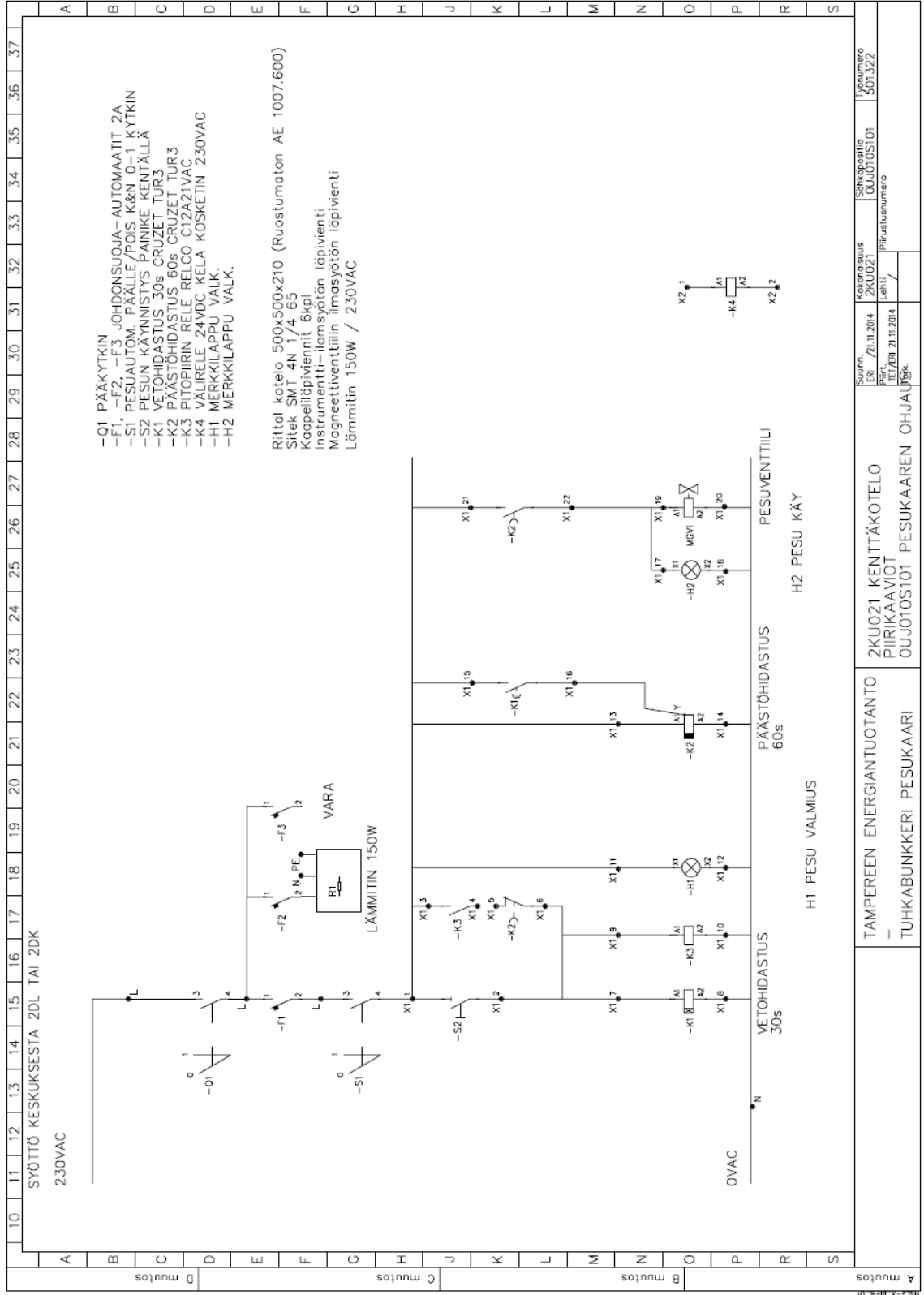


(jatkuu)









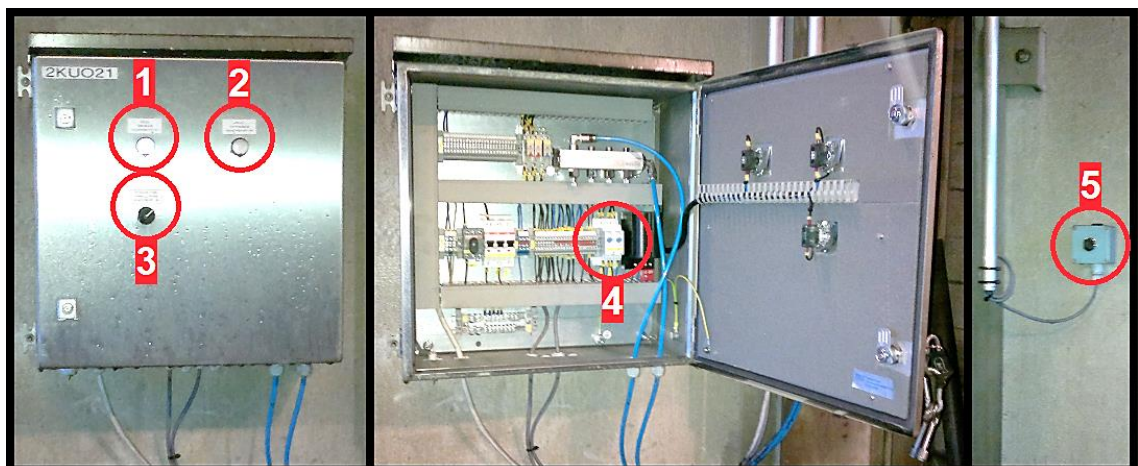
## REKKAPESURIN KÄYTTÖOHJE

Tuhkarekan pesukaaren automaatio laitetaan päälle kääntämällä kytkintä (3), jonka jälkeen syttyy pesuvalmiuden merkkivalo (1).

Pesukaaren toiminta käynnistetään painonapista (5), jonka jälkeen syttyy merkkivalo (2).

Veden syöttö alkaa noin 30 sekunnin viiveellä, jonka verran kuljettajalla on aikaa siirtyä rekan ohjaamoon. Tämän jälkeen rekka tulee ajaa noin 1,5 minuutin aikana pesukaaren läpi, jonka jälkeen veden syöttö loppuu. Releillä voidaan muuttaa aikaviiveitä (4).

Pesutapahtuman päätteeksi järjestelmä palautuu alkutilaansa.



- |                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Pesuvalmius            | 2. Pesu käynnissä           |
| 3. Automaatio päälle/pois | 4. Aikareleiden säätöruuvit |
| 5. Painonappi             |                             |

(jatkuu)

## REKKAPESURIN HUOLTO-OHJE

Ohjauskotelo ei vaadi erillistä huoltoa.

Pallonivelillä voidaan muuttaa suutinkulmia.

Magneettiventtiilin toimivuus havaitaan normaalikäytön yhteydessä, käsiventtiilien toimivuus tulee tarkastaa puolivuositain.

Pesukaaren suuttimet tulee tarkastaa päivittäin silmämääräisesti mahdollisten tukkeutumien varalta, jotka voidaan poistaa suutinmateriaalia pehmeämmällä tikulla. Lisäksi suuttimia tulee seurata kuukausittain korroosion tai kulumisen varalta (alla oleva kuva), jolloin suuttimet tulee uusia.



<b>Vianetsintä, käyttöpaineen kasvun vaikutukset</b>						
Kapasiteetti	Suihkukulma	Pisarakoko	Suuttimen kuluminen	Suihkun taseisuus	Virtausnopeus	Iskuvoima
Kasvaa	*	Laskee	Kasvaa	Kasvaa	Kasvaa	Kasvaa
<i>*kasvaa tiettyyn rajaan saakka, jonka jälkeen laskee</i>						