

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikka

Denis Sippel

MEKAANISEN  
SUUNNITTELU

TIIVISTEEN

SULKUNESTEJÄRJESTELMÄN

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2018



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2018**  
**Kone- ja tuotantotekniikan koulutus-**  
**ohjelma**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)  
Denis Sippel

Nimeke  
Mekaanisen tiivisteiden sulkunestejärjestelmän suunnittelu

Toimeksiantaja  
Tiivistetekniikka Oy

**Tiivistelmä**

Tämä opinnäytetyö oli tuotekehitysprojekti, jonka tarkoituksena oli suunnitella sulkunestejärjestelmä Tiivistetekniikka Oy:n valmistamille kaksitoimisille LP-liukurengastiivisteille.

Tässä työssä perehdyttiin erilaisten mekaanisten liukurengastiivisteiden ja niiden tiivistevesijärjestelmien toimintaan ja rakenteisiin. Tämän jälkeen käytiin toimeksiantajan kanssa läpi vaatimukset ja aikataulu työlle, minkä jälkeen aloitettiin laitteen suunnittelu. Työn lopuksi laadittiin dokumentit laitteen tuotteistamiseksi ja tilattiin komponentit prototyypin valmistamiseksi.

Pitkän ideoinnin ja lukemattomien luonnosten lopputuloksena saatiin kehitettyä sulkunestejärjestelmä, joka täytti sille asetetut vaatimukset ja valmistui aikataulussa.

Kieli  
suomi

Sivuja  
Liitteet  
Liitesivumäärä

58

**Asiasanat**

Mekaaninen liukurengastiiviste, sulkunestejärjestelmä, suunnittelu



**THESIS**  
**April 2018**  
**Degree Programme in Machine and Production Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author (s)  
Denis Sippel

Title  
Designing a Seal Supply System for a Mechanical Seal

Commissioned by  
Tiivistetekniikka Oy

Abstract

This thesis was a research and development project for Tiivistetekniikka Oy and its goal was to design a new seal supply system for their double acting mechanical LP-seals. In order to design this new system, time was spent studying the structure and operation of different kinds of mechanical seals and seal supply systems. After this, a meeting was booked with the client where the goals and schedule for the project was set and since then the designing of this product was begun. At the end of the project all the necessary documents to manufacture the system were created and an order was placed for the components to manufacture the first prototype of this system. As a result of long brainstorming and countless sketches the new seal supply system that met the requirements was developed in time.

Language  
Finnish

Pages 58  
Appendices  
Pages of Appendices

Keywords

mechanical seal, seal supply system, designing

# Sisältö

1	Johdanto .....	6
2	Tiivistetekniikka Oy .....	7
3	Tuotekehitystoiminta .....	8
3.1	Tuotekehityskyky .....	8
4	Suunnitteluprosessi VDI 2222.....	9
4.1	Esitutkimusvaihe .....	9
4.1.1	Tuoteohjelma ja elinkaari .....	9
4.1.2	Tuoteidea ja tuote-ehdotus .....	10
4.1.3	Tuotevaatimukset .....	11
4.2	Luonnosteluvaihe.....	11
4.2.1	Toimintorakenne .....	12
4.2.2	Ratkaisuvaihtoehdot ja niiden arviointi.....	12
4.3	Kehittelyvaihe .....	12
4.4	Viimeistely ja tuotekustannukset.....	13
5	Materiaalinvalintaprosessi.....	14
6	Mekaaninen liukurengastiiviste .....	15
6.1	Rakenne .....	15
6.1.1	Yksitoiminen tiiviste .....	19
6.1.2	Kaksitoiminen tiiviste .....	21
6.1.3	Kaksitoiminen Nonflow™-liukupoksitiiviste .....	22
7	Tiivisteiden sulkunestejärjestelmät.....	23
7.1	Sulkunestelaitteissa käytetyt materiaalit .....	23
7.2	Kytola® SLM.....	23
7.3	Bestflow .....	24
7.4	NF Seal supply system .....	25
7.5	Vakiovirtausventtiili CFD-R3/8” .....	27
8	Toteutusvaihe .....	28
8.1	Esitutkimus .....	28
8.2	Luonnostelu .....	30
8.2.1	Toimintorakenne .....	30
8.2.2	Sulkunestejärjestelmän luonnostelu .....	30
8.2.3	Jalustan luonnostelu .....	32
8.3	Kehittelyvaihe .....	34
8.3.1	Sulkunestejärjestelmä.....	35
8.3.2	Valmistettavuus ja kokoonpano .....	45
8.3.3	Liitinrakennelmat.....	46
8.3.4	Paineakku ja kiinnike .....	46
8.3.5	Putkikiinnike ja jalusta.....	47
8.3.6	Asennuslevy .....	48
8.3.7	Suojakotelo .....	48
8.4	Viimeistely.....	49
8.4.1	Koeponnistus .....	52
8.4.2	Dokumentointi.....	54
8.4.3	ERP .....	54
8.4.4	Asennusohjeet .....	54
9	Pohdinta.....	57
10	Lähteet.....	58

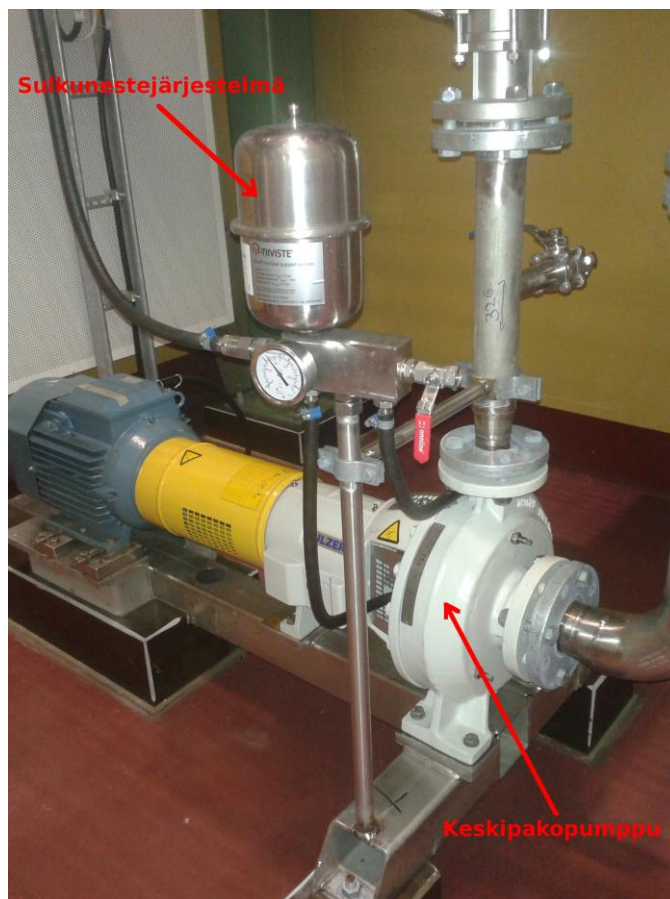
## Lyhenteet

ERP	Enterprise Resource Planning on yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä
Ilmakehän puoli	Mekaanisen tiivisteiden osat, jotka eivät ole kosketuksissa prosessineiden kanssa
Prosessineide	Prosessilaitteen käsittelemä neste
Skitsi	Luonnos
Sulkuneide	Mekaanisen tiivisteiden sisällä oleva liukupintoja jäähdyttävä vesi
Tuotteen puoli	Mekaanisen tiivisteiden osat, jotka ovat kosketuksissa prosessineiden kanssa

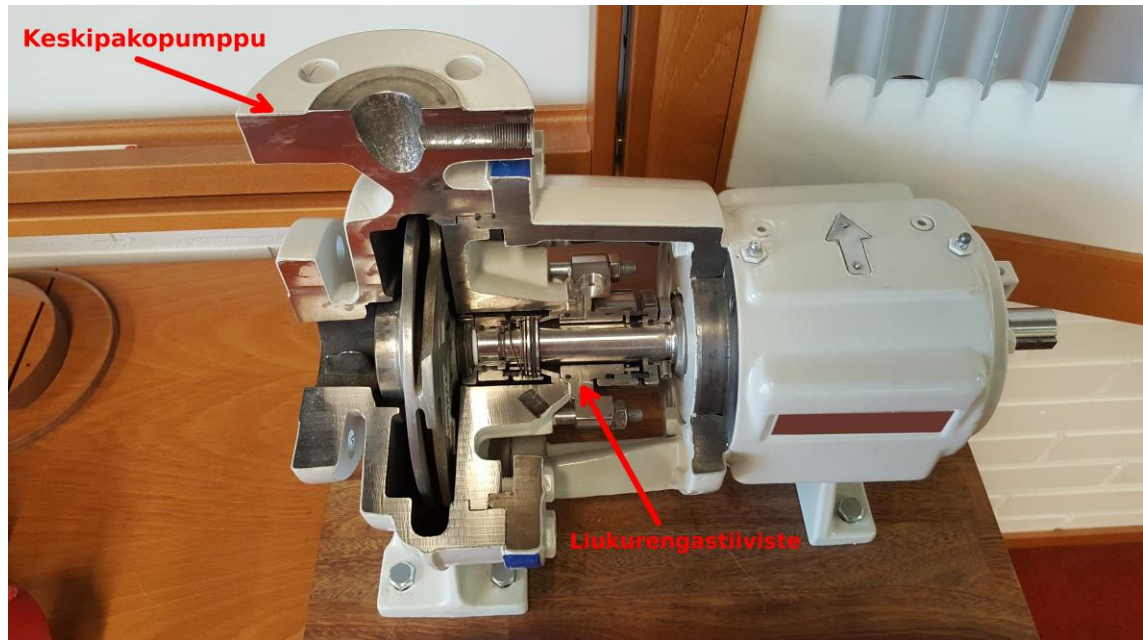
# 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella sulkunestejärjestelmä (Kuva 1) Tiivistetekniikka Oy:n valmistamille kaksitoimisille ”liukupoksi”- eli LP-liukurengastiivisteille (Kuva 2) ja laatia dokumentit niiden tuoteistamiseksi. Tässä työssä perehdyttiin erilaisiin tiivistevesijärjestelmiin ja mekaanisten liukurengastiivisteiden rakenteisiin.

Tämä työ tehtiin toimeksiantona yritykselle, joka katsoi tarpeelliseksi uudistaa tuotevalikoimaansa sulkunestejärjestelmien osalta. Työ aloitettiin tapaamisella, jossa käytiin läpi tuotekehitysprojektin tavoitteet, joiden pohjalta sulkunestejärjestelmää alettiin suunnittelemaan. Työn lopuksi laadittiin yhteenveto projektista.



Kuva 1. Yrityksen valmistama Sulkunestejärjestelmä (Tiivistetekniikka Oy 2017).



Kuva 2. LP-liukurengastiivisteen sijainti keskipakopumpussa (Tiivistetekniikka Oy 2017).

## 2 Tiivistetekniikka Oy

Tiivistetekniikka Oy on valtakunnallisesti toimiva prosessiteollisuuden tiivisteratkaisuja tarjoava yritys. Sillä on tiivisteratkaisuista yli 40 vuoden kokemus. Yritys on osa Etola Yhtiöt -konsernia. (Tiivistetekniikka Oy 2018.) Sen liikevaihto oli vuonna 2015 12,7milj € ja se työllistää 18 henkilöä. (Asiakastieto Oy 2018). Yritys valmistaa, huoltaa ja myy erilaisia prosessiteollisuuden tiivisteitä ja edustaa saksalaista EagleBurgmann-yhtiötä. (Tiivistetekniikka Oy 2018.)

### 3 Tuotekehitystoiminta

Tuotekehitystoiminnan päämääränä on kehittää tuotteita tunnettuja ratkaisuja yhdistelemällä ja luoda tästä kokonaisratkaisu, joka täyttää asiakkaiden vaatimukset. Nykyään tuotekehitys on hyvin asiakaslähtöistä, eli myös asiakkaat voivat osallistua tuotekehitykseen. (Kleimola ym. 2014, 9.)

#### 3.1 Tuotekehityskyky

Tuotekehitysprojekti on ainutkertainen, minkä takia tuotekehitystiimin ammattitaito ratkaisee, miten tuote tulee menestymään markkinoilla (Kleimola ym. 2014, 9). Tuotekehitysprojektin onnistumiseen vaikuttaa viisi tekijää:

1. tuotekehityskustannusten hallinta
2. tuotekehitysaika
3. tuotteen laatu
4. tuotekustannukset (Kleimola ym. 2014, 9.)

Tuotekehityskyky kuvaa taitoa kehittää tuotteita, joille on tarvetta ja jotka täyttävät asiakkaiden tarpeet. Kustannusten hallinnalla tarkoitetaan kykyä käyttää vain tarvittava määrä resursseja tuotekehityksen onnistumiseksi. Se vaikuttaa tuotekehitysprojektin takaisinmaksuaikaan. Hyvällä organisoinnilla ja johtamisella saadaan tuotekehitykseen käytettävä aika minimoitua. Tuotteen laatu kuvaa lopputuotteen laatua, joka vaikuttaa sen markkinaosuuteen ja siitä maksettuun hintaan. Tuotekustannuksilla tarkoitetaan tuotteen valmistuksesta aiheutuvia kustannuksia. (Kleimola ym. 2014, 9.)

## 4 Suunnitteluprosessi VDI 2222

Tuotekehitysprosessi voidaan jakaa neljään järjestyksessä etenevään vaiheeseen:

1. Esitutkimus
2. Luonnostelu
3. Kehittely
4. Viimeistely (Kleimola ym. 2014, 9—10.)

### 4.1 Esitutkimusvaihe

Esitutkimuksessa määritellään kehitettävän tuotteen ominaisuudet ja vaatimukset sekä tehdään myyntiennusteet ja myyntimääriin perustuva kannattavuuslaskelma. Tuotteen menestymisen kannalta on tärkeää, että se on liiketoimintalata, jolta yrityksellä on osaamista. (Kleimola ym. 2014, 10.)

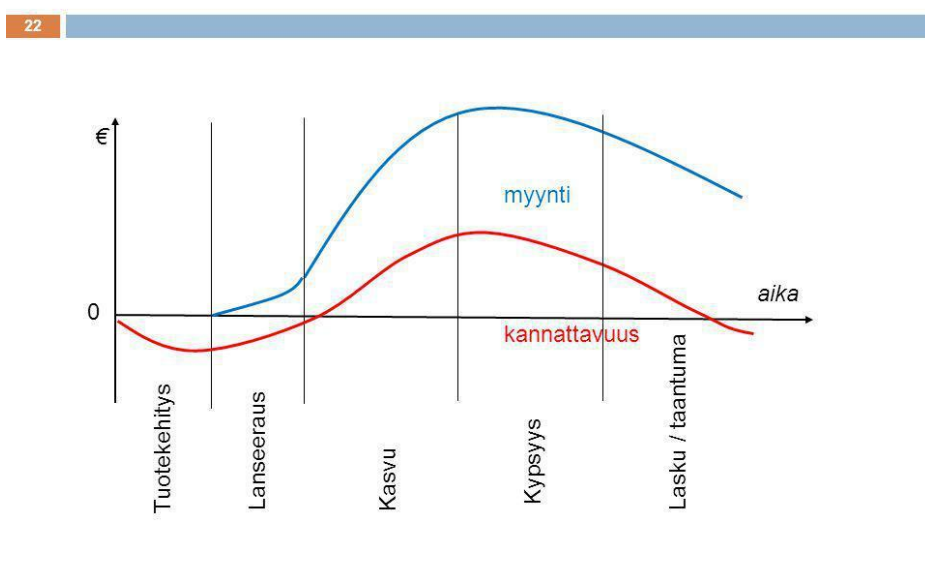
#### 4.1.1 Tuoteohjelma ja elinkaari

Yrityksellä tulee olla valmiina tuoteidea, josta uutta tuoteohjelmaa lähdetään suunnittelemaan (Pahl & Beitz 1990, 54). Tuoteideoita kehitettäessä on tärkeä arvioida, kyetäänkö tuotetta myymään olemassa olevia myyntikanavia pitkin ja kehitetäänkö kaikki osat itse vai käytetäänkö tuoteohjelmassa myös muiden tuotteita. Tuotteiden kehittämiskustannukset katetaan jo markkinoilla olevilla tuotteilla, jotka tuovat rahaa yritykselle. Tämä edellyttää, että yrityksellä pitää olla tuotteita elinkaaren eri vaiheissa. Yrityksen on myös tärkeää tiedostaa tuotteen elinkaaren eri vaiheet, jotta pystytään arvioimaan, milloin markkinoilla oleva tuote on tulossa elinkaarensa päähän ja idea tulee päivittää uudella. (Kleimola ym. 2014, 10.)

Tarve uuden tuoteohjelman käynnistämiseksi voi tulla markkinoilta, joka havaitaan myynnin ja kannattavuuden laskuna tuotteen elinkaaresta (kuva 3.). Tämä voi johtua asiakkaiden tarpeiden muutoksista tai kilpailevien tuotteiden kehityksestä. (Pahl & Beitz 1990, 54—55.)

Uuden tuotteen kehittäminen on riski yritykselle, koska se vie käytettävissä olevia resursseja, mutta onnistuessaan se lisää yrityksen arvoa (Kleimola ym. 2014, 10).

## Tuotteen elinkaari



Kuva 3 Tuotteen elinkaari (Halmeenmäki 2018, 22)

### 4.1.2 Tuoteidea ja tuote-ehdotus

Uuden tuotteen kehittämisen tarve voi perustua kilpailija-analyysiin, markkinatutkimukseen tai olemassa olevan tuotteen uudistamiseen (Kleimola ym. 2014, 10). Vaikka tuoteidean kehittäminen on osittain intuitiivinen prosessi, on ideaa kehitettäessä tärkeä miettiä, mitä asiakas haluaa tuotteelta ja laajentaa tätä ongelmaa siten, ettei suljeta mitään ratkaisuvaihtoehtoa pois. Kehityskelpoisimmille tuoteideoille tehdään liiketoiminnallisia arviointeja, minkä jälkeen osa niistä karsitaan

ja parhaiden ideoiden toiminta kuvataan konkreettisemmin. Parhaasta tuoteideasta laaditaan tuote-ehdotus, jossa sen toiminta kuvataan alustavan vaatimuslistan avulla konkreettisemmin. (Pahl & Beitz 1990, 60—62.)

### **4.1.3 Tuotevaatimukset**

Tuotetta kehitettäessä on tärkeä muistaa sen kohderyhmä, sillä pelkkä teknisesti ja ominaisuuksiltaan hyvä tuote ei takaa menestystä. Myös muoto, materiaalivalinnat ja ulkonäölliset asiat vaikuttavat ostopäätökseen, ja ne tulee ottaa huomioon tuotetta suunniteltaessa. (Kleimola ym. 2014, 11—12.)

Tuotteen suunnittelun avuksi laaditaan vaatimuslista, johon on selkeästi merkitty tavoitteet ja rajoitukset tuotekehitysprojektille, jotta vältetään virheellisiltä luonnoksilta. Vaatimuslistaan merkitään vaatimukset, jotka tuotteen täytyy toteuttaa. Vaatimuksille annetaan numeeriset arvot mikäli mahdollista, tai vaihtoehtoisesti niille kirjoitetaan sanalliset kuvaukset selkeällä tuotekehitystiimin kielellä. Lista laaditaan myös toivomukset, joiden toteuttaminen sallii pienet kustannusten nousut. Vaatimuslistaan tulee kirjata vain välttämättömät rajoitukset tuotteelle parhaimman ratkaisun mahdollistamiseksi. (Pahl & Beitz 1990, 62—64.)

## **4.2 Luonnosteluvaihe**

Vaatimusluettelon listattujen asioiden pohjalta aloitetaan tuotteen luonnostelu. On tärkeää säilyttää kaikki luonnokset tuotteesta, kunnes paras ratkaisuperiaate on selvillä, ja helpottaa luonnostelua pohtimalla, mitä asioita tuotteella täytyy olla ja mitä sillä ei saa olla. (Kleimola ym. 2014, 13.)

Ennen luonnostelun aloittamista on tosin pohdittava, onko vaatimuslistassa riittävästi informaatiota, tai onko tietoa niin paljon, että luonnostelua ei tarvitse tehdä vaan voidaan suoraan siirtyä kehittelyvaiheeseen. (Pahl & Beitz 1990, 71—72.)

### 4.2.1 Toimintorakenne

Tuotteen suunnittelun helpottamiseksi voidaan sen toiminta jakaa osatoimintoihin, jotka muodostavat tuotteen toimintorakenteen. Toimintorakennekaavio mahdollistaa eri osatoimintojen suunnittelemisen samanaikaisesti, mikä lyhentää tuotekehitystyöhön käytettävää aikaa. (Kleimola ym. 2014, 13.)

Toimintorakenteeseen tulevien osatoimintojen määrä kasvaa siihen tulevien osien ja toimintojen määrän kasvaessa. Toimintorakenteen laatiminen on erityisen hankalaa uuskonstruktiossa, jossa osasysteemien määrä tai niiden yhdistäminen ei ole tiedossa. Sovelluskonstruktiossa sen laatiminen on helpompaa, koska laitteen toiminta on jo tiedossa. (Pahl & Beitz 1990, 81—83.)

### 4.2.2 Ratkaisuvaihtoehdot ja niiden arviointi

Osatoiminnot muodostavat tuotteen toimintorakenteen, ja osatoiminnoista laadittuja ratkaisuperiaatteita yhdistelemällä saadaan tuotteelle erilaisia kokonaisratkaisuja. Paras kokonaisratkaisu voidaan valita pisteytysmenetelmällä, jossa vaatimuslistan kriteereille annetaan painokertoimet ja lasketaan jokaiselle osatoiminnon ratkaisuperiaatteelle pisteet (suorituskyky x painokerroin). (Kleimola ym. 2014, 13—14.)

## 4.3 Kehittelyvaihe

Tuotteen suunnittelu aloitetaan parhaimman luonnoksen pohjalta ja siitä luodaan tekniset ja taloudelliset näkökulmat huomioiden yksiselitteinen. Tuotteelle tehtävät laskelmat ja simulaatiot antavat uutta tietoa sen rakenteesta ja toiminnasta, minkä takia luonnosta joudutaan muuttamaan. (Kleimola ym. 2014, 14.)

Tuotetta kehitettäessä on tärkeä huomioida tuotekehitysprojektin yksikäsitteisyys, yksinkertaisuus ja turvallisuus. Kun tuotteesta ja sen toiminnasta tehdään yksikäsitteinen, tuotteen toiminnan ennakointi helpottuu, minkä ansiosta välty-

tään tuotteelle tehtäviltä ylimääräisiltä tutkimuksilta. Tuotteen muotojen yksinkertaisuus mahdollistaa rakenteen edullisen valmistamisen, ja turvallisuus pakottaa tarkastelemaan tuotteen rakennetta ja toimintaa tarkemmin. (Kleimola ym. 2014, 14.)

#### **4.4 Viimeistely ja tuotekustannukset**

Tuotteen viimeistelyssä päätetään sen kokoonpanoon tulevat komponentit ja kaikki tiedot yksittäisten komponenttien valmistamiseksi, kuten muodot, materiaalit ja pinnanlaadut. Tässä vaiheessa pitää myös arvioida komponenttien valmistusmenetelmät ja lopulliset valmistuskustannukset. Viimeistelyvaiheessa tulee olla valmiina lopulliset dokumentit kokoonpanon valmistamiseksi, kuten osaja kokoonpanopiirustukset, asennusohjeet, turvallisuus- ja huolto-ohjeet, sillä näiden dokumenttien pohjalta valmistetaan tuotteen prototyyppi ja aletaan suunnittelemaan tuotteen valmistusta. (Kleimola ym. 2014, 14—15.)

Tuotteen ja tuotekehitysprosessin onnistumisen mittarina käytetään liiketoimintatulosta, minkä takia pelkästään teknisesti onnistunut tuote ei takaa menestystä, vaikka tekniikka on tärkein lähtökohta tuotteen menestymisen kannalta. Tuotteen kustannusten tulee olla mahdollisimman matalat, ja sen täytyy olla ominaisuuksiltaan asiakkaiden käyttötarkoituksiin sopiva. (Kleimola ym. 2014, 14—15.)

Tuotteen lopulliset kustannukset määräytyvät suurimmilta osin siinä käytettävistä ratkaisuista, minkä takia on tärkeää pyrkiä optimoimaan tuotteen rakennetta jo luonnosteluvaiheessa, sillä valmistusvaiheessa tehtävät rakenteen muutostöiden piteet tulevat vain nostamaan tuotteen kustannuksia. Tuotteen kustannukset voidaan jakaa kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Kiinteitä kustannuksia ovat toimihenkilökustannukset, ja muuttuviin kustannuksiin sisältyvät raaka-aine-, materiaali- ja työkustannukset. Tuotetta valmistettaessa sen muuttuvat kustannukset tulevat laskemaan raaka-aineiden ja valmistuksen tehostumisen osalta valmistusmäärien kasvaessa. Kiinteitä kustannuksia, kuten tuotekehitysprojektin henkilöstöä, ei tulla tarvitsemaan tuotetta valmistettaessa samoissa määrin, kuin

tuotteenkehityksen aikana, mikä vaikuttaa muuttuvien kustannusten laskuun. (Kleimola ym. 2014, 14—15.)

## 5 Materiaalinvalintaprosessi

Hyvän tuotteen aikaansaaminen voidaan ajatella suunnittelun, muotoilun ja valmistuksen summana, sillä kaikki nämä tekijät vaikuttavat oleellisesti lopputuotteen laatuun, ulkonäköön ja käytettävään materiaaliin. Nämä tekijät mahdollistavat myös kohteisiin käytettävissä olevia materiaaleja, sillä ominaisuuksiltaan riittämättömän materiaalin puutteita voidaan paikata esimerkiksi muotoilemalla ja suunnittelemalla rakenne uudelleen ja muuttamalla tuotteen valmistustapaa. (Kleimola ym. 2014, 84.)

Useimmissa tapauksissa suunnittelija joutuu valitsemaan materiaalin joko:

- Uuteen tuotteeseen
- vaihtamaan olemassa olevan tuotteen materiaalia. (Kleimola ym. 2014, 84.)

Materiaalin valitseminen ei ole niin yksinkertaista, koska sen valintaan vaikuttaa monta tekijää, eikä esimerkiksi jo olemassa olevan tuotteen materiaalia voida välttämättä vaihtaa ilman rakenteen modifiointia. Oikean materiaalin valinta voidaan saavuttaa lähestymällä ongelmaa asteittain. (Kleimola ym. 2014, 84.)

Suunnittelijan tulee ensin tutkia tekniset vaatimukset ja käyttöolosuhteet tuotteelle johon materiaalia ollaan valitsemassa, ja muuttaa nämä teknisiksi arvoiksi, joiden avulla käyttömateriaali valitaan. Suunnittelijan täytyy tutkia teknisten ominaisuuksien lisäksi materiaalin ominaisuuksia myös valmistettavuuden, kustannusten ja saatavuuden kannalta. Mikäli materiaalin ominaisuuksista tai soveltuvuudesta käyttöjohteeseen ei ole saatavilla riittävästi tietoa, on suunnittelijan tehtävä testejä materiaalilla soveltuvuuden varmistamiseksi. (Kleimola ym. 2014, 84.)

## 6 Mekaaninen liukurengastiiviste

Mekaaninen liukurengastiiviste on koneen elementti, jonka tarkoitus on tiivistää laitteen pyörivä akseli siten, ettei sen käsittelemä neste pääse vuotamaan sitä pitkin pois (EagleBurgmann Academy 2017).

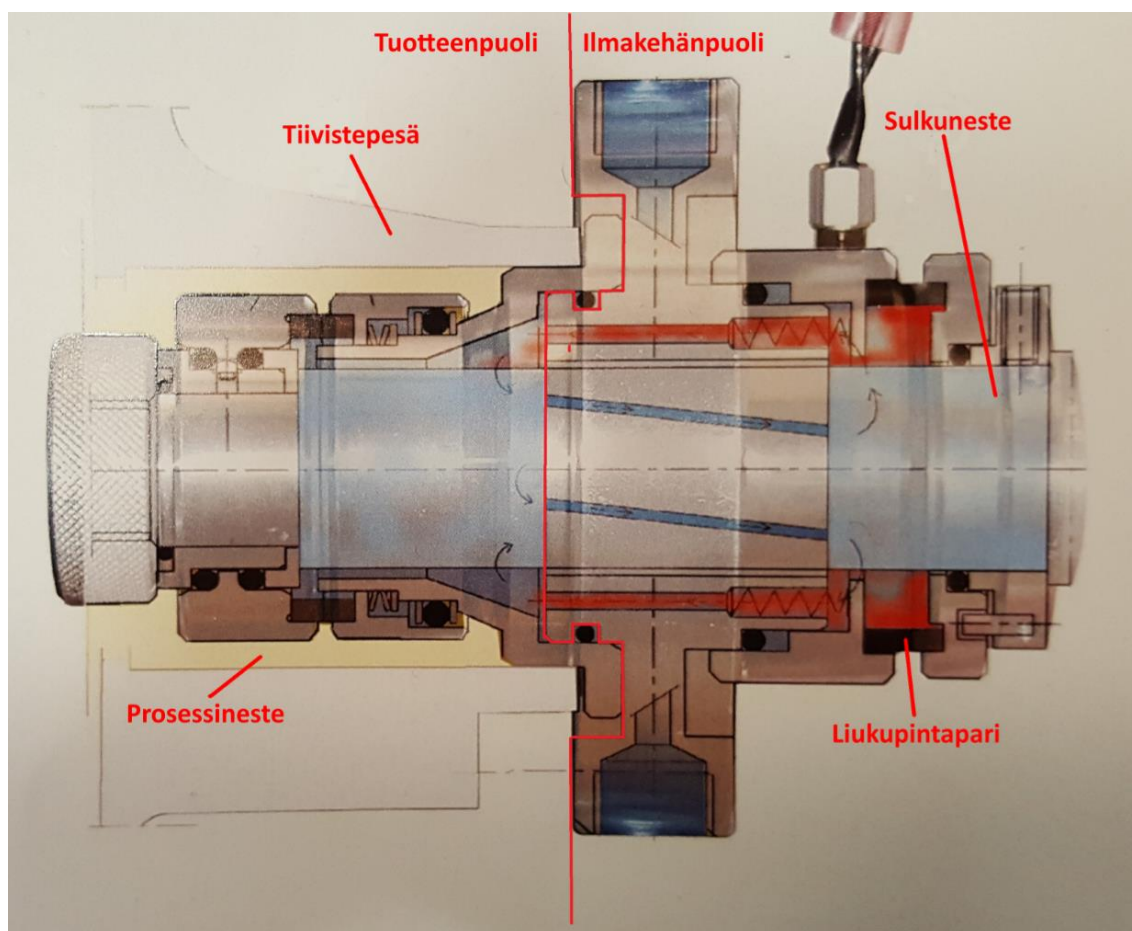
Liukurengastiivisteiden käyttökohteita ovat erilaiset prosessiteollisuuden laitteet, kuten sekoittimet, agitaattorit ja pumpput (EagleBurgmann Academy 2017). Noin 50% kaikista prosessiteollisuuden keskipakopumppujen tiivistyksestä toteutetaan liukurengastiivisteellä (Miettinen 1994, 10).

Liukurengastiivisteen tiivistävä vaikutus saadaan luotua pumpattavan nesteen eli prosessinesteen-, sulkunesteenpaineen ja jousien avulla. (Miettinen ym. 2014, 412—413.)

### 6.1 Rakenne

Liukurengastiivisteen rakenne koostuu runko-osista, toisiotiivisteistä, jousista ja yleensä yhdestä tai kahdesta liukupintaparista, jonka mukaan tiivisteet luokitellaan yksitoimisiin ja kaksitoimisiin tiivisteisiin. Liukupinnoista toinen on staattinen, koska se on kiinnitetty staattisesti tiivisteen runkoon ja toinen on dynaaminen, koska se on liitetty laitteen pyörivään akseliin. (Miettinen 1994, 13—15.)

Kuvasta 4 nähdään tiivisteen sijainti keskipakopumpun tiivistepesässä. Tiiviste on jaettu punaisella viivalla tuotteen- ja ilmakehänpuoleisiin osiin.



Kuva 4 Kaksitoiminen LP-D Nonflow™ tiiviste keskipakopumpussa (Tiivistetekniikka Oy 2017)

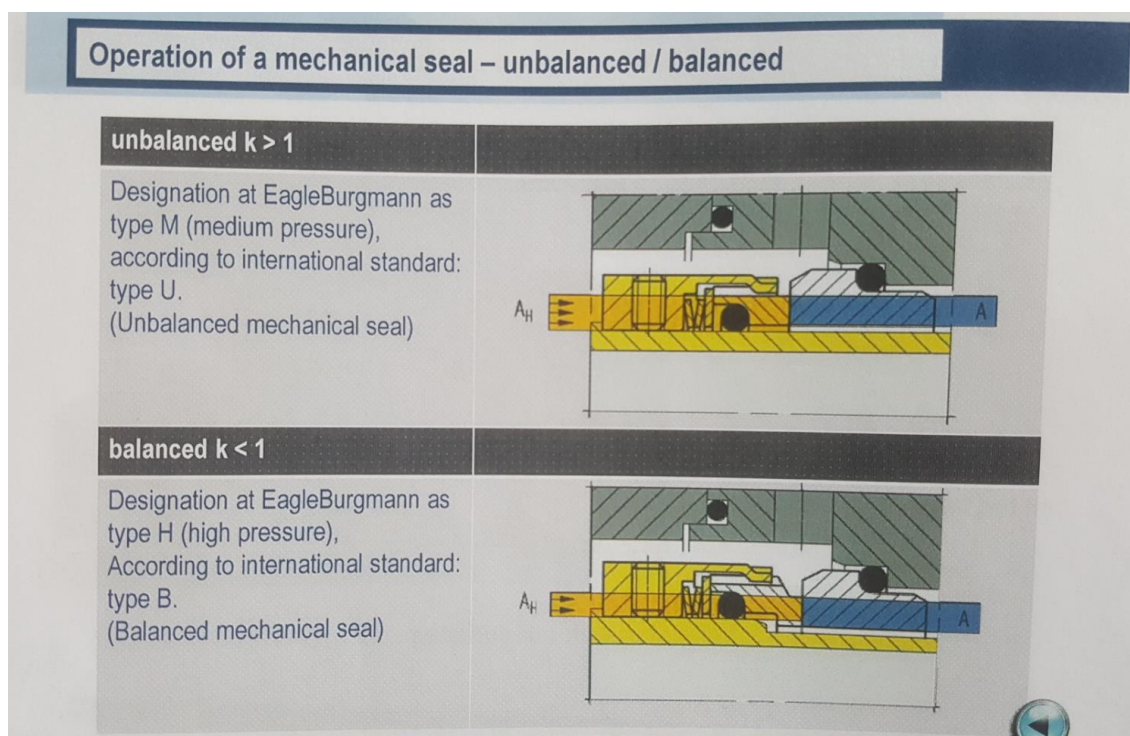
Liukupintojen materiaaleina käytetään yleensä synteettistä hiiltä, piikarbidia, kromi-nikkeli-molybdeeniseosteisia teräksiä ja wolframkarbidia (EagleBurgmann 2017). Toisiotiivisteinä voidaan käyttää päällystämättömiä tai PTFE:llä päällystettyjä O-renkaita. O-rengasmateriaaleina käytetään muun muassa etyleeni-propyleenikumia ja PTFE:tä (EagleBurgmann 2017). Yleensä tiivisteiden korkein käyttölämpötila määräytyy siinä käytettyjen O-renkaiden mukaan (Miettinen 1994, 15). Runko- ja jousimateriaaleina käytetään kromi-nikkeli-molybdeeniseosteisten terästen lisäksi erikoismateriaaleja, kuten Hastelloy® -terästä (EagleBurgmann 2017).

Liukurengastiivisteistä on käytössä tasapainotettuja ja tasapainottamattomia rakenteita. Näistä puhuttaessa käytetään termiä k-arvo, joka voidaan laskea hydraulisen tasapainotussuhteen kaavalla (kaava 1) seuraavasti:

$$k = \frac{A_h}{A} \quad (1)$$

missä	k	Hydraulinen tasapainotussuhde
	$A_h$	tehollinen hydraulinen pinta-ala, johon prosessi- tai sul- kunesteenpaine kohdistuu
	A	liukukosketuksen pinta-ala (Miettinen 1994, 17—18.)

k-arvon ollessa <1 on rakenne tasapainotettu, joka huomataan olakkeellisesta akselista ja arvon ollessa >1 on rakenne tasapainottamaton, jolloin akseliin ei ole tehty olaketta. Tasapainottomassa rakenteessa liukupinnat pyrkivät puristumaan toisiaan vasten kovempaa, jolloin tiivistysvoima ja kitkalämmöntuotto ovat suurempia, mikä saattaa aiheuttaa liukupintojen ylikuumenemisen ja rikkoutumisen. Tasapainotetussa rakenteessa tiivisteiden vuoto on suurempaa, koska liukupinnat pyrkivät avautumaan. (Miettinen 1994, 17—18.)



Kuva 5 k-arvo (EagleBurgmann Academy)

Tiivisteiden rakenne ja liukupintojen voitelutilanne vaikuttavat sen PV-arvoihin (liukukosketuksen pintapaine  $\times$  liukunopeus). Kuivavoitelutilanteessa jossa liukupintojen voitelu on heikkoa ja niiden välillä tapahtuu kosketuksia, ovat niille annetut PV-arvot pieniä. Tasapainottomassa rakenteessa liukukosketuksen pintapaine on suurempi ja voitelutilanne heikompi, jolloin niiden PV-arvot ovat pienempiä kuin tasapainotetussa tiivisteessä, jossa tilanne on päin vastainen. Taulukossa 1 on annettu joitain PV-arvoja tiivisteille. (Miettinen & Airila 1997, 651)

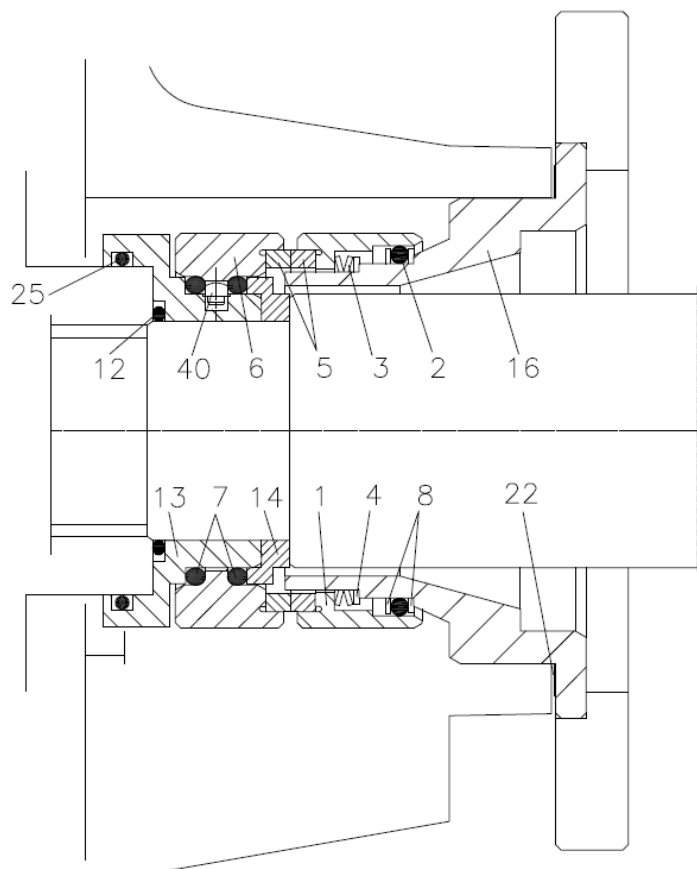
Liukupari	PV (MPa/m/s) vesivoidellussa kosketuksessa	
	Tasapainottamaton	tasapainotettu
Piikarbidi/hiili	9	63
Piikarbidi/Piikarbidi	5	30
Piikarbidi/volframkarbidi	4,5	26
Volframkarbidi/hiili	7	42
Hiili/ruostumatongeräs	0,5	Ei suositella
Stelliitti/hiili	2,5	8,5

Taulukko 1. Tiivisteiden PV-arvoja (Miettinen & Airila 1997, 651)

### 6.1.1 Yksitoiminen tiiviste

Yksitoimisia tiivisteitä käytetään kohteissa, joissa prosessineste on vaaratonta ja koostumukseltaan sellaista, että se tarjoaa riittävän voitelun liukupinnoille ja kykenee kuljettamaan niiden aiheuttaman kitkalämmön eteenpäin prosessissa. Tässä rakenteessa tiivistysvoima saadaan prosessinesteen paineen ja jousien avulla. Kohteissa, joissa prosessineste ei riitä jäähdyttämään liukupintoja, lisätään tiivisteeseen säteishuulitiivisteellä varustettu huuhtelupesä ”Quench-pesä”. Sen avulla tiivisteiden läpi ohjataan vettä (paineeton huuhtelu), joka jäähdyttää liukupintoja ja kuljettaa liukupintojen läpi tulleen prosessinesteen pois ilmakehän puolelta. (Miettinen 1994, 13—15.)

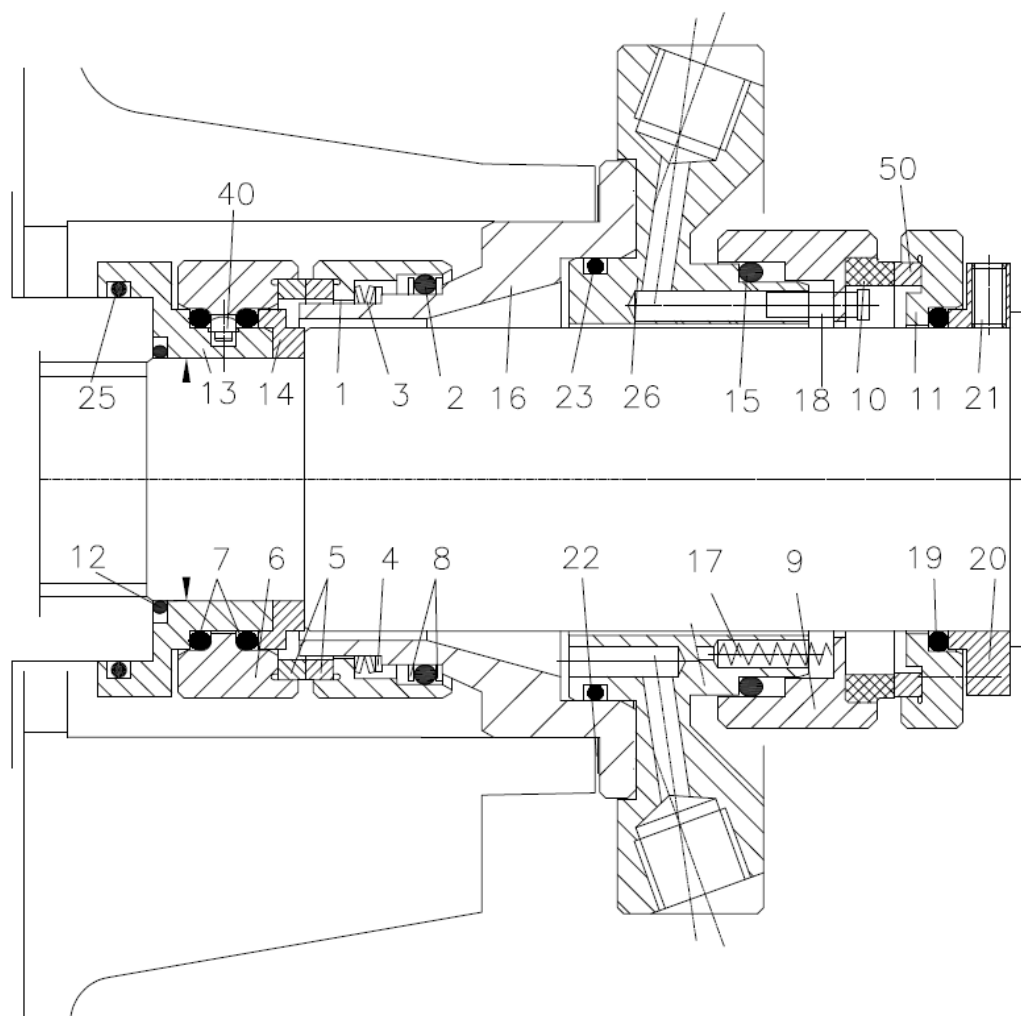
Kuvassa 6 nähdään tiivisteiden komponentteja, joista osat 2,6,12,25,7 ovat O-renkaita ja osat 5 liukupintoja. Loput komponentit ovat runko-osia, jousia, aluslevyjä ja vääntiötappeja.



Kuva 6 Yksitoiminen LP-S liukurengastiiviste (Tiivistetekniikka Oy 2017)

Alla Quench-pesällä varustettu liukurengastiiviste (Kuva 7), jossa osa 28 on Quench-pesä ja osa nro 27 säteishuulitiiviste.





Kuva 8 Kaksitoiminen LP-D liukurengastiiviste (Tiivistetekniikka Oy 2017)

### 6.1.3 Kaksitoiminen Nonflow™-liukupoksiiviste

Tiivistetekniikka Oy on kehittänyt kaksitoimisen LP-D-”liukupoksi” tiivisteeseen. Se ei tarvitse toimiakseen läpivirtaavaa tiivistevevettä, eli tiivisteeseen ulostuloliitäntä voidaan sulkea, jolloin säästetään suuret määrät puhdistettua sulkunestettä, eikä energiaa poistu sen mukana pois prosessista. (Tiivistetekniikka Oy, 2017)

## 7 Tiivisteiden sulkunestejärjestelmät

Tiivisteissä jotka ovat kohteissa, joissa prosessineste ei riitä voitelemaan ja jäähdyttämään liukupintoja riittävästi, käytetään tiivisteiden rakenteesta riippuen joko paineetonta huuhtelua (Quench) tai paineistettua sulkunestettä. Nesteen toimitaminen tiivisteelle vaatii erillisen laitteen, jolla se mahdollistetaan. Tässä työssä perehdyttiin näiden valvontalaitteiden toimintaan ja rakenteisiin, jotta saatiin ideoita tässä työssä suunniteltavaan valvontalaitteeseen.

### 7.1 Sulkunestelaitteissa käytetyt materiaalit

Pääsääntöisesti tiivisteiden apulaitteiden rakenteessa käytetään erilaisia muovi-, ruostumaton teräs- ja kumiosia. Apulaitteen materiaalin valintaan vaikuttavat tiivisteiden käyttöarvot, kuten sulkunesteen paine ja lämpötila, sekä laitteen ympäristön olosuhteet.

Muoveja käytetään yleensä apulaitteiden runkomateriaalina. Yleisesti käytetty muovilaatu on polyasetaali (POM), muita käytettyjä materiaaleja ovat PVDF, PA12 ja erikoistapauksissa teflon.

Koska apulaitteet ovat jatkuvassa kosketuksessa veden kanssa ja halutaan välttää ruosteesta aiheutuvien epäpuhtauksien pääsy tiivisteelle, ovat käytetyt teräslaadut korroosion kestäviä. Yleisesti käytetyt teräslaadut ovat erilaisia haponkestäviä tai ruostumattomia teräksiä, kuten EN 1.4401, EN 1.4404 tai EN 1.4460.

### 7.2 Kytola® SLM

SLM on suomalaisen Kytölä Instruments Oy:n valmistama tiivistevesimittari (Kuva 9), josta on olemassa versiot niin kaksitoimiselle tiivisteelle ja Quench-tiivisteelle. SLM-tiivistevesimittarilla pystytään valvomaan ja optimoimaan tiivisteelle virtaavan sulkunesteen määrää. Kaksitoimiselle tiivisteelle tarkoitetussa versiossa näiden lisäksi myös sulkunesteen paine voidaan säätää. (Kytölä Instruments Oy, 2017.) Sulkunesteen määrän optimointi on tärkeää varsinkin

kohteissa, joissa sulkuneste ohjataan tiivisteeseen jälkeen suoraan viemäriin. Tämä toimenpiteen takia sulkuneste joudutaan puhdistamaan ja se vie energiaa prosessista, mikä aiheuttaa kustannuksia.

SLM on moduulirakenteinen, minkä ansiosta se voidaan varustaa kohteen mukaan erikokoisilla virtausalueilla, painemittareilla ja induktiivisilla kytkimillä, mitkä ilmoittavat sulkunesteen virtauksen muutoksista.



Kuva 9 Kytola SLM-tiivistevesimittari kaksitoimiselle tiivisteelle (Kytola Instruments Oy)

### 7.3 Bestflow

Bestflow on Eagleburgmanin valmistama termoelementti, joka on suunniteltu käytettäväksi kaksitoimisessa tiivisteessä. Bestflow on toiminnaltaan hyvin yksinkertainen, sillä se voidaan liittää suoraan tiivisteeseen ulostuloliitännänsä ja se

päästää sulkunestettä pois tiivisteeltä, kun sen lämpötila ylittää tietyn rajan, ja sulkeutuu, kun sulkuneste on jäähtynyt. Tällä toiminnalla säästetään sulkunestettä ja sen käsittelystä aiheutuvia kustannuksia.

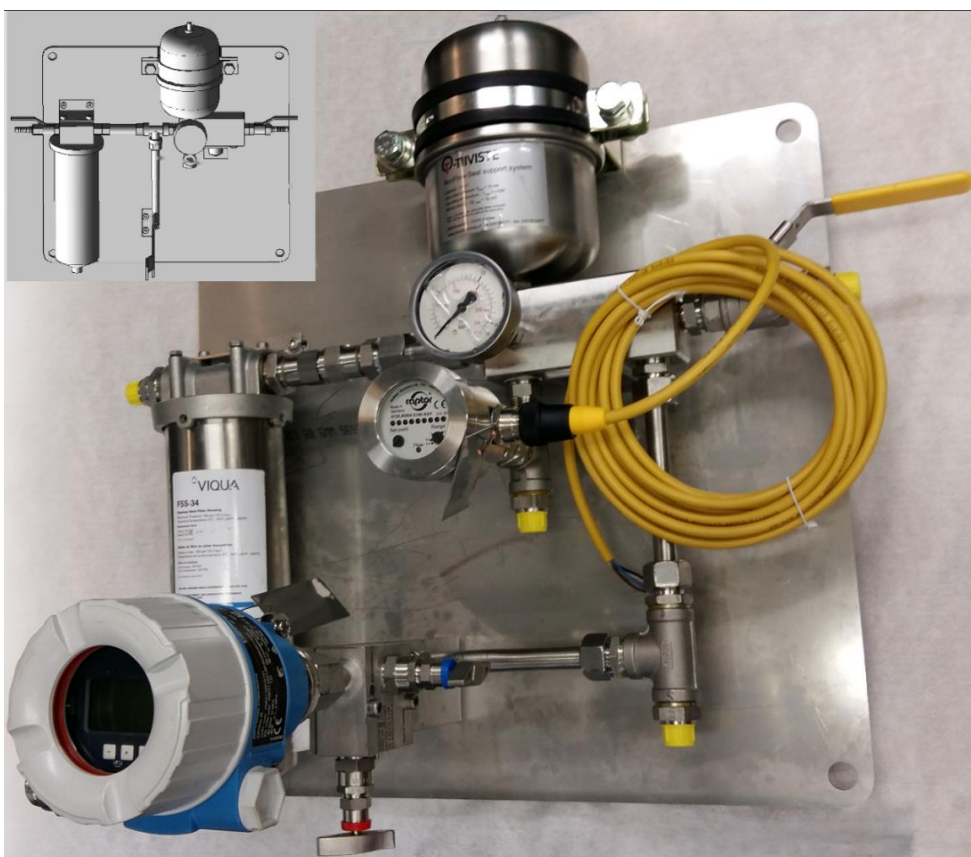


Kuva 10 (EagleBurgmann, 2017)

#### 7.4 NF Seal supply system

NF-Seal supply system (Kuva 11) on Tiivistetekniikka Oy:n valmistama sulkunestejärjestelmä yrityksen Nonflow™-rakenteisille, kaksitoimisille LP-D-tiivisteille. Laite toimii siten, että sulkuneste ohjataan takaiskuventtiilin läpi tiivisteelle, jonka kautta se etenee sulkuventtiilille, jolla virtaus pysäytetään, jolloin sulkuneste ei pääse vaihtumaan tiivisteeltä. NF-laitteessa olevalla painemittarilla valvotaan sulkunesteen painetta, ja rakenteessa olevalla paineakulla turvataan hetkellisesti sulkunesteen saanti ja paine tilanteissa, jossa tiivistevesilinjaan tulee katkos. Nämä sulkunestejärjestelmät voidaan varustaa tarpeen mukaan muun muassa paine- ja virtausanturilla sulkunesteen tarkkailun tehostamiseksi. Kohteissa, joissa NF-laitetta ei voida kiinnittää tiivisteeseen läheisyyteen, toimitetaan sen mukana erillinen jalusta.

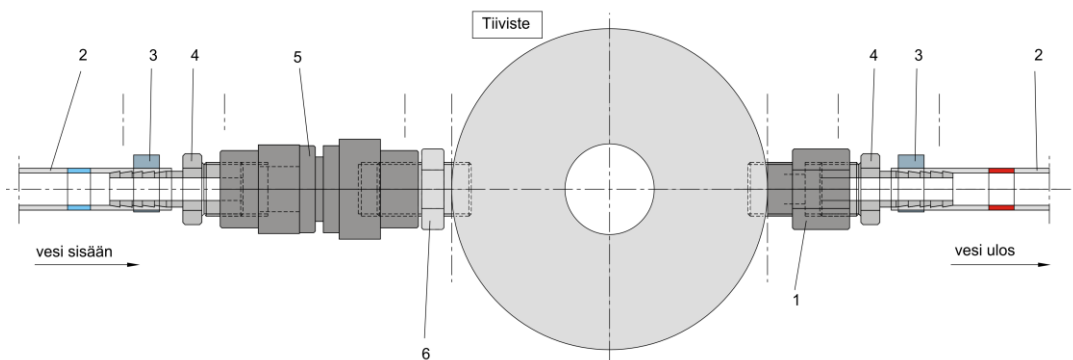
Suljettu kierto on toteutettu jokaisessa NF-laitteessa siten, että sulkuneste tuodaan takaiskuventtiilin läpi jakotukille, josta se johdetaan toista letkua pitkin tiivisteelle ja toista pitkin takaisin jakotukille. Sulkunesteen virtaaminen pysäytetään jakotukissa olevan sulkuventtiilin avulla. Painemittarilla voidaan tarkkailla sulkunesteen painetta ja paineakun tehtävänä on ylläpitää sulkunesteen paine, mikäli kohteen tiivistevesilinjassa on vikaa eikä uutta sulkunestettä tämän takia pääse virtaamaan tiivisteelle. Vaikka käytössä oleva Nonflow™ tiiviste ei tarvitsekaan jatkuvasti läpivirtaavaa sulkunestettä, joutuu se luovuttamaan sulkunestettä teknisistä ja fyysisistä syistä, jonka takia sille tulee turvata sulkunesteen saanti. Liukurengastiivisteiden tiivisteiden vuoto tapahtuu liukupintojen läpi, ja se on verrattain pientä, yleensä noin 0,1-10ml tunnissa.



Kuva 11 NF-SealSupply system (Tiivistetekniikka Oy, 2017)

## 7.5 Vakiovirtausventtiili CFD-R3/8”

CFD-vakiovirtausventtiili on rakenteeltaan erittäin yksinkertainen, ja kaikki sen komponentit liitetään suoraan tiivisteeseen. CFD:n perusrakenne koostuu vakiovirtausventtiilistä ja takaiskuventtiilistä. Asiakkaan tiivistevesilinja liitetään takaiskuventtiiliin, joka on kytketty tiivisteeseen ja jonka kautta sulkuneste pääsee virtaamaan tiivisteelle. Vakiovirtausventtiili on kytketty tiivisteen ulostulopuolelle ja se päästää aina vakiovirtauksen ulos tiivisteeltä.



Kuva 13. CF-D vakiovirtausventtiili tiivisteessä (Tiivistetekniikka Oy, 2017)

1. Vakiovirtausventtiili
2. Letku sulkunesteelle
3. Letkukiristin
4. Letkukara
5. Takaiskuventtiili
6. Kierrenippa

## 8 Toteutusvaihe

Tuotekehitysprojekti aloitettiin esitutkimusvaiheella, jossa käytiin läpi projektin aikataulua ja kehitettävän laitteen ominaisuuksia ja, jonka pohjalta luotiin vaatimuslista tuotteelle.

### 8.1 Esitutkimus

Tuotteiden suunnittelu toteutettiin toimeksiantona yritykselle, joka koki tarpeelliseksi laajentaa tuotevalikoimaansa. Tämän tuotekehitysprojektin tavoite oli suunnitella tiivisteiden sulkunestejärjestelmä ja laatia kaikki dokumentit sen tuoteistamiseksi. Projekti aloitettiin toimeksiantajan tapaamisella, jossa laadittiin aikataulu työlle ja vaatimukset tuotteille ja tuotekehitysprojektille.

Toimeksiantaja oli tutkinut valmistamiaan sulkunestejärjestelmiä ja niistä asiakailtaan saamaa palautetta ja tuloksena he katsoivat tarpeelliseksi luoda uuden sulkunestejärjestelmän heidän valmistamille kaksitoimisille LP-D-tiivisteille. Tutkimuksista saadun tiedon pohjalta luotiin vaatimuslista uudelle järjestelmälle (Taulukko 2).

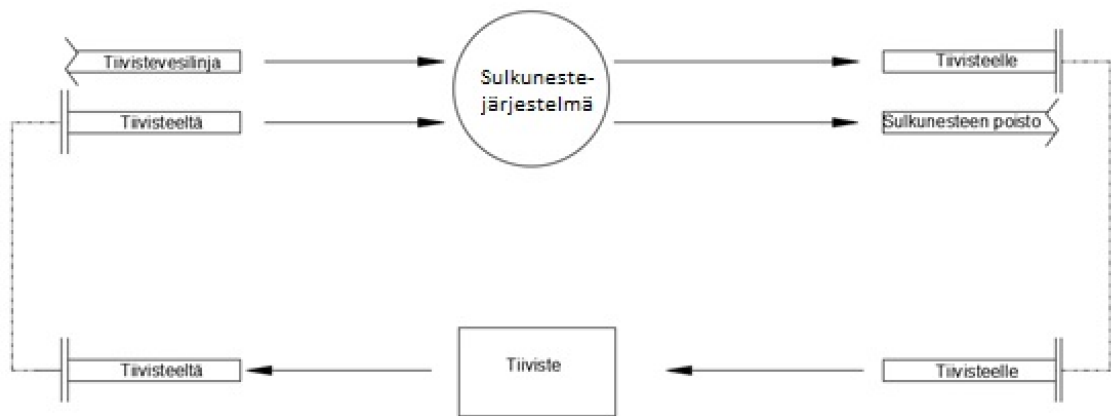
Vaatuslista sulkunestejärjestelmälle			
Muutokset (pvm)	V/T	Vaatimukset	Päätunnus
	V	Sulkunesteen kanssa kosketuksissa olevat osat korroosion kestäviä	Aines
		Kestää sulkunesteen 100°C lämpötilan	Aines
	V	Asennusohjeet tuotannolle	Asennus
	V	Koeponnistus ohjeet tuotannolle	Asennus
	V	Käyttöohjeet asiakkaalle (Fin, Eng, Swe)	Asennus
	V	Kokoonpanopiirustus asiakkaalle	Asennus
	T	Helppokäyttöinen	Ergonomia
	V	Paineakku 2l	Geometria
	T	Kompakti ja kevyt rakenne	Geometria
	V	Laitteisto toimitetaan joko seinäkiinnikkeellä tai Jalustalla (pituus 900mm)	Geometria
		Kustannuksiltaan kilpailukykyinen laitteisto	Kustannukset
	V	Projekti valmis 31.3.2017	Määräajat
	V	Laitteistolla voidaan valvoa sulkunesteen painetta	Signaali
	V	Laite voidaan toimittaa Paine- tai virtausanturilla	Signaali
	V	Laitteiston toiminnan tarkastaminen	Tarkastus
	V	Kestää 10 Bar Sulkunestepaineen	Voimat

Taulukko 2. Sulkunestejärjestelmän vaatimuslista

## 8.2 Luonnostelu

### 8.2.1 Toimintorakenne

Sulkunestejärjestelmän toiminta havainnollistettiin toimintakaavio luonnokseen sulkunestejärjestelmän rakenteen luonnostelun helpottamiseksi (Kuva 14).



Kuva 14 Sulkunestejärjestelmän toimintakaavion luonnos

Järjestelmän toimintorakenteen luonnostelu oli melko yksinkertaista, koska sen tuli toimia samalla tavalla kuin yrityksen aiemmin valmistamien NF- Seal Supply Systemien.

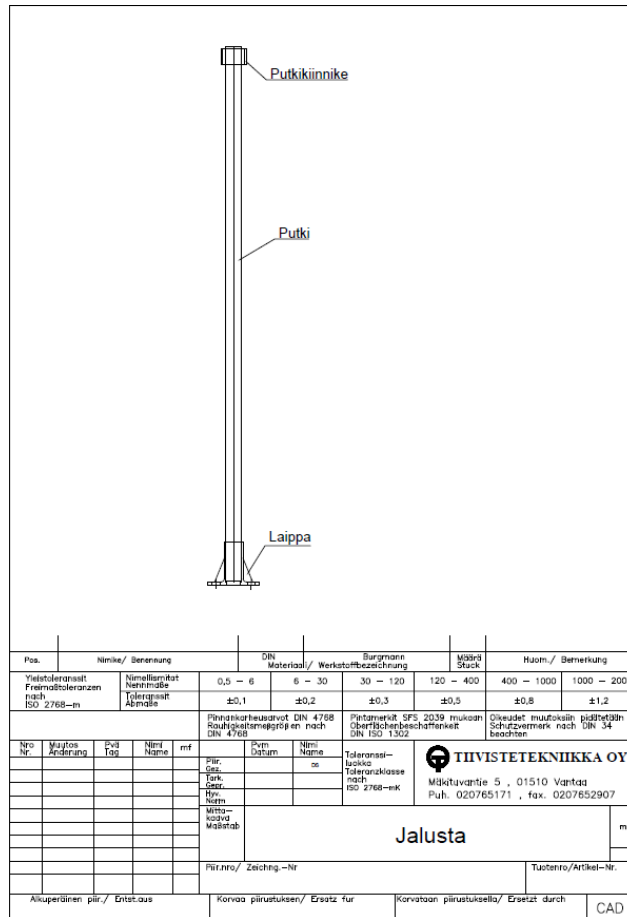
### 8.2.2 Sulkunestejärjestelmän luonnostelu

Ensimmäisessä luonnoksessa suunniteltiin telakka, johon kaikki sulkunestejärjestelmän komponentit tulitisiin liittämään (Kuva 12). Telakka koostuisi kahdesta ruuveilla toisiinsa liitettävästä osasta. Pohjalevystä johon paineakku liitettäisiin kiinnikkeen avulla ja jakotukista johon kaikki muut komponentit tulitisiin liittämään. Rakenteen ongelmaksi muodostui se, että se oli kannattavaa valmistaa vain muovista, koska muulloin sen rakenteesta olisi tullut turhan raskas.









Kuva 15 Laipallisen jalustan luonnos

### 8.3 Kehittelyvaihe

Sulkunestejärjestelmän suunnittelu aloitettiin tietokonetyylisestä luonnoksesta, koska sen katsottiin olevan helposti modifioitavissa muutosten varalta ja siitä saadaan kotelon ansiosta hyvän näköinen riippumatta komponenttien sijoittelusta asennuslevyllä. Jalustan suunnittelu aloitettiin myös viimeisestä luonnoksesta, joka koostui putkesta, putkikiinnikkeestä ja -laipasta.

### 8.3.1 Sulkunestejärjestelmä

Kokoonpanon suunnittelu päätettiin aloittaa paineakusta ja sen kiinnikkeestä, koska ne muodostavat tilavuudeltaan isoimman kokonaisuuden koko järjestelmässä, ja vaikuttavat muiden osien sopivuuteen kokoonpanossa.

Yleisesti teollisuuden käytössä olevia paineakkuja on kolmenlaisia: Rakko-, mäntä- ja kalvopaineakkuja. Kaikki näistä soveltuisivat toiminnaltaan tähän järjestelmään, mutta lähes kaikkien ongelmaksi muodostui niiden korroosion kestävyys ja paino.

Paineakkuja käytetään hydraulikkajärjestelmissä, ja niillä on yleensä kaksi käyttötarkoitusta. Niiden avulla varastoidaan energiaa, kuten paristoissa tai vaimennetaan järjestelmissä tapahtuvia paine huippuja, jotta sen eri komponentit kuten putkistot eivät vaurioidu tai rikkoudu. Paineakku koostuu rungosta, tiivisteosasta, nestepuolesta ja kaasupuolesta. Nestepuolella on järjestelmässä oleva neste, joka on erotettu tiivisteellä kaasupuolesta, joka on esipaineistettu paineakun käyttötarkoituksen mukaan tiettyyn arvoon, yleensä typpikaasulla. (Coshford Josh, 2017)

Toimeksiantajan kanssa todettiin, että on parasta käyttää yrityksen käytössä olevaa kalvopaineakkuja ja kumipääällysteistä kiinnikettä (Kuva 16) sen liittämiseksi asennuslevyyn, koska kumiosalla pystytään eliminoimaan mahdollisesta täri- nästä aiheutuvat haitat ja näiden komponenttien soveltuvuudesta teollisessa käytössä oli jo hyviä kokemuksia.



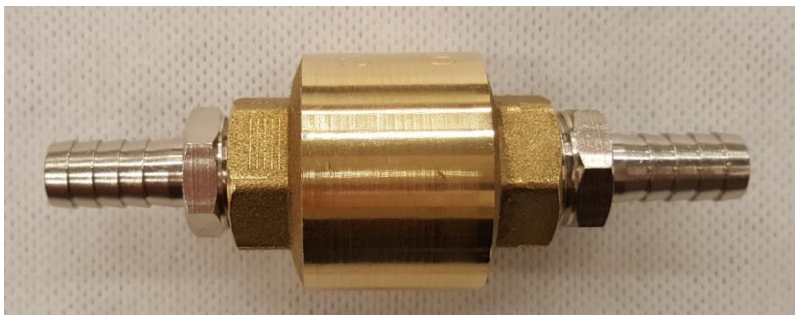
Kuva 16 Kalvopaineakku ja kiinnityspanta

Tämän jälkeen valittiin takaiskuventtiili, johon asiakkaan tiivistevesilinja kytketään ja jonka kautta sulkuneste ohjataan tiivisteelle. Takaiskuventtiilin tarkoitus on estää sulkunesteen virtaaminen järjestelmästä takaisin asiakkaan tiivistevesilinjaan tilanteessa, jossa asiakkaan tiivistevesilinjaan tukkeutuu. Kohteissa joissa haluttiin tarkkailla, että sulkunestettä ei vuoda tiivisteiden liukupintojen läpi prosessines-teeseen, liitettiin takaiskuventtiiliin toimeksiantajan määrittelemä virtausanturi (Kuva 17).

Sulkunestejärjestelmään päätettiin valita messinkinen takaiskuventtiili, johon liitetään messinkiset letkukat, joihin saadaan kytkettyä vesiletkut tiivistevesilinjaan ja tiivisteelle (Kuva 18).



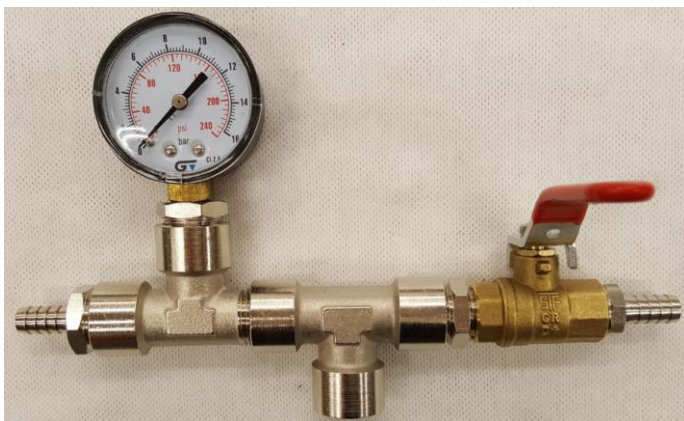
Kuva 17 Takaiskuventtiili virtausanturilla



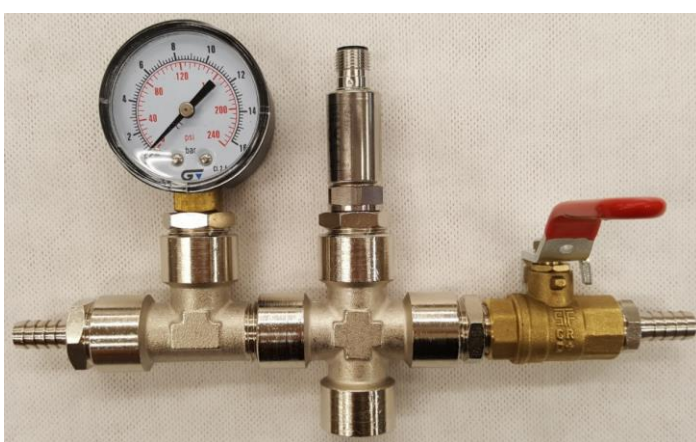
Kuva 18 Takaiskuventtiili ja letkukat

Painemittari ja sulkuventtiili suunniteltiin putkiliittimien kanssa liitettäväksi suoraan paineakkuun (Kuva 19). Järjestelmään piti saada liitettyä myös paineanturi, minkä vuoksi suunniteltiin kaksi liitinrakennelmaa (Kuva 20).

Vesiletkut tuli kytkeä liitinrakennelmaan siten, että painemittarin puoleiseen letkukaraan kytketään tiivisteeltä tuleva vesiletku ja sulkuventtiin puoleisen karan päästä lasketaan sulkuneste pois järjestelmästä ja suoritetaan järjestelmän ilmaus.



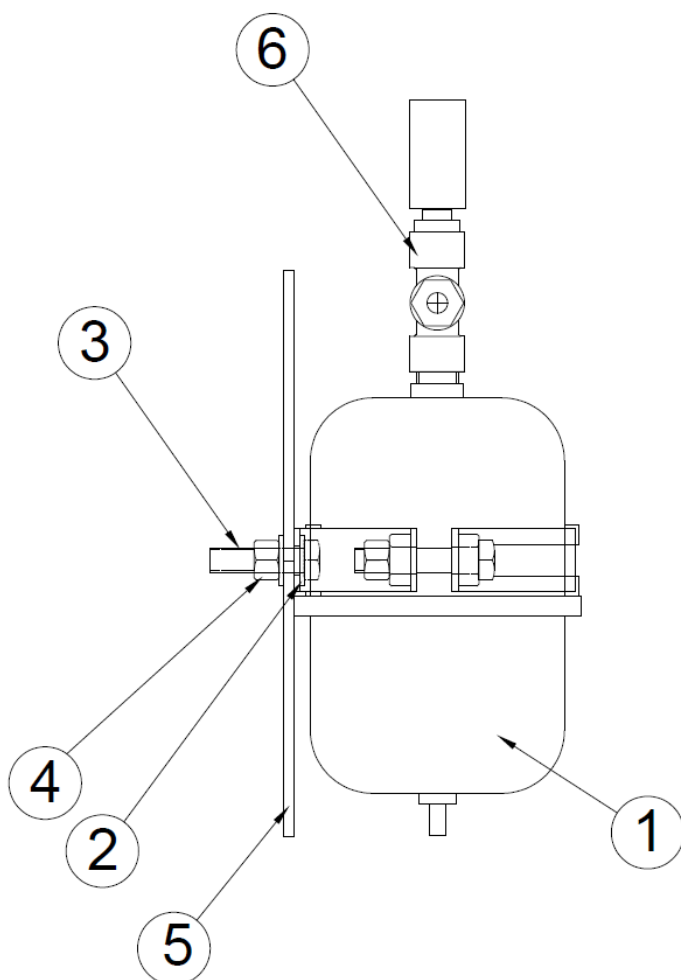
Kuva 19 Liitinrakennelma painemittarilla ja sulkuventtiilillä



Kuva 20 Liitinrakennelma painemittarilla, paineanturilla ja sulkuventtiilillä

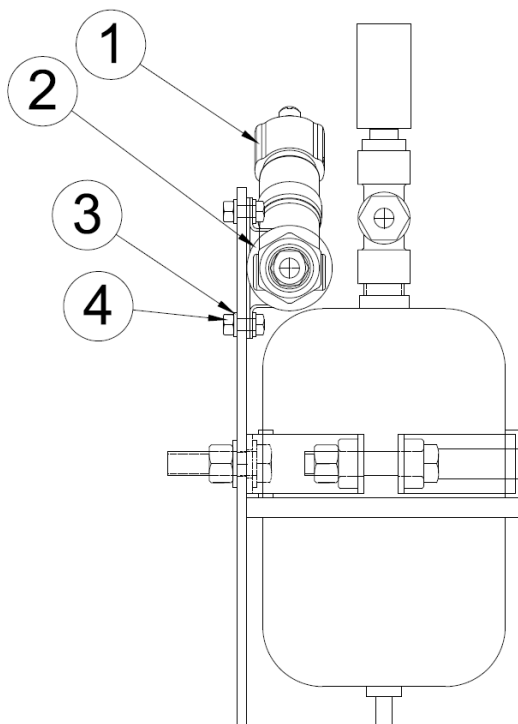
Paineakun ja liitinrakennelmien liittämiseksi asennuslevyyn pyrittiin löytämään mahdollisimman paljon valmiita ja standardoituja kiinnikkeitä, joita oli helposti saatavilla ja jotka mahdollistaisivat kustannussäästöjä, jotka käytettiin asennuslevyn ja suojakotelon valmistuksessa. Valmiit kiinnikkeet säästivät myös mallintamiseen käytettävää aikaa, sillä niistä oli ladattavissa valmiit osakuvat, joita tarvittiin sulkunestejärjestelmän CAD-mallintamiseen.

Paineakun kiinnike suunniteltiin liitettäväksi asennuslevyyn kahden pultin ja lukitusmutterin avulla, millä estetään mahdollinen ympäristön tärinän aiheuttama liitoksen löystyminen. Kuvassa 21 on kuvattu skitsi paineakun kiinnittämisestä asennuslevyyn, jossa osa 1 on paineakku, osa 6 on liitinrakennelma, osa 5 asennuslevy ja loput ovat kiinnikkeitä.



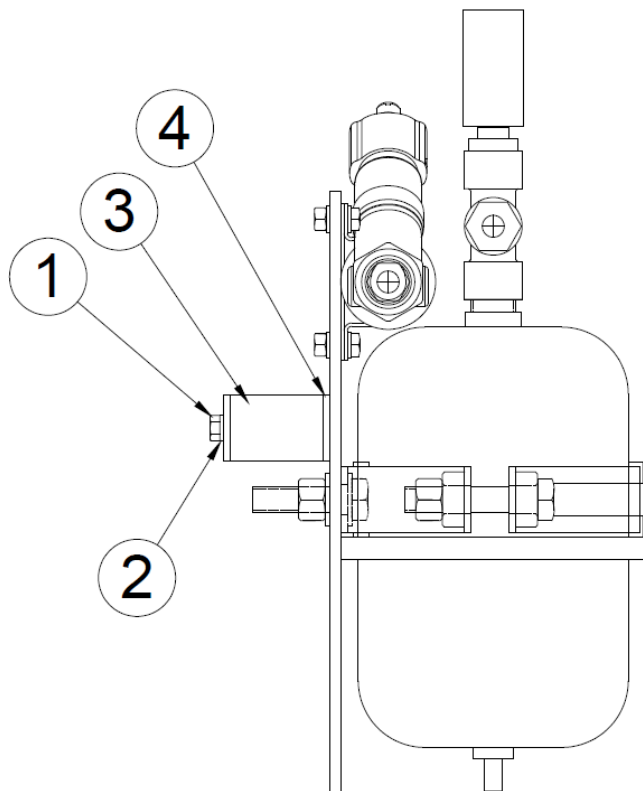
Kuva 21 Luonnos paineaakun kiinnittämisestä asennuslevyyn

Paineakkuun kiinnitettävän liitinrakennelman ja asennuslevyn väliin jäänyt tila hyödynnettiin toisen liitinrakennelman liittämiseksi asennuslevyyn. Rakennelma suunniteltiin kiinnitettäväksi putkipantojen ja pulttien avulla. Kuvassa 22 olevaan luonnokseen on hahmoteltu kytkentä, jossa osa 1 on virtausanturi, osa 2 putkipanta ja loput ovat kiinnikkeitä.

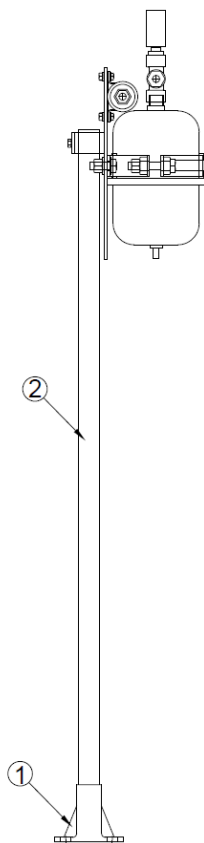


Kuva 22 Luonnos virtausanturillisen liitinrakennelman liittamisestä asennuslevyyn

Putkikiinnike jolla sulkunestejärjestelmä liitetään jalustaan tai asiakkaan laitteeseen, suunniteltiin liitettäväksi asennuslevyn selkäpuolelle. Putkikiinnike koostui kolmesta osasta, kiinnikkeistä, kiinnikeosasta ja vastinlevystä, jotka kiinnitetään asennuslevyyn ja jota vasten kiinnikeosat puristetaan. Kuvassa 23 on hahmoteltu putkikiinnikkeen sijainti asennuslevyllä. Osat 1 ja 2 ovat kiinnikkeitä, osa 3 kiinnikeosa ja osa 4 vastinlevy. Toisessa luonnoksessa, jossa sulkunestejärjestelmä on liitetty jalustaan, on osa 1 putki ja osa 2 laippa (Kuva 24).

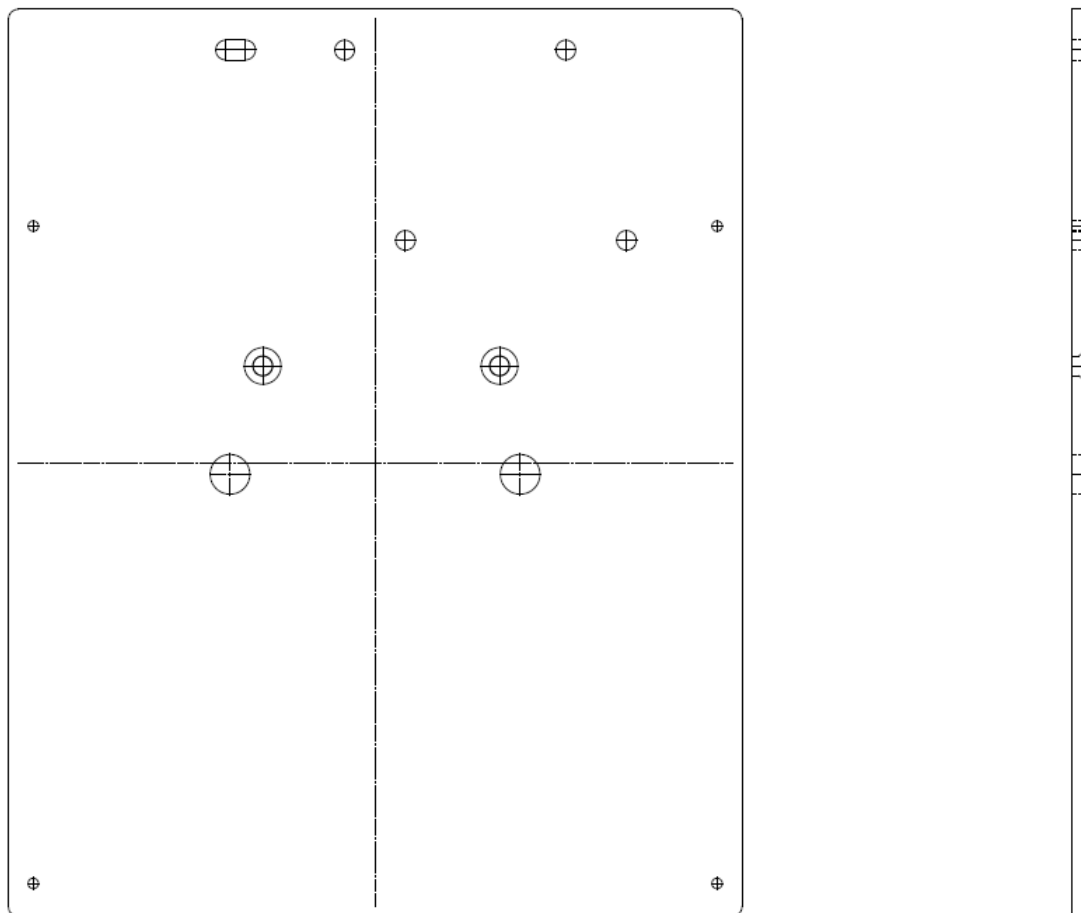


Kuva 23 Luonnos putkikiinnikkeen sijainnista asennuslevyllä



Kuva 24 Luonnos Sulkunestejärjestelmästä jalustassa

Kun kaikkien komponenttien sijoittelu asennuslevylle oli hahmoteltu, mitoitettiin niiden tarkat paikat ja tehtiin piirustus asennuslevylle (Kuva 25).



Kuva 25 Asennuslevy

Asennuslevyyn eteen suunniteltiin suojakotelo, jonka sisälle kaikki komponentit jäisivät suojaan. Kotelo suunniteltiin ohutlevystä, jonka pintaan poltetaan laserilla yrityksen logo, Nonflow-teksti ja suurin käyttöpaine laitteistolle (Kuva 26).





### 8.3.3 Liitinrakennelmat

Sulkunestejärjestelmään valittuja putkiliittimiä, joita käytettiin liitinrakennelmissa, oli saatavilla usealta toimittajalta, minkä vuoksi kaikki heistä kilpailutettiin ja toimittaja valittiin parhaimman tarjouksen perusteella.

Liittimet ja niihin tulevat anturit ja muut komponentit, joista liitinrakennelmat valmistettiin, tuli yhdistää toisiinsa mekaanisesti ja asemoida kokoonpanon mukaisiksi. Liitoksien tiivistämiseksi päätettiin käyttää kierretiivisteliimaa putkikierreteipin sijaan, koska sen tiedettiin kestävän paremmin tärinää, joka saattaisi avata liitoksia ja aiheuttaa vuotoja.

Liitinrakennelmien valmistaminen päätettiin toteuttaa yrityksen tuotannossa, koska yrityksellä oli kokemusta ja ammattitaitoa tiivisteiden ja vastaavanlaisten sulkunestejärjestelmien valmistamisesta.

Rakennelmien valmistamisen tehostamiseksi päätettiin luoda jokaisesta liitinrakennelmasta puolivalmisteet, jolloin niitä valmistetaan varastoon aina isompi määrä kerralla. Tällöin rakennelmien valmistukseen käytetty aika saadaan minimoitua ja kiireellisissä toimituksissa sulkunestejärjestelmän valmistaminen nopeutuu, koska puolivalmisteita löytyy valmiina hyllystä.

### 8.3.4 Paineakku ja kiinnike

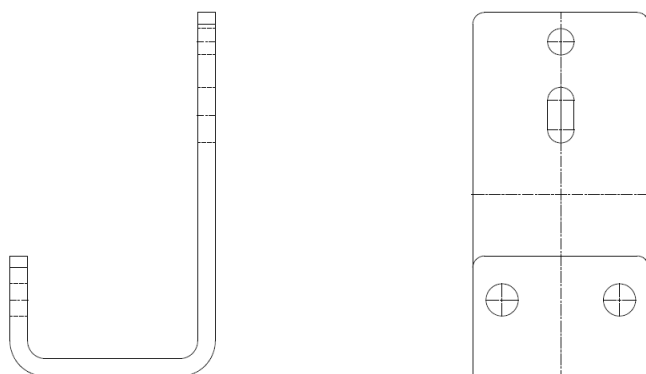
Paineakkuun ja kiinnikkeeseen ei koettu tarkastuksen ohessa tarvetta suurille muutoksille. Valmistettavuuden helpottamiseksi päätettiin kuitenkin korvata lukitusmutterit, jolla kiinnike liitetään asennuslevyyn, tavallisilla muttereilla ja kierrelukitteella. Tällöin mutterit saadaan nopeammin kierrettyä ja kokoonpanoon käytettävä aikaa vähennettyä.

Alkuperäisessä suunnitelmassa paineakun ja liitinrakennelman liitoksen tiivistäminen oli suunniteltu tehtävän tiivisteliimalla, mutta se päätettiin korvata tiiviste-teipillä, koska tällöin liitos kestää välittömästi riittävän paineen, eikä tarvitse odottaa liitoksen kuivumista. Tällä mahdollistettiin sulkunestejärjestelmän lähettäminen nopeasti asiakkaalle.

### 8.3.5 Putkikiinnike ja jalusta

Putkikiinnike oli suunniteltu kiinnitettäväksi vastinlevyyn, jota varten asennuslevyyn tuli tehdä viistetyt reiät (senkatut) sen kiinnittämiseksi. Vastinlevyä ei koettu tarpeelliseksi komponentiksi, koska putkikiinnike voitiin kiristää kiinnikeruuveilla suoraan asennuslevyyn tekemällä siihen kierteet.

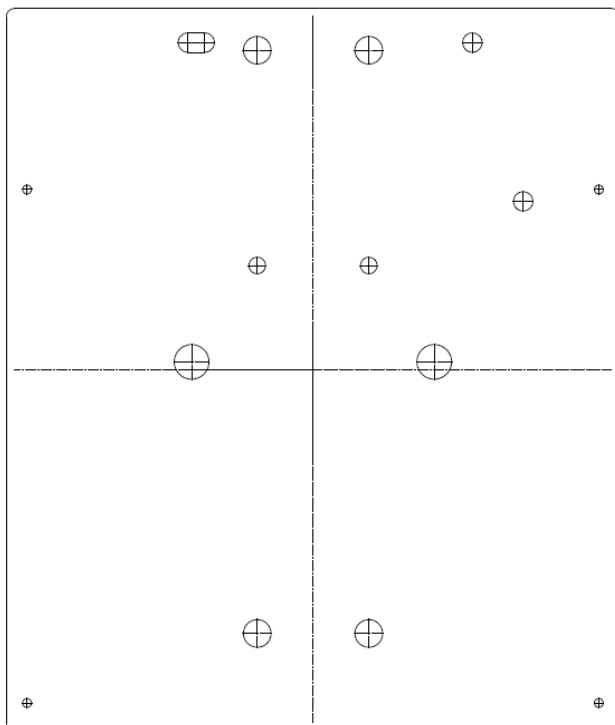
Toimeksiantaja kelpuutti putkikiinnikkeen käytön vain malleissa, joissa sulkunestejärjestelmä kiinnitetään jalustaan ja vaati, että muita malleja varten suunnitellaan kiinnike, jolla seinäkiinnitys on mahdollinen. Tämän johdosta suunniteltiin seinäkiinnike, joka kiinnitetään asennuslevyn ylälaitaan ruuveilla ja kierrelukitteella (Kuva 28).



Kuva 28 Seinäkiinnikkeen skitsi

### 8.3.6 Asennuslevy

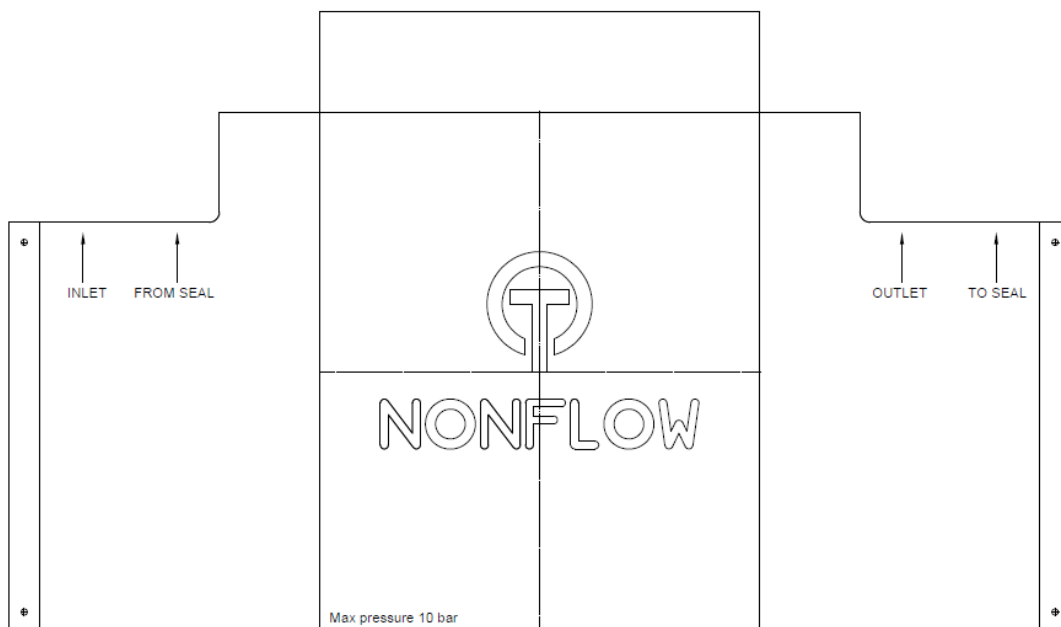
Alkuperäistä luonnosta asennuslevystä päivitettiin vastaamaan edellä tehtyjä muutoksia (Kuva 29).



Kuva 29 Päivitetyn Asennuslevyn skitsi

### 8.3.7 Suojakotelo

Suojakotelon kylkiin suunniteltiin merkinnät, joiden mukaan vesiletkut tuli kytkeä sulkunestejärjestelmälle (Kuva 30).



Kuva 30 Päivitetty luonnos suojakotelosta

Rakenteiden tarkastelun tuloksena saatiin tarpeettomia osia karsittua pois sulkunestejärjestelmästä ja muutettua komponentteja, jotka yksinkertaistivat sen rakennetta ja nopeuttivat järjestelmän valmistamista.

#### 8.4 Viimeistely

Viimeistelyvaiheessa tarkistettiin sulkunestejärjestelmän rakenne mahdollisten suunnitteluvirheiden varalta ja laadittiin lopulliset valmistuspiirustukset. Tämän jälkeen tilattiin kaikki komponentit sulkunestejärjestelmän prototyypin valmistamiseksi.

Prototyypin valmistaminen oli kustannuksiltaan siedettävä sijoitus ja sen avulla pystyttiin suunnittelemaan paremmin järjestelmän valmistamista ja siihen käytettäviä työkaluja. Näin tekemällä varmistettiin myös, että asennuslevy (Kuva 31), suojakotelo (Kuva 32) ja seinäkiinnike (Kuva 33) täyttivät niille asetetut laatuvaatimukset. Tämän lisäksi järjestelmän tiiviiden tarkistaminen koeponnistamalla vaati prototyypin, jotta siihen voitiin valita sopivat komponentit.



Kuva 31 Asennuslevy



Kuva 32 Suojakotelo



Kuva 33 Seinäkiinnike

Sulkunestejärjestelmän ensimmäinen prototyyppi valmistettiin ”karvalakkimallista” (Kuva 34), jonka aikana suurin huomio käytettiin eri työtapojen etsimiseen valmistamisen tehostamiseksi.



Kuva 34 Sulkunestejärjestelmän ”karvalakkimallin” prototyyppi

Ensimmäisen prototyypin valmistuttua tultiin tulokseen, että parhain tapa tehostaa valmistusta on valmistaa isompi sarja sulkunestejärjestelmiä kerralla, koska merkittävä osa valmistukseen käytetystä ajasta kului valmistelevaan työhön, johon lukeutui komponenttien ja työkalujen keräilyä.

Ainoa muutos tehtiin suojakotelon kanteen, koska siihen poltetut merkinnät eivät erottuneet riittävän hyvin. Polttomerkinnän korvaamiseksi tutkittiin erilaisia vaihtoehtoja, joista päädyttiin Tarraan, koska siihen saatiin värejä ja se erottuu erittäin hyvin ympäristöstään (Kuva 35).



Kuva 35 Suojakotelo tarralla

#### 8.4.1 Koeponnistus

Ennen kuin sulkunestejärjestelmä voitiin toimittaa asiakkaalle, suunniteltiin komponentit, joilla laitteisto pystyttiin koeponnistamaan 10Bar:in paineella. Näin voitiin varmistua jokaisen sulkunestejärjestelmän tiiviyydestä. Koeponnistaminen

suoritettiin toimeksiantajan koeponnistuslaitteistolla, jota he käyttivät myös mekaanisten tiivisteiden koeponnistuksessa.

Laitteiston koeponnistaminen oli toimenpiteenä hyvin yksinkertainen ja sitä varten mitoitettiin letkut ja liittimet, joilla järjestelmän koeponnistaminen mahdollistettiin (Kuva 36). Letkut merkittiin sulkunestejärjestelmän mukaisesti, jotta ne löydettiin helposti, eikä tarvinnut jokaista koeponnistusta varten tehdä uusia letkuja.



Kuva 36 Sulkunestejärjestelmän koeponnistus 10Bar:lla

## 8.4.2 Dokumentointi

Prototyypin valmistuttua ja tuotannollisten asioiden selvittyä alettiin laatia ja viimeistelemaan sulkunestejärjestelmän dokumentointia.

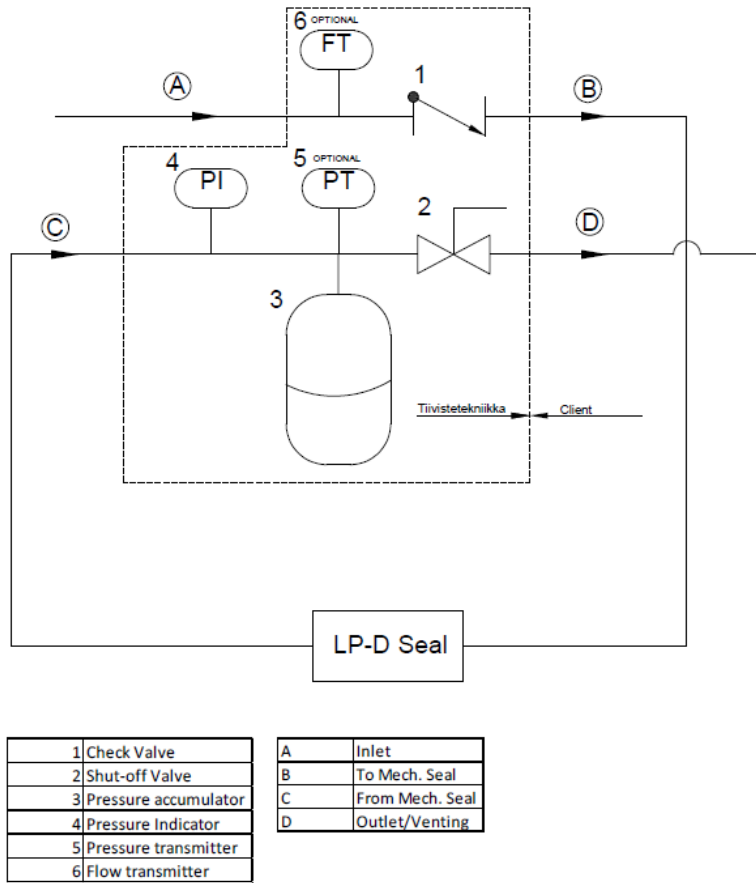
## 8.4.3 ERP

Toimeksiantajan ERP-järjestelmään luotiin nimikkeet puolivalmisteille ja myyntinimikkeet suunnitelluista sulkunestejärjestelmistä. Järjestelmään luotiin myös tarvelaskentatiedot puskurivarastoiheen, jolloin kaikkia osia on aina riittävästi hyllyssä. Kun jotain komponentteja tai puolivalmistetta on alle puskurivarastoarvon, tulee järjestelmään ostoehdotus komponenteille, jolloin niitä pystytään tilaamaan varastoon riittävä määrä.

## 8.4.4 Asennusohjeet

Sulkunestejärjestelmän mukana toimitettiin asiakkaalle asennusohjeet, jotka tehtiin suomen-, englannin- ja ruotsin kielelle, jossa on lyhyt kuvaus tuotteesta ja PI-kaavio (Kuva 38), sekä kokoonpano piirustus mittoineen johon on merkitty, miten vesiletkut tulee kytkeä järjestelmään (Kuva 37). Anturillisten sulkunestejärjestelmien mukana lähetettiin kytkentäkaavio ja Datalehti sen ominaisuuksista, jotta tehdaslaitoksen automaatioasentaja osaisi kytkeä anturin oikein heidän järjestelmänsä. Jotta varmistuttiin, että oikeat dokumentit lähetettiin asiakkaalle, luotiin tuotannon tietokoneelle jokaisesta sulkunestejärjestelmästä oma kansio, josta löytyi vain kyseisen järjestelmän dokumentit. Tuotannolle laadittiin myös omat räjäytyskuvat sulkunestejärjestelmistä osanumeroineen niiden kokoonpanon helpottamiseksi.





Kuva 38 Sulkunestejärjestelmän PI-kaavio

## 9 Pohdinta

Sulkunestejärjestelmän suunnittelu oli haastava ja palkitseva projekti, jonka aikana kehityin ainakin oman toimintani organisoinnissa. Tuotekehitykselle varattua aikaa oli riittävästi, mutta parhaan kokonaisratkaisun aikaansaamiseksi opin aikatauluttamaan projektin, jonka ansiosta jokaiselle työvaiheelle jäi riittävästi aikaa. Kirjoitus prosessin aikana opin paljon uusia asioita niin tiivisteistä, kuin tiivistevesilaitteista, joita teollisuudessa käytetään. Muutaman kerran tämän projektin aikana iski epätoivo, että ehdinkö suunnitella laitteen aikataulussa, mutta loppujen lopuksi sain suunniteltua mallit sulkunestejärjestelmästä ajallaan. Mielestäni ylivoimaisesti haasteellisin osuus koko projektissa oli itse projektista kertominen paperille, koska siitä ei tuntunut ajoittain tulevan yhtään mitään, mutta loppujen lopuksi sekin onnistui.

Haluaisin kiittää Tiivistetekniikka Oy:n henkilökuntaa mahdollisuudesta toteuttaa tuotekehitysprojekti heidän yritykselleen. Tämä oli tähänastisen kouluhistoriani haastavin tehtävä, joka ei olisi onnistunut ilman henkilöstön apua ja neuvoja.

## 10 Lähteet

- Asiakastieto Oy. 2018. <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/tiivistetekniikka-oy/09309223/taloustiedot>. 13.2.2018
- Coshford, Josh. 2017. Accumulators add functionality to hydraulic circuits. <http://www.hydraulicspneumatics.com/accumulators/accumulators-add-functionality-hydraulic-circuits>. 6.9.2017
- EagleBurgmann Academy. 2017. Basics of Mechanical Seals for Power Plant-  
esite.
- Eagleburgmann. 2017. Bestflow. <https://www.eagleburgmann.com/en/products/seal-supply-systems/external-flush-systems/bestflow>. 8.6.2017
- EagleBurgmann. 2017. Table of Materials. EagleBurgmann. <http://www.eagleburgmann.nl/media/literature-competences-products-solutions/division-mechanical-seals/competences/table-of-materials-for-mechanical-seals>. 6.6.2017.
- Halmeenmäki, M. 2018. Markkinoinnin perusteet 5. (<http://slideplayer.fi/slide/1996169/7/images/22/Tuotteen+elin-kaari+%E2%82%AC+myynti+aika+kannattavuus+Lasku+/+taantuma.jpg>). 2018
- Kleimola, M. 2014. Johdatus tuotekehitykseen. Björk, T. Hautala, P. Huhtala, K. Kivioja, S. Kleimola, M. Lavi, M. Martikka, H. Miettinen, J. Ranta, A. Rinkinen, J. Salonen, P. (toim.). Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Sanoma Pro Oy, 9—15.
- Kleimola, M. 2014. Materiaalinvalinta. Björk, T. Hautala, P. Huhtala, K. Kivioja, S. Kleimola, M. Lavi, M. Martikka, H. Miettinen, J. Ranta, A. Rinkinen, J. Salonen, P. (toim.). Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Sanoma Pro Oy, 73—110.
- Kytola Instruments Oy. 2017. <http://www.kytola.com/images/FlowMeters/SLM-SealWaterFlowMeters/ModelSML/fi-modelslm.pdf>. 8.6.2017
- Miettinen, J. 1994. Mekaanisen liukurengastiivisteiden käyttö ilman sulkunesteenkiertoa. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. Licensiaatintyö.
- Miettinen, J. 2014. Tiivistimet. Björk, T. Hautala, P. Huhtala, K. Kivioja, S. Kleimola, M. Lavi, M. Martikka, H. Miettinen, J. Ranta, A. Rinkinen, J. Salonen, P. (toim.). Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Sanoma Pro Oy, 405-420.
- Miettinen, J. Airila, M. 1997. Tiivistimet. Airila, M. Ekman, K. Hautala, P. Kivioja, S. Kleimola, M. Martikka, H. Miettinen, J. Niemi, E. Ranta, A. Rinkinen, J. Salonen, P. Verho, A. Vilenius, M. Välimää, V (toim.). Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Werner Söderström Oy, 636-668.
- Pahl, G., Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki. Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- Tiivistetekniikka Oy. 2017. LP-Liukurengastiivisteet. <http://www.tiivistetekniikka.fi/tuotteet/mekaaniset-tiivisteet/>. 18.2.2017.
- Tiivistetekniikka Oy. 2018. <http://www.tiivistetekniikka.fi/>. 13.2.2018
- VINK. 2017. POM tekniset tiedot. [http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pom/vink\\_pom\\_esite\\_a4\\_web-2.pdf](http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pom/vink_pom_esite_a4_web-2.pdf). 8.6.2017

