

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Imatra  
Paperitekniikan koulutusohjelma

Jukka-Pekka Siltanen

## **Veden, sähkön ja paineilman käytön optimointi aaltopahvitehtaalla**

Opinnäytetyö 2011

## TIIVISTELMÄ

Jukka-Pekka Siltanen

Veden, sähkön ja paineilman käytön optimointi aaltopahvitehtaalla 56 sivua,  
7 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Imatra

Tekniikka, Prosessitekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö 2011

Ohjaaja: lehtori DI Jarkko Männynsalo, Saimaan ammattikorkeakoulu

Työn tarkoituksena oli suunnitella aaltopahvikoneen aallottajan jäähdytysvedelle putkilinja sadevesiviemäriin nykyisen kaupungin viemäriverkon sijasta. Toisena tehtävänä oli optimoida tehdassalin valaistusta, joka toteutettiin tekemällä valaistuskartta ja toimenpiteet sen käyttöä varten. Viimeisenä tehtävänä oli ottaa selvää paineilmavuodoista aiheutuvat rahalliset häviöt ja mahdolliset toimenpiteet niiden vähentämiseksi.

Putkilinjan suunnittelu toteutettiin mittaamalla jäähdytysveden virtaus ja lämpötila sekä suunnittelemalla järkevä reitti sadevesiviemäriputken liitoskohtaan. Tämän jälkeen mitoitettiin putken mitat, että projekti olisi sekä rahallisesti että teknisesti järkevä.

Valaistuksen optimointi toteutettiin jakamalla tehdassali eri sektoreihin nykyisellä valaistuksella ja ottamalla ylös valaistuksesta aiheutuvia kulutuksia, joista lopuksi laskettiin energiankulutukset eri sektoreille.

Paineilmavuodoista aiheutuvia kuluja ja niiden ehkäisemiseksi toteutettavia toimenpiteitä löytyi kirjallisuudesta. Laskennalliseen osioon kuului ottaa selville menetelmä, jolla saadaan laskettua koko paineilmaverkoston kokonaishäviö ja tästä aiheutuvat kustannukset.

Kaikista tuloksista voitiin todeta, että kaikilla tutkittavilla kohteilla on säästäviä vaikutuksia yrityksen kannalta.

**Asiasanat:** energiansäästö, paineilmajärjestelmä, valaistuskartta, putkilinjan laskenta

## ABSTRACT

Jukka-Pekka Siltanen

Optimizing of Water, Electricity and Pressured Air in a Corrugated Board mill,  
56 pages, 7 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Imatra

Process Engineering

Final Year Project 2011

Tutor: Mr. Jarkko Männynsalu, MSc, Senior Lecturer. Saimaa UAS

The purpose of the study was to plan a new route to the cooling water of a corrugator in a corrugating board machine. Another object was to optimize the use of lights in the millhall, which was realized with a light map with different sectors. Also I made instructions for that. The last object of the thesis was to find out the losses of pressured air and how much those losses cost to the company.

In the theoretical part of the study the main issue was saving the energy, where I focused on information of lighting and pressured air and how much those use energy and how it is possible to reduce the energy consumption. Second I searched the information of planning the pipeline and how the fluid behaves in different kind of circumstances. The data for this thesis were collected from literature, interviewing the specialists and from the internet and lesson materials.

Planning the pipeline was made by measuring the flow of cooling water and different kind of properties of water on exact temperature. Secondly the connection point of pipeline was planned. And last was measured the right size for the pipe, so the project would be reasonable technically and financially.

Optimizing the lighting was made by dividing the factory hall to different sectors and taking up the energy consumption values. Then it was possible to calculate the energy consumptions of different sectors.

Finding information on the pressured air losses and their prevention was easy. The pressured air losses in the whole system were possible to calculate by an equation where the capacity of compressor and the using and resting time of compressor were needed.

All the results confirm that every object studied saves energy and through that money.

Keywords: Energy Saving, Pressured Air System, Lighting Map, Calculating the Pipeline

## Sisältö

1	Johdanto.....	7
2	Yrityksen kuvaus.....	8
2.1	Peterson Packaging Oy.....	8
2.2	Aaltopahvitehdas.....	9
3	Energian säästö.....	10
3.1	Energian tehokas käyttö teollisuudessa.....	12
3.2	Keinoja energian säästämiseksi.....	13
3.3	Valaistus.....	13
3.4	Paineilmajärjestelmä.....	16
3.4.1	Ruuvikompressori.....	17
3.4.2	Paineilman käyttö.....	18
3.4.3	Paineilmavuodot.....	19
4	Aaltopahvikoneen aallottajan jäähdytysveden ohjaaminen sadevesiviemäriin.....	20
4.1	Aaltopahvikone.....	20
4.2	Aallottaja.....	22
4.2.1	Jäähdytysjärjestelmä.....	23
4.2.2	Levylämmönsiirrin.....	24
5	Putkilinjan laskenta.....	25
5.1	Epävaka- ja vakaavirtaus.....	25
5.2	Virtaustyytit.....	26
5.2.1	Reynoldsin luku.....	27
5.2.2	Laminaarinen virtaus.....	27
5.2.3	Turbulenttinen virtaus.....	28
5.3	Dynaaminen viskositeetti.....	31
5.4	Virtaamaan vaikuttavat häviöt.....	32
5.4.1	Matkahäviö.....	32
5.4.2	Kertavastukset.....	33
5.5	Nostokorkeuden määrittäminen.....	34
5.6	Kavitaatio.....	34
6	Työn suoritus.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
6.1	Putkilinjan muutos.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
6.1.1	Putkilinjan laskenta.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
6.1.2	Putkimateriaalin valinta sekä halkaisijan määrittäminen.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
6.1.3	Putkilinjassa esiintyvät häviöt.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
6.1.4	Varajärjestelmä.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
6.1.5	Putkiston tiedot ja liitoskohdat.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
6.2	Valaistuksen optimointi.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
6.2.1	Valaistuskartta käytännössä.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
6.2.2	Parannusehdotukset.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
6.3	Paineilmajärjestelmävuotojen tutkiminen.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
6.4	Työn tulokset.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>

7	Yhteenveto.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
	Kuvat ja taulukot.....	52
	Lähteet.....	55

## Liitteet

Liite 1 Valaistuskartta

Liite 2 Valaistuskartan käyttöohjeet

Liite 3 Paineiskuanalyysi

Liite 4 Virtaaman mittaus

Liite 5 Aallottaja 1 tiedot

Liite 6 Aallottaja 2 tiedot

Liite 7 Tehdas lay-out

## Lyhenteet ja merkinnät

Re	reynoldsin luku, kertoo onko virtaus laminaarinen vai turbulenttinen
w	virtausnopeus [m/s]
d	putken sisähalkaisija [mm]
$\eta$	dynaaminen viskositeetti [mPas]
v	kinemaattinen viskositeetti [m <sup>2</sup> /s]
$\rho$	virtaavan aineen tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]
$\lambda$	matkavastuskerroin
k	pinnankarheus [mm]
p	paine [N/m <sup>2</sup> ]
$h_f$	kokonaismatkahäviö [m]
$h_{f \text{ matkahäviö}}$	matkavastuksista koostuva häviö [m]
$h_{f \text{ kertahäviö}}$	kertavastuksista koostuva häviö [m]
$\delta$	kertavastus
F	voima [F]
g	maanvetovoima [m/s <sup>2</sup> ]
$h_1$	nostokorkeus kohdassa 1 [m]
$h_2$	nostokorkeus kohdassa 2 [m]

# 1 Johdanto

Energiansäästö lyhykäisyydessään on energian käytön parantamista, siten että energian kulutus laskee aikaisemmasta arvosta pienempään arvoon jollakin toimenpiteellä. Tämä taas näkyy tehdastasolla energiakustannusten vähentymisenä, eri komponenttien pienempänä kulumisena sekä pisimmälle vietyinä kasvihuonekaasupäästöjen ja saasteiden vähentymisenä, uusiutumattomien energiavarojen säästämisenä sekä energian riittävyyden turvaamisena erityisesti sähköjakelussa.

Itse energiansäästö koostuu yleensä pienistä teoista, kuten valojen sammuttamisella paikoista, missä niitä ei sillä hetkellä tarvita, höyryventtiilien sulkemisella paikoista sillä hetkellä, kun prosessi ei tarvitse höyryä, paineilmauotojen tarkkailulla sekä lukuisilla muilla keinoilla. Energiansäästö riippuu pitkälti ihmisten asenteista. Monet voivat pitää joitain säästökohteita vähäpätöisinä, mutta yleensä ne tuottavat verotonta tuottoa eli säästöä, mikä aikaisemmin maksettiin esimerkiksi sähkö- tai vesilaskuina.

Opinnäytetyöni tarkoituksena on selvittää kolme asiaa: ensimmäiseksi selvitän keinoja aaltopahvikoneen aallottajan läpi virtaavan jäähdytysveden ohjaamisesta sadevesiviemäriin nykyisen ratkaisun tilalle, jossa vesi virtaa suoraan kaupungin viemäriverkkoon ja täten firma joutuu maksamaan turhia jätevesimaksuja.

Toisena kohteena tutkitaan tehdasvalaistusta, jossa ideana on jakaa tehdassali eri sektoreihin ja tutkia, paljonko rahaa säästyy, jos siltä alueelta, missä ei ole tuotantoa, sammutetaan valot. Lopuksi minun tulee tehdä valaistuskartta (Liite 1) ja ohjeet valaistuksen käyttöä varten (Liite 2).

Kolmantena kohteena minun tulee tutkia menetelmiä, jotka kertovat, kuinka paljon paineilma verkossa on paineilmahäviöitä ja kuinka paljon ne aiheuttavat kustannuksia firmalle.

## **2 Yrityksen kuvaus**

### **2.1 Peterson Packaging Oy**

Peterson Packaging Oy on aaltopahviteollisuuteen keskittynyt yritys, jolla on omaa toimintaa Norjassa, Ruotsissa, Suomessa sekä Tanskassa. Se on osa Peterson-konsernia, joka on eräs Pohjoismaiden paperien ja pakkausten johtavista toimittajista. Konsernissa kehitetään, valmistetaan ja markkinoidaan paperia ja pakkausratkaisuja koko Euroopan markkinoille.

Suomessa Peterson Packaging Oy työllistää 170 henkilöä, ja yrityksen liikevaihto on 40 miljoonaa euroa. Yrityksen pääkonttori ja aaltopahvitehdas sijaitsevat Valkeakoskella sekä arkkijalostusyksikkö Vantaalla. Lisäksi yrityksellä on Pack-Systems-yksikkö Valkeakoskella, joka on keskittynyt pakkauskoneiden sekä järjestelmien myymiseen. Peterson Packaging Oy kuuluu norjalaisen emoyhtiön Peterson AS:n pakkausdivisioonaan. Koko konsernin liikevaihto on 380 miljoonaa euroa ja henkilöstön määrä 1370.



## 2.2 Aaltopahvitehdas

Aaltopahvitehtaalla Valkeakoskella työskentelee 150 henkilöä, ja tehtaan konekanta koostuu aaltopahvikoneesta sekä neljästä jalostuskoneesta. Jalostuskoneista yksi on niin sanottu in-line-kone, kaksi tasostanssia ja yksi kone jossa on sekä rotaatiostanssi että in-line-puoli. Kaikissa koneissa on painatusyksiköt.



Kuva 1. Kuva tehdasalueesta

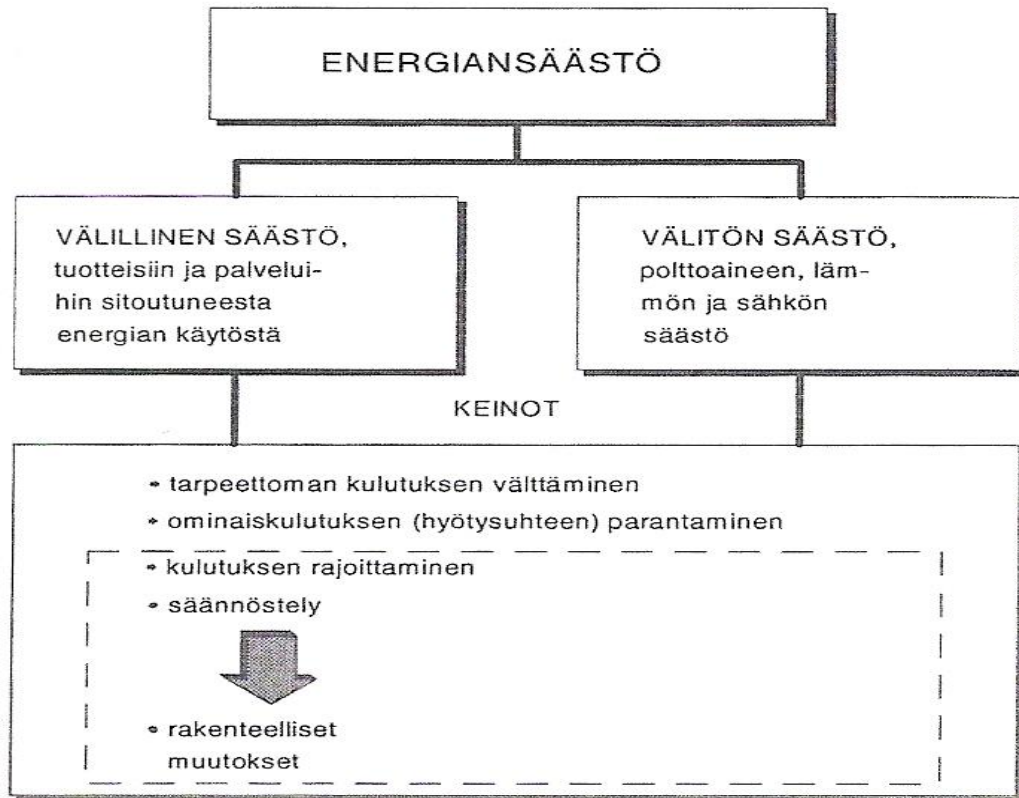
Kuvassa 1 vasemman puoleiset ruskeat rakennukset kuuluvat Peterson Packagingille ja tämän oikealla puolella olevat kuuluvat Walki Oy:lle. Rakennuksien etupuolella oleva vesistö on Ulvajan lahtea.

### 3 Energian säästö

Säästöpyrkimykset energian käyttöä kohtaan tulivat yleiseen tietoisuuteen 1970-luvun öljykriisien yhteydessä. Huoleksi nousi erityisesti energian riittävyys ja tästä johtuva energian hinta. Nykyisin energian säästöstä puhutaan ensisijaisesti yhtenä keinona vähentää ympäristön kuormitusta. (Hellgren, Heikkinen & Suomalainen 1996, 14 - 15.)

Energian käyttöön liittyy monenlaisia toimintoja ja vaiheita, joihin liittyy erilaisia talouteen liittyviä parametreja omine tavoitteineen ja rajoineen. Täten keskustelu energian säästöstä kattaa hyvin erilaisia asioita. Oleellista onkin tietää sekä ympäristön että talouden kannalta, miten energia on tuotettu, kuinka paljon sitä käytetään sekä millä tavoin sitä käytetään ja mitä hyötyä sen käytöstä on eri olosuhteissa ja ympäristössä. Käyttäjän kannalta onkin tärkeää, toteutuuko energian käytön väheneminen kulutuksesta luopumalla vai energian käyttöä tehostamalla. (Hellgren ym. 1996, 14 - 15.)

Energian käyttö voidaan jakaa välilliseen ja välittömään käyttöön. Välilliseksi energiaksi kutsutaan, energiaa joka on sitoutunut tuotteisiin ja palveluihin. Tähän kuuluvat tuotteiden raaka-aineiden jalostaminen, tuotteiden valmistaminen, kuljetukset sekä tuotteita sekä palveluita hankittaessa käytetty energia. Tämä kattaa noin 56 % koko energian kulutusketjusta. Välittömään energian käyttöön kuuluvat taas enemmän konkreettisemmat asiat, kuten polttoaine, lämpö ja sähkö. Välillisen ja välittömän energian säästön periaate on esitetty kuvassa 2. (Hellgren ym. 1996, 14 - 16.)



Kuva 2. Välillinen ja välitön energian säästö (Hellgren ym. 1996, 15)

Yksinkertaisimmillaan energian säästöä voidaan saada aikaan tehostamalla energian käyttöä, vähentämällä turhaa kulutusta, pienentämällä käyttötarpeita tai muuttamalla yhteiskunnan sekä talouselämän rakennetta. Hyviä kohteita energiansäästämiseen on sähkön ja lämmön tuotannossa, energian siirrossa ja jakelussa sekä käytössä, toisin sanoen siis kaikkialla. Suurimmat säästömahdollisuudet ovat kuitenkin loppukuluttajilla, joista jokainen voi vaikuttaa energian kulutukseen omilla henkilökohtaisilla kulutustottumuksillaan. (Hellgren ym. 1996, 14 - 16.)

### **3.1 Energian tehokas käyttö teollisuudessa**

Merkittävimmät säästömahdollisuudet teollisuudessa ovat melko samanlaisia toimialasta riippumatta. Niiden tunnistaminen (suuruusluokka, vaikutukset, säästöpotentiaali, ym.) vaatii laajaa tarkastelua ja kokemusta joltakin tietyltä toimialalta ja energiatekniikasta (LVI, sähkö, automaatio ym.). (Hellgren ym. 1996, 135 - 137.)

Säästötoimia etsittäessä, harkittaessa ja toteutettaessa on pidettävä mielessä, ettei prosessin toimintaedellytykset heikkene, ja samalla on myös pidettävä huoli siitä, ettei työntekijöiden työskentelyolosuhteet myöskään heikkene. (Hellgren ym. 1996, 135 - 137.)

Tärkeimmät energian säästötoimet ovat usein yksinkertaisia. Laitteiden, valaistuksen ym. käyttöajat on asetettava vastaamaan niiden tarvetta, esimerkiksi ilmanvaihdon käyttö seisokkiaikana ei välttämättä vastaa tarkoitustaan. Myöskään suurta automatisoitua varastohallia ei kannata valaista tasaisesti, vaan keskittää valaistus työntekijöiden ja mahdollisen valvonnan tarpeen mukaisesti. (Hellgren ym. 1996, 135 - 137.)

Laitteiden asianmukainen käyttö ja huolto on ensisijaisen tärkeää energian kulutuksen ja itse laitteen toiminnan kannalta. Esimerkiksi likaiset suodattimet, kuluneet hihnat jne. vaikuttavat merkittävästi laitteiden energiakulutukseen. (Hellgren ym. 1996, 135 - 137.)

Energiansäästömahdollisuudet voidaan paikallistaa karkeasti vertaamalla mitattuja ominaiskulutuksia muiden vastaavan tyyppisten tuotantolaitosten vastaaviin arvoihin. Näitä tietoja ei kuitenkaan ole usein käytettävissä, lisäksi niihin liittyy paljon epävarmuustekijöitä, kuten taserajat ja tuotantoaste. Tarkemman käsityksen tarkasteltavan tuotantolaitoksen taseista saa laskemalla ja vertaamalla niitä teoreettisiin kulutuksiin. Tämä antaa myös pohjan säästöjen vaikutusten tarkkailulle, ja samalla tase toimii myös kulutusseurannan pohjana tulevaisuudessa. (Hellgren ym. 1996, 135 - 137.)

### **3.2 Keinoja energian säästämiseksi**

Energian säästämässä keinoina niin ympäristön kuin talouden kannalta ovat parhaan energiamuodon valitseminen ympäristöä sekä järjestelmää silmällä pitäen, saatavilla olevan uusimman tekniikan hyödyntäminen mikä parantaa tehokkuutta sekä alentaa kuluja ja turhan kulutuksen karsiminen sekä tehokas kierrättäminen. (Hellgren, Heikkinen & Suomalainen 1992, 15 - 17.)

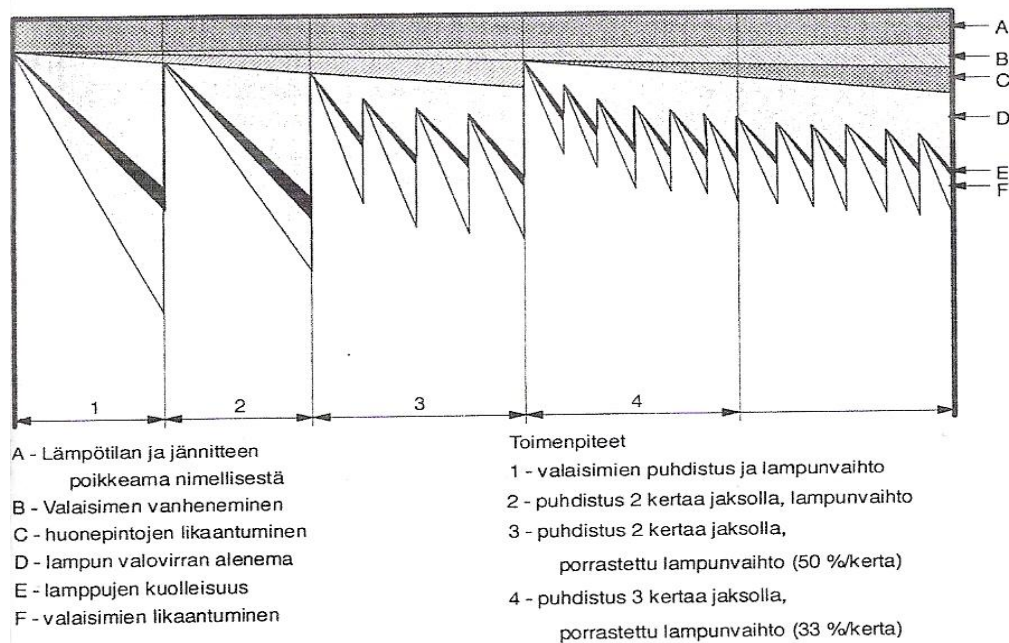
Energian säästäminen kuitenkin synnyttää helposti ristiriitoja, koska aina ympäristöstävällisin vaihtoehto ei ole taloudellisin. Ongelmana on, että energian käyttöön liittyvät ympäristövaikutukset aiheuttavat ns. ulkoisia kustannuksia, jotka eivät suoraan koidu aiheuttajansa maksettavaksi. Lisäksi kyseisiä kustannuksia on vaikea määrittellä. Tämä on johtanut siihen, että energiaa säästäviin tekniikoihin ei ole aiemmin panostettu, koska tämä ei ole ollut taloudellisesti kannattavaa. (Hellgren ym. 1992, 15 - 17.)

### **3.3 Valaistus**

Valaistus työpisteessä on erittäin tärkeä, koska se vaikuttaa radikaalisti työturvallisuuteen, viihtyisyyteen sekä työn tuottavuuteen. Sillä on myös vaikutuksia lämpöenergian kulutukseen, ilmanvaihdon ilmavirtoihin sekä tietyissä tilanteissa jäähdytystehon tarpeeseen. Kuitenkin vaikka valaistus on elintärkeä, sitä voidaan säännöstellä siten, että vain tarvittava alue tuotantotilasta valaistaan, jos osa tuotantotilasta ei ole käytössä. (Hellgren ym. 1996, 151 - 153.)

Myös päivänvalon hyväksi käyttö on mahdollista muutaman metrin levyisellä kaistaleella rakennuksen ulkoseinästä. On myös mahdollista käyttää kattoikkunoita, jolloin saadaan jopa koko tuotantotila valaistua. Päivänvalon hyödyntämisen epäkohtina ovat nopeat valaistustason vaihtelut, joita esimerkiksi pilvet aiheuttavat sekä suuri lämpökuorma, joka voi aiheuttaa yllilämmön tuulettamistarvetta. (Hellgren ym. 1996, 151 - 153.)

Valaisimien valotehoon vaikuttaa niiden likaisuus. Tarvittava puhdistusväli määräytyykin tuotantotilan valaistustehon, valaisintyyppien ja tuotannon likaavuuden perusteella, kuten kuvasta 3 selviää. Myös seinäpintoihin tulee kiinnittää huomiota, koska tuotanto likaa myös niitä ja tämä aiheuttaa edelleen pimenemistä. Säännöllinen huolto molempia sekä valaisimia että seiniä kohtaan onkin edellytys tehokkaalle sähkön käytölle valaisussa. Valaisinten ja lamppujen puhdistuskustannuksiin vaikuttavat mm. valaisinten rakenne, sijoitus ja asennustapa, puhdistuksen suorittaja, puhdistuksen ajankohta ja suoritusväli sekä apuvälineiden tarve. (Hellgren ym. 1996, 151 - 153.)



Kuva 3. Valaistusvoimakkuutta alentavat tekijät sekä huollon merkitys valaistusvoimakkuuden ylläpitämiseksi (Hellgren ym. 1996, 153)

Taulukosta 1 selviää, että valaistuksessa ei tule vertailla ainoastaan lamppuja ja valaisimia, vaan vertailu on tehtävä koko valaistusasennus huomioon ottaen. (Hellgren ym. 1996, 152)

Lamput	Valaisimet
<ul style="list-style-type: none"><li>• Valaistuksen laatuvaatimukset</li><li>• Hankintahinta</li><li>• Energiakustannukset</li><li>• Vaihtokustannukset</li><li>• Ympäristön lämpötila</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Asennettavuus ja huollettavuus</li><li>• Teho liitännälaitteineen</li><li>• Hankintahinta</li><li>• Valaistuksen laatuvaatimukset</li><li>• Valaistushyötysuhde</li><li>• Hyötysuhteen pysyvyys</li></ul>

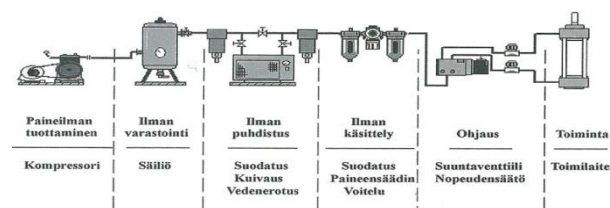
Taulukko 1. Lamppujen ja valaisimien valintaan vaikuttavia seikkoja (Hellgren ym. 1996, 152)

Käytännössä suuria säästöjä saadaan sijoittamalla valaisimia paikkoihin, joissa valoa tarvitaan, ja varmistamalla, että kontrastinmuodostus kohteessa on mahdollisimman hyvä. (Hellgren ym. 1996, 152)

### 3.4 Paineilmajärjestelmä

Toimiva paineilma järjestelmä koostuu (Kuva 4) Kompressorista

- Paineilman jälkikäsittelylaitteista
  - Paineilmasäiliöistä (joka ei aina ole välttämätön)
  - Paineilmaverkostosta
  - Toimintaa ohjaavista venttiileistä
  - Toimilaitteista, kuten sylintereistä ja moottoreista
- (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 23).



Kuva 4. Paineilmajärjestelmä laitteineen (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 9 - 10)

Prosessin alussa ilma otetaan imusuodattimen kautta kompressorille joka tuottaa itse paineilman. Kompressorin käyntiä ohjaa sähköinen ohjausjärjestelmä, joka pyrkii tasaamaan painevaihtelut ja häviöt sekä kuormittamaan kompressoria tasaisesti. Kompressorihuoneessa on usein myös säiliö, joka varastoi paineilmaa. Tässä vaiheessa paineilma myös puhdistetaan liiasta öljystä, vedestä sekä likapartikkeleista öljynerotin, jäähdyttimeen ja suodattimen avulla. (Ellman ym. 2002, 9-10.)

Tämän jälkeen ilma voidaan päästää paineilmaverkkoon, joka voi olla kilometrien pituinen. Paineilmaverkon tehtävän on siirtää paineilma käyttökohteille. Verkon paine on yleensä 6-8 bar, ja se vaihtelee kulutuksen ja kompressoreiden käynnin mukaan. Paineilma tuodaan käyttökohteille huoltoyksikön kautta, joka käsittelee ilman käyttökohteelle sopivaksi. Huoltoyksikkö koostuu vedenerotimesta, suodattimesta, paineenalennusventtiilistä ja joskus siinä voi olla myös voitelulaite. Paineenalennusventtiilin tehtävänä on tasata verkkopaineen vaihteita, ja tyypillinen työpaine käyttökohteessa on noin 5 bar. (Ellman ym. 2002, 9-10.)

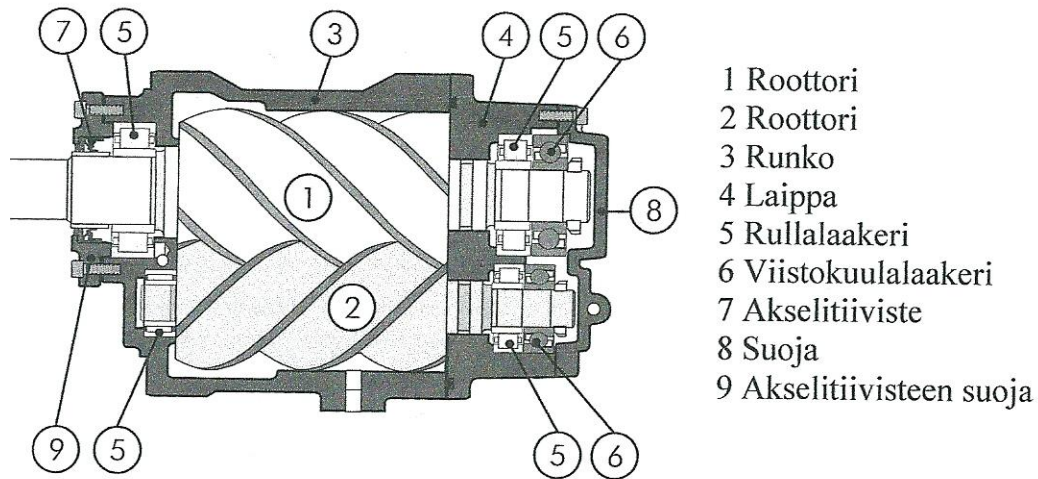


Toimilaitteiden ohjaus tapahtuu venttiiliryhmillä, jotka ohjaavat virtausteiden avautumista ja sulkeutumista toimilaitteelle ja täten päästään ohjaamaan toimilaitteille menevän ilmavirtauksen suuntaa ja nopeutta. Toimilaitteiden työkammioiden saapuva paineilma luo sylinteriin paineen, joka saa aikaan toimilaitteen työliikkeen. Vastaavasti sylinterikammion paluupuolelta poistuva paluuilma päästetään takaisin ilmaan. (Ellman ym. 2002, 9 - 10)

Käytännössä kompressorin aksiaalitehosta yli 90% poistuu jäähdytyksen (vesi, ilma) yhteydessä. Tätä lämpöä voi hyödyntää esimerkiksi veden lämmityksessä, lumen sulatuksessa talvella, pesuveden lämmityksessä. Hyödyntämiskäsit on tehtävä tapauskohtaisesti. (Hellgren ym. 1996, 155.)

### **3.4.1 Ruuvikompressorit**

Tehtaalla olevat kompressorit on toimintaperiaatteeltaan ruuvikompressoreita, kuten kuvassa 5, joissa puristus tapahtuu ruuvi- ja luistiroottorin väliin jäävissä urissa. Roottoreiden ympärillä oleva pesä tiivistää roottoreiden ulko- ja pääty-pinnat. Ominaisista ruuvikompressorille on sykkeetön paineilman tuotto, koska ruuvit puristavat ilmaa tasaisesti, toisin kuin esimerkiksi mäntä kompressorissa. Kompressorin jälkeen painesäiliö ei ole välttämätön. Ruuvikompressoreita voi olla kahdenlaisia: toisessa roottorit koskettavat toisiaan jolloin tarvitaan öljyvoitelu ja painesuhde on 13-15, ja toisessa mallissa roottorit ei kosketa toisiaan, jolloin öljyvoitelu ei ole tarpeellinen, mutta paine suhde on selvästi pienempi ollen 3-5 välillä. (Keinänen ym. 2005, 27.)



Kuva 5 Ruuvikompressorin rakenne (Ellman ym. 2002, 44)

Ruuvikompressorit eivät tarvitse imu- ja paineventtiileitä, vaan ilma kulkee imuaukosta sisään ja paineaukosta ulos. Tuoton säätöä voidaan muuttaa käyntinopeutta säätämällä esimerkiksi sähkömoottorin taajuusmuuttajaohjauksella, pysäytys- käynnistysautomaatiikalla, imuvirtausta kuristamalla tai kierrättämällä painevirtausta takaisin imupuolelle. (Keinänen ym. 2005, 28.)

### 3.4.2 Paineilman käyttö

Paineilmaa käytetään teollisuudessa mm. sen turvallisuuden vuoksi. Paineilman energiansäästömahdollisuudet voidaan luokitella seuraavasti:

- edullisemmat käyntiolosuhteet
- mahdollisimman alhaisen paineen käyttö
- ilmakäyttöisten laitteiden tehokas toiminta ja ennakoiva huolto
- vuotojen estäminen ja tarpeettoman käytön lopettaminen
- puristuslämmön talteenotto

Paineilman tuottamiseen käytettävän imuilman tulee olla ominaisuuksiltaan viileää, puhdasta ja kuivaa. Sateelta ja ympäristön pölyämiseltä suojattu ilmanottoaika täyttää parhaiten edellä mainitut vaatimukset. Lisäksi imukanavan tulee olla lyhyt ja väljä. (Hellgren ym. 1996, 153.)

### 3.4.3 Paineilmavuodot

Käytön yhteydessä kuluneet laitteet ym. alkavat vuotaa, mikä saattaa vastata kymmenien prosenttien kulutusta järjestelmän kokonaiskapasiteetista. Koska vuoto on jatkuvaa, siitä kertyy merkittävä kustannuslisä. (Taulukko 2.)

Reikäkoko (mm)	Ilmavirta (l/s)	Tehontarve (kW)	Energia (MWh/a)	Kustannukset (eur/a)
1	1,1	0,4	1,5	114
2,5	9,8	3,5	13	988
5	27	10	36	2736
10	108	38	137	10412
Ylipaine 600 kPa, energian hinta 76 e/MWh				

Taulukko 2. Paineilmaverkoston vuodoista aiheutuvat rahalliset häviöt vuodessa (Hellgren ym. 1996, 154)

Tyypillisiä vuotokohtia ovat liittimet, joiden kuntoa on tarkkailtava säännöllisesti. Parhaiten tarkastuksen pystyy suorittamaan seisokkiaikana, jolloin muut äänet eivät peitä verkostovuotojen aiheuttamaa ääntä. Vuodot tulisi tutkia kolmen kuukauden välein. (Hellgren ym. 1996, 154.)

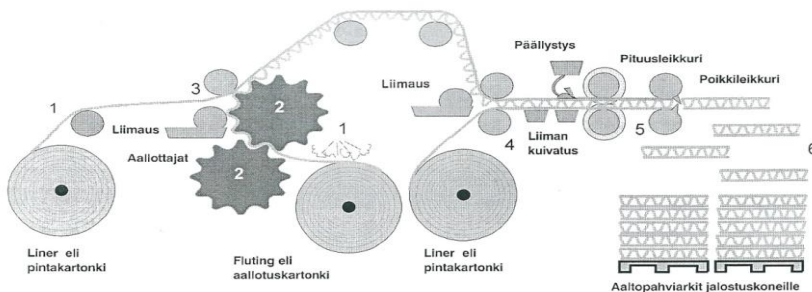
## 4 Aaltopahvikoneen aallottajan jäähdytysveden ohjaaminen sadevesiviemäriin

Aaltopahvikoneiden molempien aallottajien jäähdytysjärjestelmän lävitse kulkee joka tunti keskimäärin 2,5 m<sup>3</sup> vettä, ja tällä hetkellä tämä vesimäärä ohjataan kaupungin jätepuhdistusverkkoon. Tästä johtuen jätevesimaksut ovat nostaneet kustannuksia tehtaalla.

Tehtävänäni on tutkia, onko tätä vesimäärää mahdollista ohjata tehtaalla olevaan sadevesiviemäriin. Mitään erillistä puhdistusta prosessille ei tarvita, koska vesi ainoastaan jäähdyttää aallottajaa ja täten siihen ei siirry mitään haitallisia yhdisteitä.

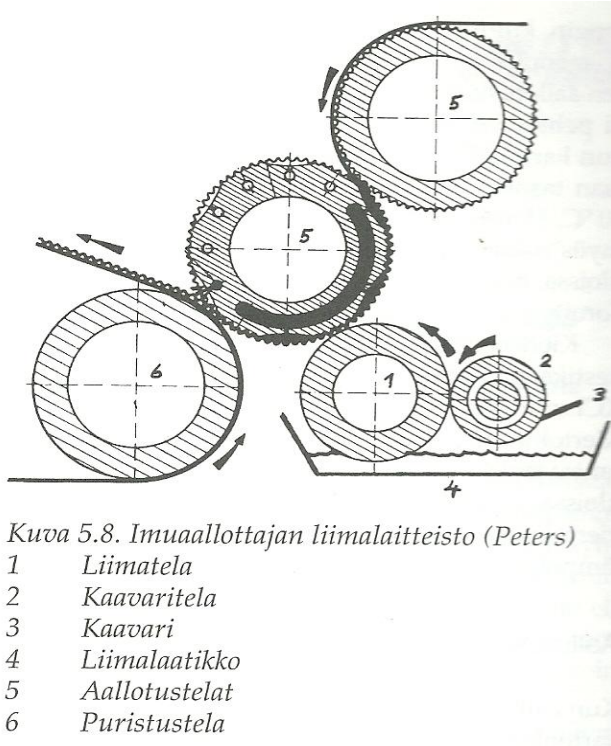
### 4.1 Aaltopahvikone

Aaltopahvikone, kuvassa 6, on tuotantokone, joka valmistaa aaltopahviarkkeja jatkojalostusta varten käyttäen raaka-aineena kartonkirullia ja liimaa. (Laakso & Rintamäki 2000, 33).



Kuva 6. Aaltopahvikoneen toimintaperiaate (BHS koulutusmateriaali 2008)

Aaltopahviarkin valmistus aaltopahvikoneessa alkaa, kun määrässä päässä rullapukilta purkautuva aallotuskartonki lämmitetään ensin esilämmitys sylinterillä, kostutetaan höyryllä ja aallotetaan telojen välissä. Heti tämän jälkeen levitetään aallonharjoille liima. Samanaikaisesti toiselta puolelta aallottajaa puretaan rullalta pintakartonkia eli laineria, joka myös lämmitetään ja puristetaan kiinni aallotuskartongin aallonharjoihin (Kuva 7). Täten muodostuu liimasauma ja syntyy yksipuolinen aaltopahvirata, joka laskostetaan ylös sillalle. (Laakso ym. 2000, 34 - 37)



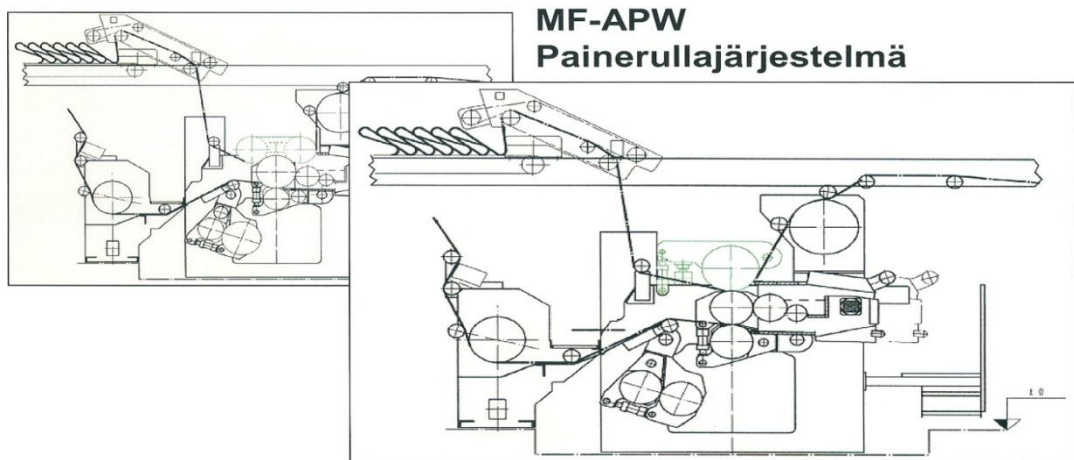
Kuva 7. Aallotustapahtuma (Laakso ym. 2000, 42)

Yksipuolinen aaltopahvirata johdetaan esilämmityksen kautta liimausyksikölle, jossa myös toiselle puolelle aallonharjoja levitetään liima. Esilämmitetty kolmas kartonkirata liitetään tätä liimaa vasten arinaosalla, jolloin lopullinen aaltopahvirakenne muodostuu. Arinan jälkeen seuraa kuivapää, jossa pituusleikkurilla rataan tehdään nuuttaukset ja samalla rata leikataan useammaksi osaksi. Lisäksi radasta leikataan reunat siistiksi. Tämän jälkeen rata johdetaan poikkileikkurille, joka arkittaa radat. Viimeisenä vaiheena on aaltopahvikoneella vastaanottolaitteet, jossa valmiit arkit pinotaan ja siirretään välivarastoon odottamaan jalostamista. (Laakso ym. 2000, 37 - 42)

## 4.2 Aallottaja

Aallottaja on yksinkertaisesti sanottuna eri laitteista koostuva kone, jolla tehdään aaltopahville tunnusomainen aaltorakenne. Tämä tapahtuu, kun fluting ajetaan harkkotelojen läpi, jonka jälkeen puristustela tai hihna, kuten kuvasta 8 ilmenee, puristaa aallotuskartongin pintakartonkia vasten, jolloin liimasauma syntyy. Itse liimalaitteisto muodostaa oman itsenäisen yksikkönsä, ja se liikkuu omana kokonaisuutena muuhun aallottajaan nähden. (Laakso ym. 2000, 44 - 46)

### MF-APB Hihnapainejärjestelmä

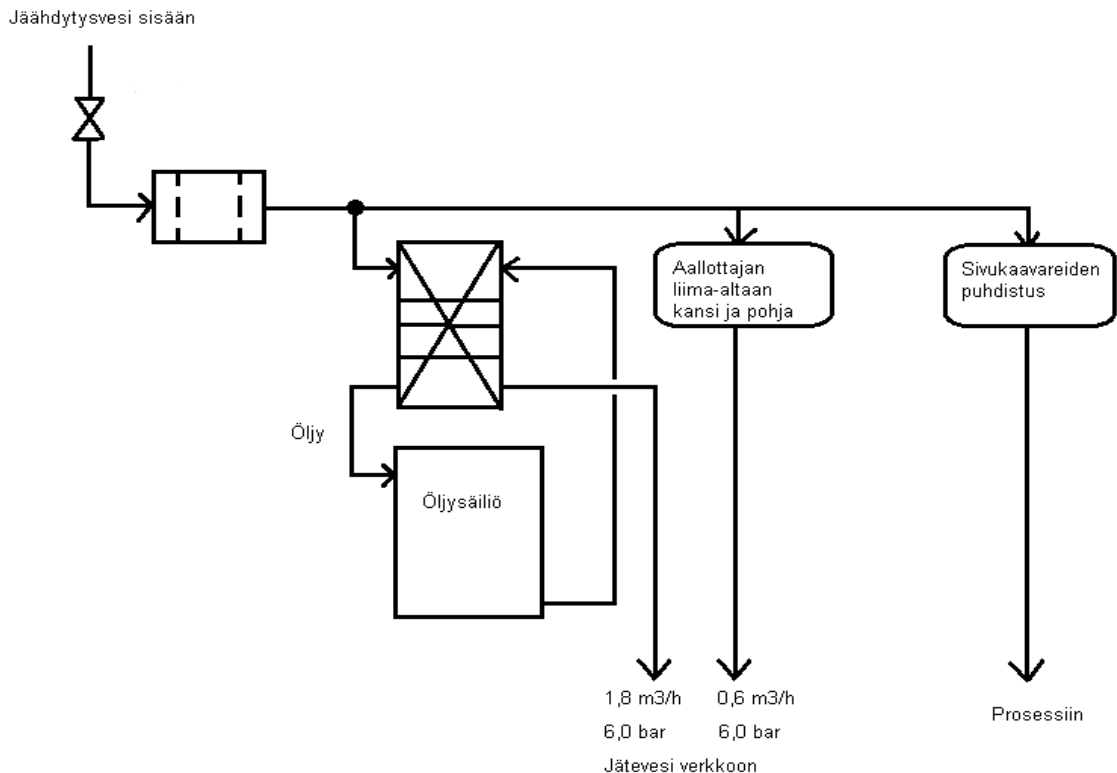


Kuva 8. Hihnapainejärjestelmällä ja painerullajärjestelmällä toimiva aallottaja (BHS koulutusmateriaali 2008)

Lisäksi aallottajassa on kartonkien lämmittämiseen esilämmityssylintereitä tai -teloja, joilla voi samalla säädellä lopputuotteen suoruutta ja kosteutta. Aallotuskartongin kostutukseen on oma kostutushöyrylaatikko, joka sijaitsee juuri ennen harkkoteloja. (Laakso ym. 2000, 44 - 46)

#### 4.2.1 Jäähdytysjärjestelmä

Aallottajan jäähdytysjärjestelmä (Kuva 9) toimii jäähdytysvedellä, joka pumpataan läheisestä järvestä aallottajalle. Jäähdytysveden tullessa sisään se menee suodattimelle, joka erottelee isommat epäpuhtaudet sekä partikkelit virtaamasta. Tämän jälkeen virtaama menee jakotukille, joka ohjaa noin 75 % jäähdytysvedestä lämmönsiirtimelle joka jäähdyttää hydraulikkaöljyn sekä toiseksi jakotukki ohjaa noin 25 % jäähdytysvedestä aallottajan liima-altaalle sekä hyvin pienen osan sivukaavareiden puhdistusruiskuille, joiden ruiskuttama vesi sekoittuu liiman mukaan. Veden poistuma tapahtuu kahta eri reittiä, jotka molemmat laskevat aallottajan kanaaliin, josta virtaama kulkeutuu kaupungin jätevesiverkoon.

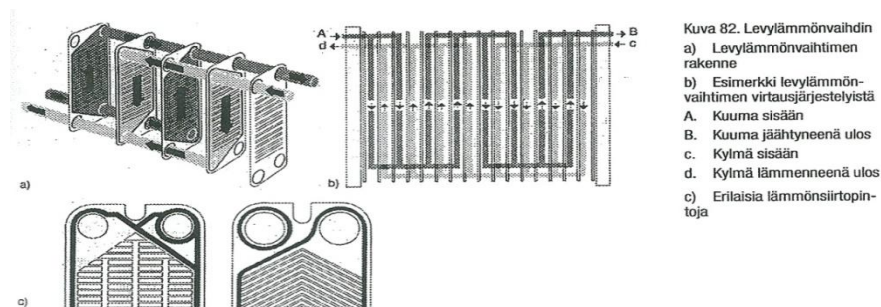


Kuva 9. Aallottajan jäähdytysjärjestelmä

Jäähdytys järjestelmän pääasiallisena tehtävänä on jäähdyttää aallottajan hydraulikan vaatimaa öljyä sekä jäähdyttää liima-allasta, jossa jäähdytys ehkäisee liiman ennenaikaista gelatinoitumista eli jähmettymistä. Pieni osa vedestä menee aallottajan sivukaavareiden puhdistusruiskuille, mitkä tietyin väliajoin ruiskuttaa vettä kaavareiden päihin pitäen sivukaavarit puhtaina liimakovettumista.

## 4.2.2 Levylämmönsiirrin

Levylämmönvaihtimen toiminta (Kuva 10) perustuu johtumisilmiöön, jossa lämpö siirtyy suurempienergisestä aineesta pienempienergiseseen aineeseen ja sen käyttökohteita ovat lämmitys- ja jäähdytystarpeet eri teollisuuden aloilla sekä LVI-tekniikassa. Levylämmönsiirrin koostuu vierekkäisistä, yhdensuuntaisista levyistä, joiden lukumäärä voi vaihdella lämmönsiirtotarpeen mukaisesti. (Pihkala 2007, 76-77)



Kuva 10. Levylämmönsiirtimen periaate (Pihkala 2007, 77)

Levyt on yleensä muotoiltu erilaisten urien avulla, ja ne tiivistyvät toisiaan vasten reunoilla olevilla tiivisteillä. Joka toisessa välissä virtaa kylmä ja joka toisessa välissä kuuma väliaine. (Pihkala 2007, 76 - 77.)



Kuva 11. Levylämmönsiirrin eli jäähdytin

Kuvassa 11 on aallottajan jäähdytin, joka toimii vastavirta periaatteella siten, että kylmä vesi jäähdyttää lämpimän hydraulikkaöljyn. Tämän jälkeen öljy palaa jäähtyneenä öljysäiliön kautta takaisin kiertoön ja jäähdytysvesi lasketaan viemäriin.



## 5 Putkilinjan laskenta

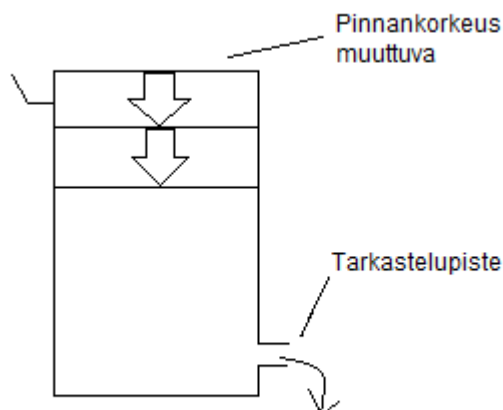
Laskettaessa putkilinjaa tärkeimpinä parametreina voidaan pitää virtaamaan määrää, virtaaman nopeutta, virtaavaa ainetta, putkiston pituutta, putken halkaisijaa, virtauksen painetta ja siitä aiheutuvaa virtaavan aineen virtaustyyppiä, erilaisia vastuksia, joita esimerkiksi putkennostosta aiheutuu sekä erinäisistä kertavastuksista, joita esimerkiksi mutkat ja venttiilit aiheuttavat sekä sitä että paljon tässä työssä tutkittava jäähdyttäjä kestää vastapainetta rikkoontumatta.

Myös normaalista poikkeavat virtaukset tulee ottaa laskuissa huomioon, koska ne voivat aiheuttaa mm. kavitaatiota ja sitä kautta putkistoa vaarantavia paineiskuja.

### 5.1 Epävakaa- ja vakaavirtaus

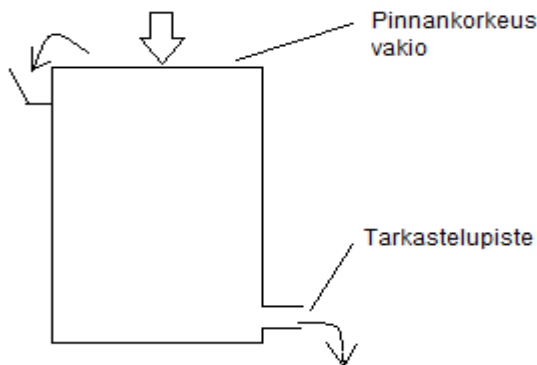
Toiminnallisen suunnittelun kannalta tärkeimmät virtaustilat jaetaan epävakaisiin ja vakaisiin virtaustiloihin (Uimonen 2007).

Epävakaa virtaustila voidaan fysikaalisesti määritellä siten, että virtaamatila on riippuvainen ajasta tarkasteltavassa putkiosassa ja virtausnopeus on muuttuva. Epävakaa tilanne syntyy aina, kun virtaustilanteeseen tehdään tai siinä tapahtuu muutoksia (Kuva 12). Esimerkiksi pumpun tuoton muutos ja jokainen venttiilin asennon muutos aiheuttaa muutosta virtaamassa. (Uimonen 2007.)



Kuva 12. Epävakaavirtaus

Vakaa virtaustila voidaan fysikaalisesti määritellä siten, että virtaamatila ei muutu tarkasteltavassa pisteessä (Kuva 13). Käytännössä virtaustilannetta kutsutaan vakaaksi silloin, kun muutostilanteiden vaikutukset ovat lakanneet tai ovat niin vähäisiä, ettei niillä ole merkittävää vaikutusta. (Uimonen 2007.)



Kuva 13. Vakaa- eli tasainen virtaus

Tarkasti katsoen täysin vakaata tilaa ei ole, sillä aina on pientä muutostilaa ja siitä aiheutuvia vaikutuksia.

## 5.2 Virtaustyytit

Virtaus suljetuissa putkissa ja kanavissa voi olla luonteeltaan joko laminaarista tai turbulენტista. Laminaarisen virtauksen hyödyntäminen teknisissä sovelluksissa on melko harvinaista. Hydraulisisissa järjestelmissä laminaarivirtausta kuitenkin esiintyy. Ilmastointikanavissa, paineilma-, vesijohto- ja höyryverkostoissa sekä lämpövoimakoneissa turbulენტinen virtaus on vallitsevin. Syy tähän on, että erittäin hitaat virtaukset, jotka johtavat laminaarisen virtauksen syntymiseen, ovat yleensä epätaloudellisia, koska ne johtavat suuriin poikkipintadimensioneihin ja täten raaka-ainekustannukset nousevat liian suuriksi. Positiivisena puolena laminaari virtauksessa voidaan pitää alhaisempia energiakustannuksia, silti tämä ei korjaa taloutta riittävästi. Kaikkien kanavien ja putkistojen suunnitte-

lu on parhaimmillaan optimointia, jolla pyritään pääsemään kustannusminimiin, kun huomioon otetaan valmistus-, materiaali-, asennus- ja käyttökustannukset. Käyttökustannuksiin luetaan tässä huolto-, korjaus- ja energiakustannukset. (Perttula & Söderström 2000, 64 - 67.)

### 5.2.1 Reynoldsin luku

Reynoldsin luku eli lyhennettynä Re on paljas luku, ja sen suuruudesta voidaan päätellä virtauksen luonne. Reynoldsin luku määritetään yhtälöllä 1. (Perttula ym. 2000, 64 - 67. )

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot w}{\eta} \quad (1)$$

w virtausnopeus [m/s]

d karakteristinen pituus, pyöreällä putkella sisähalkaisija [m]

$\eta$  dynaaminen viskositeetti [mPas]

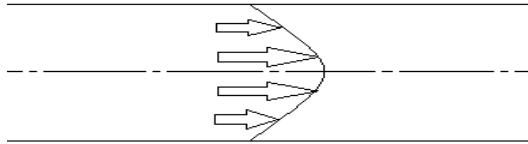
$\rho$  virtaavan aineen tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

Kun  $Re < 2320$ , on kyseessä laminaarinen virtaus. Alueella 2320 - 10000 on virtaus siirtymävaiheessa laminaarisesta virtauksesta turbulenttiseen virtaukseen. Virtaus on täysin turbulenttinen, kun Reynoldsin luku ylittää 10000. (Perttula ym. 2000, 64 - 67. )

### 5.2.2 Laminaarinen virtaus

Laminaarista putkivirtausta voisi kuvata päällekkäin olevilla ohutseinämäisillä putkilla ja, kun kaikkien putkien poikkileikkauspinta-aloihin kohdistetaan sama paine, ne alkavat liukua toistensa suhteen. Näistä keskellä oleva ohut tanko liikkuu ulkopuoliseen tarkkailijaan nähden suurimmalla nopeudella. Putkien (rengasmaisten nestekerrosten) liukuminen toistensa suhteen kuluttaa mekaanista työtä, joka on kehitetty pumpulla tai puhaltimella. Uloimman putken voi-

daan katsoa olevan paikallaan, joten putken tai kanavan pinnanlaatu ei vaikuta laminaariseen virtausvastukseen. Tarkasteltaessa virtausprofiilia kuvassa 14 huomataan sen olevan parabolinen. (Perttula ym. 2000, 64)

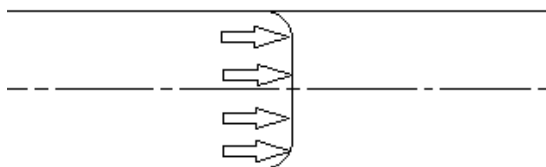


Kuva 14. Laminaarisen virtauksen nopeusprofiili putkessa (Perttula ym. 2000, 65)

Nopeusprofiilin takia nestekerrokset eivät sekoitu toisiinsa, jonka voi todistaa suihkuttamalla väriainetta virtaukseen tämän muuttuessa näkyväksi vanaksi virtauksessa toisin kuin turbulentsissa virtauksessa, jossa väriaine sekoittuisi nesteeseen. (Perttula ym. 2000, 64 - 67.)

### 5.2.3 Turbulenttinen virtaus

Turbulenttinen virtaus syntyy, kun virtausnopeus nousee riittävän suureksi ja täten putken tai kanavan seinämissä olevat neste- tai kaasuosaset tempautuvat virtauksen mukaan ja synnyttävät pyörteitä. Kerroksittainen virtaus häiriintyy sitä enemmän, mitä suuremmaksi virtaus kasvaa, eikä täten lopulta ole havaittavissa ollenkaan kerroksittaista virtausta (Kuva 15). (Perttula ym. 2000, 67.)



Kuva 15. Turbulenttisen virtauksen nopeusprofiili putkessa (Perttula ym. 2000, 67)

Verrattuna laminaariseen virtaukseen turbulenttisessa virtauksessa energiaa kuluu enemmän, koska virtauksen pyörteiden synnyttäminen sekä virtaavan aineen sisäisen kitkan voittaminen pintaa lähellä olevassa rajakerroksessa kulluttaa sitä. Koska pinnan lähellä virtausnopeus on pieni, esiintyy siinä myös laminaarista virtausta. Tämä kuitenkin rikkoontuu jatkuvasti. Hyvänä käyttökohteena turbulenttiselle virtaukselle on erilaiset lämmönvaihtimet, joissa lämmön siirtyminen tapahtuu huomattavasti tehokkaammin, kun pinnassa ei ole lähes seisovaa lämpövastuksena toimivaa kerrosta vaan se joutuu kosketuksiin jatkuvasti uusien virtaavien aineen osasten kanssa, joiden lämpötila poikkeaa huomattavasti pinnan lämpötilasta. (Perttula ym. 2000, 66 - 67.)

Turbulenttisen virtauksen olemuksen takia vaikuttaa pinnan laatu painehäviöön, ja vaikutus on luonnollisesti sitä suurempi, mitä epätasaisempia pinnat ovat. Virtausprofiili on sitä tasaisempi mitä suurempi Reynoldsin luku on, ja mitä pienempi pinnankarheuden  $k$ -arvo on. Pinnankarheuksille on olemassa valmiita arvoja, ja ne riippuvat materiaaleista ja valmistusmenetelmistä (Taulukko 3). (Perttula ym. 2000, 66-67.)

Putkityyppi	Sisäpinnan laatu	Karheus, [mm] Laskelmissa ohjearvona
Vedetyt putket, (messinki,alumiini)	Uusi sileä	0,0050
kupariputket	Uusi sileä	0,1500
Teräsputket	Uusi, sileä	0,0450
Muoviputket	Uusi, sileä	0,0050
Komposiittiputket	Uusi, sileä	0,0004

Taulukko 3 ohjearvoja eri karheuksille (Laiho 1991, Liite 6)

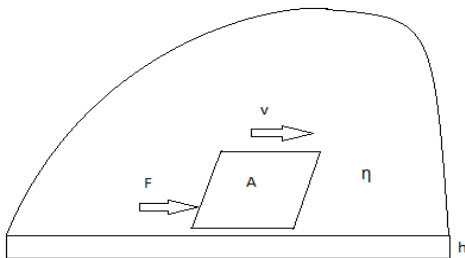
Laskennassa tulisi aina huomioida se taso, johon pinnankarheus normaaleissa käyttöolosuhteissa tulee asettumaan. Laskennassa olisi hyvä pohtia seuraavia seikkoja, kuten aiheuttaako virtaus putkeen syöpymiä, tuleeko putken sisäreunaan kerrostumia johtuen virtaavassa aineessa olevista epäpuhtauksista ja mahdollisista pieneliöistä jne. (Perttula ym. 2000, 66 - 67.)

### 5.3 Dynaaminen viskositeetti

Dynaaminen viskositeetti kuvaa nesteen tai kaasun kitkaominaisuuksia. Nesteiden dynaaminen viskositeetti laskee lämpötilan kohotessa, mutta paineen vaikutus on käytännöllisesti katsoen olematon. Vertailuna öljyjen dynaaminen viskositeetti saattaa olla satoja kertoja suurempi kuin veden. Kaasujen dynaaminen viskositeetti, päinvastoin kuin nesteiden, kasvaa lämpötilan kasvaessa. Myös paineen lisääntyminen kohottaa normaalisti esiintyvillä painealueilla lievästi kaasujen dynaamista viskositeettia. (Hellgren ym. 1996, 65.)

Viskositeetin vaikutusta voidaan tarkastella kuvassa 16, jossa pinnalla kelluvaa levyä työnnetään eteenpäin nestekerroksessa. Kelluvan levyn työntämiseen tarvittava voima on suoraan verrannollinen levyn pinta-alaan, nopeuteen ja kääntäen verrannollinen nestekerroksen paksuuteen sekä suoraan verrannollinen nesteen dynaamiseen viskositeettiin  $\eta$ . (Hellgren ym. 1996, 65.)

$$F = \frac{\eta \cdot A \cdot v}{h} \quad (2)$$



Kuva 16. Voima F työntää levyä nestekerroksen pinnalla nopeudella v

Mittaamalla levyn liikuttamiseen vakionopeudella v tarvittava voima F voidaan myös periaatteessa laskea tuntemattoman nesteen dynaaminen viskositeetti  $\eta$ , kun nestekerroksen paksuus h ja levyn pinta-ala on tunnettu. (Hellgren ym. 1996, 65.)

## 5.4 Virtaamaan vaikuttavat häviöt

Virtaushäviöt voidaan jakaa kahdeksi ryhmäksi: matkahäviöiksi ja kertahäviöiksi, joiden summa kertoo (Kaava 3) linjan kokonaishäviön (Perttula 2000, 73).

$$h_f = h_{f\text{matkahäviö}} + h_{f\text{kertahäviöt}} \quad (3)$$

Virtauksen häviöt riippuvat virtauksen luonteesta ja eräistä muista seikoista, joista esimerkiksi seinämän karheus on eräs häviöön vaikuttava suure. Laminaarisessa virtauksessa häviöitä ei synny merkittävästi, kuten turbulentsissa virtauksessa. (Perttula 2000, 73.)

### 5.4.1 Matkahäviö

Virtauksen matkavastuskerrointa kuvataan symbolilla  $\lambda$ .  $\lambda$  on laaduton luku, ja se riippuu pinnan karheudesta ( $k$ ), putken halkaisijasta ( $d$ ), virtausnopeudesta ( $v$ ), tiheydestä ( $\rho$ ) sekä fluidin dynaamisesta viskositeetista ( $\eta$ ). Matkavastuskerroimen laminaarisessa virtauksessa voi määrittää kaavalla. (Perttula 2000, 66)

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (4)$$

Turbulentsin virtauksen matkavastuskerroimen voi määrittää joko nomogrammista, jota myös Moodynkäyrästöksi kutsutaan tai laskea numeerisesti tarkoitukseen kehitetyillä yhtälöillä (Uimonen 2007).

$$\lambda = \left(2,0 * \log\left(\frac{k}{3,7} - \frac{5,02}{\text{Re}} * \log\left(\frac{k}{3,7} + \frac{13}{\text{Re}}\right)\right)\right)^{-2} \quad (5)$$

Paineen lasku eli painehäviö  $\Delta p$  L-mittaiselle putkelle on laskettavissa seuraavasti (Perttula 2000, 66) :

$$\Delta p = \frac{\lambda * \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * v^2 * L}{d} \quad (6)$$



Paineenalenemisesta aiheutuva matkahäviö ( $h_{f \text{ matkahäviö}}$ ) saadaan laskettua kaavalla 7 (Perttula 2000, 66) :

$$h_{f \text{ matkahäviöt}} = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{w^2}{2 * g} \quad (7)$$

#### 5.4.2 Kertavastukset

Kertavastuksella tarkoitetaan yleensä lyhyehköllä matkalla tapahtunutta painehäviötä, joka ei johdu virtauksen luonteesta eikä pinnanlaadusta vaan ainoastaan virtaavan aineen tiheydestä, nopeudesta sekä virtausta ohjaavista muodoista, joita aiheuttaa muun muassa erilaiset komponentit, kuten suodattimet, venttiilit, mutkat yms. Komponenttien valmistajat antavat kertavastuskertoimien arvoja, joista painehäviön pystyy laskemaan kiinnityskohdassa vallitsevan nopeuden mukaan. Kertavastukset lasketaan samalla kaavalla sekä laminaarisesta että turbulentsisesta virtauksesta. Nestevirtauksissa kertavastusten osuus on yleensä vähäinen, ellei oteta huomioon virtauksen säätöön tarkoitettuja venttiilejä, joiden toiminta perustuu muutettavissa olevaan kertavastukseen. Kertahäviö voidaan laskea kaavalla 8. (Perttula 2000, 68.)

$$h_{f \text{ kertahäviö}} = \delta * \frac{v^2}{2 * g} \quad (8)$$

Kertavastukset voidaan yhdistää, jos putkilinjan läpimitta on sama (Kaava 9).

$$h_{f \text{ kertahäviöt}} = (\sum \delta) * \frac{v^2}{2 * g} \quad (9)$$

Kaasuvirtauksessa kertavastusten osuus kokonaisvirtausvastuksissa saattaa helposti kohota suuremmaksi kuin kanavan tai putken kitkavastus.

## 5.5 Nostokorkeuden määrittäminen

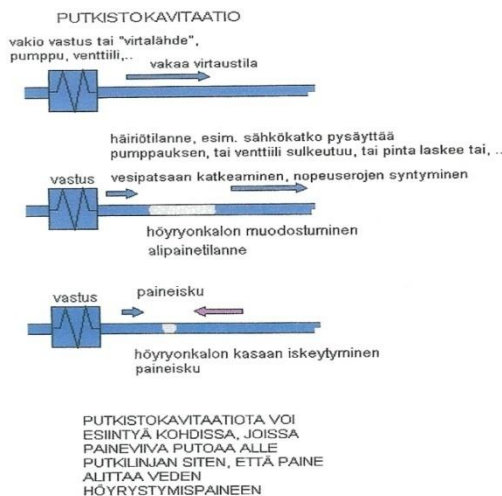
Energian säilymislain perusteella saman hiukkasen kokonaisenergia pisteessä  $h_1$  on sama kuin pisteessä  $h_2$  ja tähän voidaan myös lisätä häviökorkeus  $h_f$ . Tämä voidaan laskea yhtälöllä 10, jota myös Bernoullin yhtälöksi kutsutaan. (Uimonen 2007)

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_f \quad (10)$$

Bernoullin yhtälö on energiayhtälö ja se kertoo mm. sen että, virtausnopeuden kasvaessa paine pienenee. Yhtälön ensimmäinen termi kuvaa hydrostaattista painetta toinen staattista painetta, ja kolmas dynaamista painetta. Termi  $h_f$  kuvaa häviökorkeutta (Uimonen 2007).

## 5.6 Kavitaatio

Kavitaatio on tilanne, jota voi esiintyä putkistoissa, pumpeissa ja venttiileissä. Kuvassa 17 esitetään kavitaatioilmiö, jossa nesteen paine alittaa höyrystymispaineen, jolloin nesteestä alkaa erottua höyrykuplia, jotka joutuessaan tilaan, jossa paine jälleen ylittää höyrystymispaineen, romahtavat kasaan aiheuttaen paikallisen paineiskun. Kuplan iskeytymisnopeus putkiseinämään voi saavuttaa jopa lähes 100 m/s nopeuden, jolloin paikallinen paineisku nousee huomattaviin arvoihin ja vaurioittaa materiaalia ja aiheuttaa melua. (Pulli 2009, 26.)



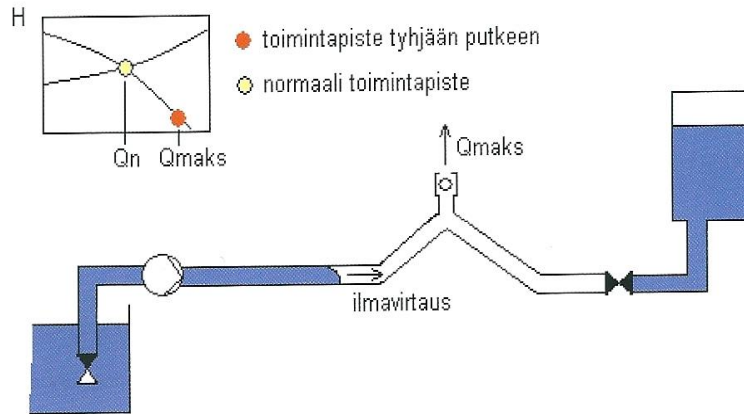
Kuva 17. Putkistokavitaation synty

Ilmiö voidaan teoriassa mallintaa laskentaohjelmilla, tässä kavitaatiokohta muodostaa tilapäisen reunaehdon jakaen putkilinjan tietystä kohdasta siksi ajaksi, kun paine on höyrystymispaineen tasolla. Koska tilanteeseen liittyy lähinnä lähtötiedoista johtuvia epävarmuustekijöitä, voidaan todeta, että paras suunnittelu on sellainen, jossa kavitaatiotilaa pyritään välttämään. (Pulli 2009, 25 - 27.)

Paineisku voi kehittyä järjestelmän kannalta vaaralliseksi, jos alipaine yhdistettynä mahdolliseen ulkopuoliseen kuormaan (mm. vesistö, liikenne) ylittää putken/komponenttien alipainekestoisuuden tai syntyvä ylipaine ylittää putken/komponenttien ylipainekestoisuuden. (Pulli 2009, 32 - 42.)

Linjan täytössä on aina olemassa paineiskuriski, koska sen yhteydessä voi syntyä järjestelmälle vaarallisen suuria virtausnopeuksia, jotka ylittävät huomattavasti normaalin suunnitellun käyttöarvon. Suurivirtausnopeus voi johtua esimerkiksi siitä, että tyhjän linjan staattinen nostokorkeus on vähäinen ja painehäviö pieni. Jos täyttö tapahtuu esimerkiksi nimelliskierrosluvulla toimivalla pumpulla, on tuotto alussa varsin suuri nostokorkeuden ollessa vähäinen. Tällöin virtausnopeus voi kasvaa hyvinkin suureksi. (Pulli 2009, 32 - 42.)

Myös silloin, jos painelinjalla on osittain suljettuna venttiileitä tai muita virtausta jarruttavia tai estäviä laitteita ja linjalla on esimerkiksi kaksitoiminen ilmaventtiili tai muu vastaava, jolla on suuri virtauskapasiteetti, voi syntyä erittäin suuri paineisku. Kuva 18 havainnollistaa paineiskun syntymekanismia. Siinä täyttyvä linja työntää ilmaa edellään kohti ilmaventtiiliä suurella nopeudella ja jähkä vesirintama on ehtinyt ilmaventtiilin kohdalle, ilmaventtiili sulkeutuu äkillisesti ja aiheuttaa järjestelmää vahingoittavan paineiskun. (Pulli 2009, 32 - 42.)



Kuva 18. Paineiskun syntymekanismi (Pulli 2009, 38)

Jos paineiskun mahdollisuus on olemassa, on syytä tehdä paineiskuanalyysi (Liite 3) ja varustettava järjestelmä sopivilla paineiskun hallintalaitteilla, joita voivat olla mm. lisähitausmomentit, ohitusputket, takaiskuventtiilit sopivissa kohdissa hallitsemaan/jakamaa järjestelmä eri osastoihin, vahvemmat linjat ja komponentit, ilmaventtiilillä varustettu painesäiliö. (Pulli 2009, 40 - 41.)

## Kuvat

- Kuva 1. Kuva tehdasalueesta, s. 9
- Kuva 2. Välillinen ja välitön energian säästö, s. 11
- Kuva 3. Valaistusvoimakkuutta alentavat tekijät sekä huollon merkitys valaistusvoimakkuuden ylläpitämiseksi, s. 14
- Kuva 4. Paineilmajärjestelmä laitteineen, s. 16
- Kuva 5. Ruuvikompressorin rakenne, s. 18
- Kuva 6. Aaltopahvikoneen toimintaperiaate, s. 20
- Kuva 7. Aallotustapahtuma, s. 21
- Kuva 8. Hihnapainejärjestelmällä ja painerullajärjestelmällä toimiva aallottaja, s. 22
- Kuva 9. Aallottajan jäähdytysjärjestelmä, s. 23
- Kuva 10. Levylämmönsiirtimen periaate, s. 24
- Kuva 11. Levylämmönsiirrin eli jäähdytin, s. 24
- Kuva 12. Epävakaavirtaus voi syntyä esim. pinnan korkeutta muuttamalla, s. 25
- Kuva 13. Vakaavirtaus, s. 26
- Kuva 14. Laminaarisen virtauksen nopeusprofiili putkessa, s. 28
- Kuva 15. Turbulenttisen virtauksen nopeusprofiili putkessa, s. 28
- Kuva 16. Voima F työntää levyä nestekerroksen pinnalla nopeudella v, s. 31
- Kuva 17. Putkistokavitaation synty, s. 34
- Kuva 18. Paineiskun syntymekanismi, s. 36
- Kuva 19. Lähtötilanne, s. 37
- Kuva 20. Suunniteltu liitoskohta sadevesilinjaan, s. 38
- Kuva 22. Jakotukki yhdistää virrat yhteen putkeen, s. 43
- Kuva 23. Putkilinjan mahdolliset kiinnityskohdat, s. 45
- Kuva 24. Sadevesiputki johon linjat yhdistetään, s. 45
- Kuva 25. Valaistuskartta sektoreineen, s. 47
- Kuva 26. Valaistuskartta käytössä, s. 48
- Kuva 27. Uusi valaistusjärjestys, s. 49
- Kuva 28. Tamrock, s. 51
- Kuva 29. Atlas Copco, s. 51

## Taulukot

Taulukko 1. Lamppujen ja valaisimien valintaan vaikuttavia seikkoja, s. 15

Taulukko 2. Paineilmaverkoston vuodoista aiheutuvat rahalliset häviöt vuodessa, s. 19

Taulukko 3. ohjearvoja eri karheuksille, s. 30

Taulukko 3. Putkensisähalkaisijan määrittäminen, s. 39

Taulukko 4. Putkensisähalkaisijan määrittäminen virtausnopeuden ollessa  $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , s.40

Taulukko 5. Toisen aallottajan kertavastukset, s. 41

Taulukko 6. Putkilinjojen tekniset tiedot, s. 44

Taulukko 7 Valaistuksesta aiheutuvat kulut vuorokaudessa, s.46

## Lähteet

BHS koulutusmateriaali 2008

Ellman, A. Hautanen, J. Järvinen K. & Simpura, A. 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita Prima Oy.

Finlex, C2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998.YMPÄRISTÖMINISTERIÖ, <http://www.finlex.fi/pdf/normit/1918-c2.pdf>, Luettu 26.09.2011

Hellgren, M. Heikkinen & L. Suomalainen L. 1992. Energia ja ympäristö. 1. painos. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Hellgren, M. Heikkinen, L. Suomalainen L. 1996. Energia ja ympäristö. 2. painos. Helsinki: Hakapaino.

Keinänen, T & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOY

Keskinen, K.I. 2006. Kemian laitetekniikan taulukoita ja piirroksia. Oy Yliopistokustannus. 11. painos. Helsinki: Hakapaino.

Laiho, E-M. 1991. Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet. Mikkeli: MTOL.

Laakso, O & Rintamäki T. 2000. Aaltopahvin valmistus ja jalostus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Perttula, J. 2000. Energiatekniikka. 1. painos. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Pihkala J. 2007. Prosessitekniikan yksikköprosessit. 3 painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Pulli M. 2009. VIRTAUSTEKNIikka, vedensiirtojärjestelmien toiminnallinen suunnittelu nykyaikaisin menetelmin. Tampere: Tammertekniikka

Uimonen, I. 2007. Luentomateriaali virtaustekniikka