



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# ENERGIANSAÄSTÖMAHDOLLISUUDET PU- RUNPOISTOLAITTEISTON MODERNISOIN- NILLA

JELD-WEN Suomi Oy Kuopion tehdas

TEKIJÄ/T:

Pauli Pyykkö  
ESB18SP

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Pauli Antero Pyykkö	
Työn nimi Energiansäästömahdollisuudet purunpoistolaitteiston modernisoinnilla	
Päiväys 3.4.2022	Sivumäärä/Liitteet 27/2
Toimeksiantaja JELD-WEN Suomi Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tilaajana toimi JELD-WEN Suomi Oy Kuopion tehdas. JELD-Wen Suomi Oy Kuopion tehdas valmistaa sisäovia. Ovien valmistus tehtaalla on alkanut vuonna 1974. Tehdas on toiminut vuosien aikana useilla nimillä kuten SAVO Oy, Suomen Ovi, SO Oviteollisuus, KW-DOOR ja Vest-Wood Suomi. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tehtaassa pölyn- ja purunpoistolaitteiden energiankulutusta ja energiansäästömahdollisuuksia. Vanhimmat laitteista on otettu käyttöön vuonna 1974, ja uusimmat vuonna 2006. Tehtaassa konekanta ja tuotantolinjat ovat muuttuneet osittain vuosien aikana alkuperäisestä, ja kokemuksesta tiedettiin, että joidenkin laitteiden mitoitus ei vastaa tämän päivän tarpeita. Pölynpoistosta työpaikoilla on olemassa myös EU-direktiivi ja sen perusteella annettu valtioneuvoston asetus. Asetuksessa määritellään tarkat raja-arvot kovapuupölylle ja formaldehydille altistumisesta.</p> <p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin tehtaassa pölynpoistolaitteistoja ja sen käyttötapoja. Energiankulutusta tutkittiin mittaamalla puhaltimien käytönaikainen teho ja arvioimalla vuosittaiset käyttötunnit toteutuneiden työvuorojen mukaan. Opinnäytetyön tuloksena löytyi paljon parannettavaa. Energiansäästön kannalta työ oli aiheellinen. Lähes kaikkien tehtaassa pölyn- ja purunpoistolaitteiden energiatehokkuutta on mahdollista parantaa.</p> <p>Opinnäytetyöstä on julkaistu kaksi versiota. JELD-WEN Suomi Oy Kuopion tehtaassa laitteita koskeva osio ei ole julkinen.</p>	
Avainsanat pölynpoisto, purunpoisto, energiankulutus, energiansäästömahdollisuudet	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author Pauli Antero Pyykkö	
Title of Thesis Energy saving opportunities for the modernisation of the dust extraction equipment	
Date 3 April 2022	Pages/Appendices 27/2
Client Organisation JELD-WEN Suomi Oy	
<p>Abstract</p> <p>JELD-WEN Suomi Oy Kuopio factory is a part of the JELD-WEN concern. The factory produces interior doors. JELD-WEN Suomi Oy Kuopio factory was founded in 1974. The factory has been called by many different names over the years such as SAVO Oy, Suomen Ovi, SO Oviteollisuus, KW-DOOR and Vest-Wood Suomi. The purpose of the thesis was to investigate the energy consumption and energy saving opportunities of the factory's dust and wood waste extraction system. The oldest systems were introduced in 1974, and newest in 2006. Production lines and machines have been partially changed from the beginning. From experience, it is known that performance of the dust extraction systems is not good for every machine today. Dust extraction in the workplaces and factories is guided by EU directive. A government decree based on the directive sets precise limit values for exposure to hardwood dust and formaldehyde.</p> <p>In this thesis, the dust extraction system of the factory was introduced. Energy consumption was studied by measuring the power of the fans in operation and estimating the annual operating hours according to the realized shifts. As a result of this thesis, a lot of the improvement ideas was found. In terms of energy saving opportunities, the thesis was appropriate. It is possible to improve the energy efficiency of almost all dust extraction systems in the plant.</p> <p>Two different versions of the thesis were published. The materials of the JELD-WEN Suomi Oy Kuopio factory machines and production lines are not public.</p>	
<p>Keywords</p> <p>dust extraction, energy consumption, energy saving opportunities</p>	

## ESIPUHE

Haluan kiittää JELD-WEN Suomi Oy Kuopion tehdasta mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta. Kiitokset erityisesti tekninen päällikkö Jukka Savolaiselle.

Lisäksi kiitos kaikille yhteistyökumppaneille ja niille, jotka ovat olleet mukana tekemässä tätä selvitystä.

Kuopiossa 3.2.2022

Pauli Pyykkö

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	PÖLYNPOISTO TYÖPAIKOILLA.....	8
3	PÖLYNPOISTOLAITTEISTON RAKENNE JA TOIMINTA.....	9
3.1	Suodatinasema .....	9
3.2	Puhallin .....	10
3.3	Putkisto.....	10
4	ENERGIANSÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET.....	12
4.1	Johdanto .....	12
4.2	Kartoitus .....	13
4.3	Laskelmat.....	13
4.4	Tarpeettoman käytön välttäminen.....	14
4.5	Hyötysuhde .....	15
4.6	Laitteiden yhdistäminen.....	16
5	PUHALTIMEN JA PUTKISTON MITOITUS .....	18
5.1	Lähtötiedot.....	18
5.2	Putkiston halkaisija .....	19
5.3	Putkiston painehäviön laskeminen.....	20
5.4	Suodatinasema .....	21
7	ENERGIANKULUTUS .....	23
7.1	Arvioitu energiankulutus.....	23
7.2	Mahdolliset säästöt .....	23
8	YHTEENVETO.....	24
	LÄHTEET .....	25
	LIITE 1: PAINEHÄVIÖT .....	26
	LIITE 2: NEDERMAN S-500.....	27

## KUVALUETTELO

Kuva 1.	Moldow MHL-suodatinasema. (Moldow A/S, 2022) .....	9
Kuva 2.	Nederman Combifab-imuri/ puhallin. (Nederman, 2022).....	10
Kuva 3.	Siipityypit. (Nederman, 2022) .....	10

Kuva 4. QF- putkistojärjestelmä (Teca Oy, 2022). .....	11
Kuva 5. Moldow Energy Manager-järjestelmä. (Moldow A/S, 2022) .....	13
Kuva 6. QF- putkistojärjestelmän esite. (Teca Oy, 2022).....	20
Kuva 7. Ominaiskäyrä.....	22
Kuva 8. Nederman S-500.(LIITE 2.) .....	22
Kuva 9. Painehäviötaulukko. ....	26

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää JELD-WEN Suomi Oy:n Kuopion tehtaalla käytössä olevien purunpoistolaitteiden energian kulutusta, sekä energiansäästämahdollisuuksia.

Pölyn- ja purunpoistolaitteet ovat tärkeä osa puutuoteteollisuutta, jossa puuta leikataan tai muotoillaan. Toimiva purunpoisto takaa hyvän ilmanlaadun tehtaassa ja helpottaa koneiden puhtaanapitoa, sekä vähentää kunnossapidon tarvetta. Purunpoistolla on suuri merkitys myös paloturvallisuuteen. Paloriski voi kasvaa, jos purua tai pölyä kertyy työstökoneisiin tai niiden ympäristöön. Pahimmassa tapauksessa pöly ja ilma voivat muodostaa räjähdyskelpoisen seoksen. Tämän vuoksi joissain linjoissa käytetään automaattisia kipinänsammutuslaitteistoja.

Tehtaan pölyn- ja purunpoistojärjestelmät koostuvat seitsemästä suodatinasemasta, ja kahdestatoista niihin liitetystä puhaltimesta, sekä yhdestä erillisestä puhaltimesta. Tuotantolinjojen ja koneiden muutokset ovat vuosien saatossa muuttaneet purunpoistolaitteistojen tehontarvetta, ja tällä hetkellä ne eivät kaikilta osin vastaa työstökoneiden valmistajien vaatimuksia.

Pölyn- ja purunpoistolaitteiden käyttötapa ja vaatimukset vaihtelevat suuresti linja ja kone kohtaisesti. Tästä johtuen, kaikkien laitteiden energiatehokkainta käyttötapaa ja tehoa on arvioitava erikseen.

Laitteistot on otettu käyttöön vuosien 1974 ja 2006 välillä. Tämän takia käytössä olevat moottorit eivät suurelta osin edusta hyötysuhteeltaan nykyaikaisia moottoreita. Myös ohjausjärjestelmät ovat kehittyneet huomattavasti ja mahdollistavat energiatehokkaamman toimintatavan.

## 2 PÖLYNPOISTO TYÖPAIKOILLA

Pölynpoisto työpaikoilla on tärkeä asia niin työntekijöiden terveyden kuin koneiden toimivuuden kannalta. Riittävä pölynpoisto parantaa koneiden toimivuutta ja vähentää kunnossapidon tarvetta.

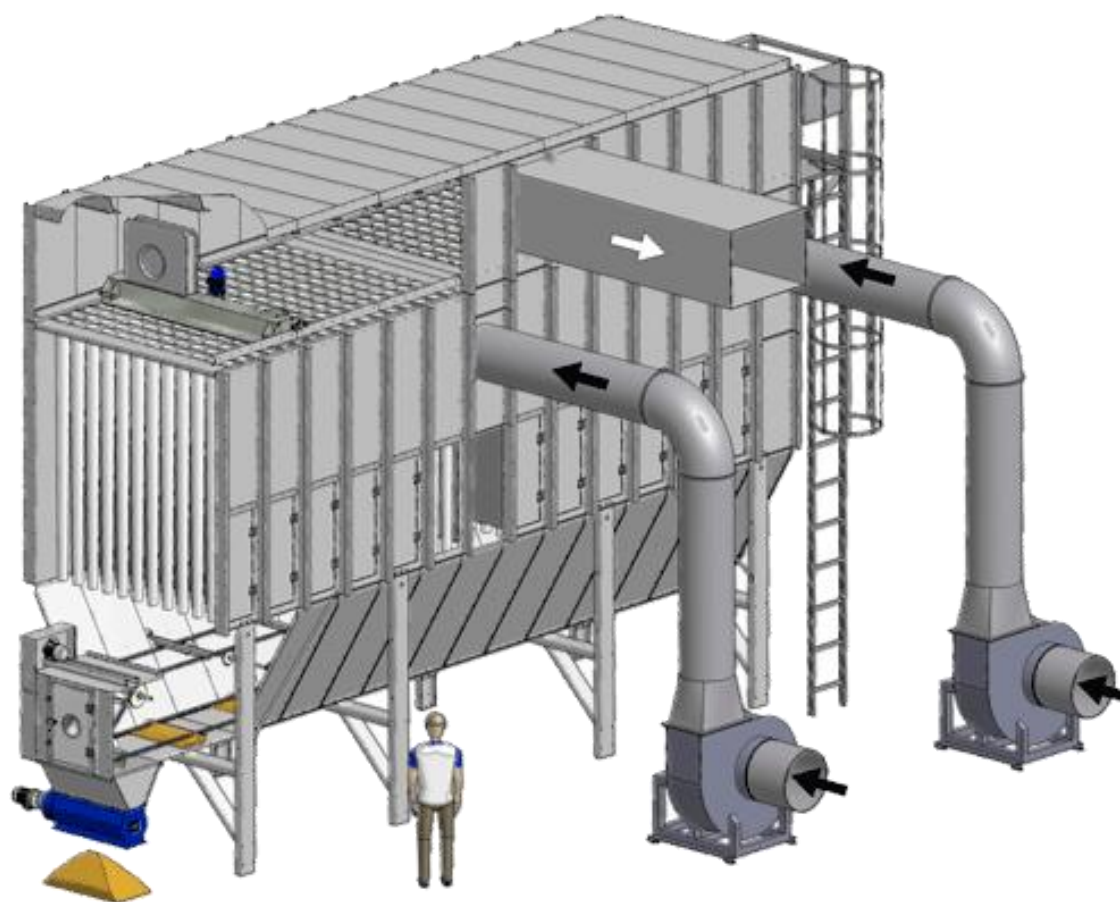
Pölynpoiston järjestäminen työpaikoilla kuuluu työnantajan vastuulle. Riittävällä pölynpoistolla pyritään suojaamaan työntekijöiden terveyttä. Puupölylle altistumista säädellään EU-direktiivillä (2017/2398), jonka nojalla annetulla valtioneuvoston asetuksella 1267/2019 määritellään kovapuu-pölyn sitovat raja-arvot. Myös levyteollisuudessa ja puutuotteiden valmistuksessa esiintyvälle formaldehydille on annettu sitovat raja-arvot valtioneuvoston asetuksessa 1267/2019. Jos työntekijän altistuminen ylittää epäpuhtauden sitovan raja-arvon, on työnantajan viipymättä vähennettävä altistuminen sellaiseksi, ettei raja-arvo ylity (Työturvallisuuskeskus, 2022).



### 3 PÖLYNPOISTOLAITTEISTON RAKENNE JA TOIMINTA

#### 3.1 Suodatinasema

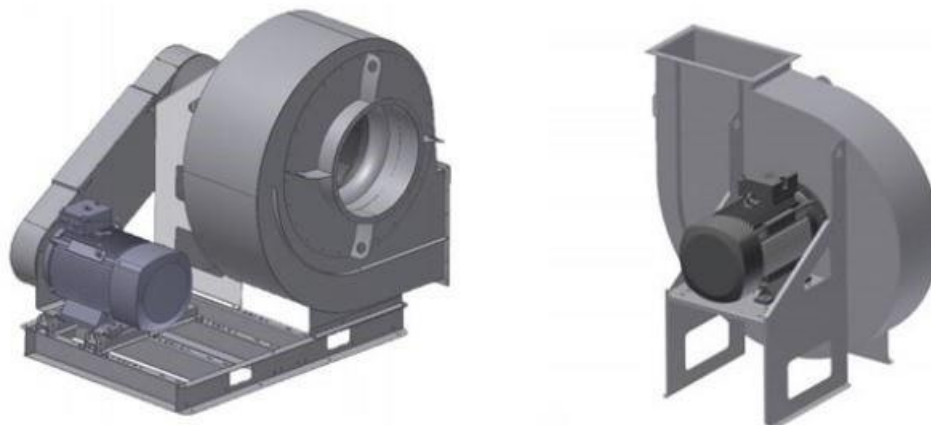
Pölyn- ja purunpoistolaitteisto koostuu suodatinasemasta, puhaltimista ja putkistosta. puhaltimen liikkuttaman ilmavirran mukana jäte kuljetetaan työstökoneelta suodatinasemalle. Suodatinaseman sisäänpuhalluslohkossa ilmavirran nopeus laskee nopeasti ja raskaampi jäte putoaa suodattimen pohjaan. Kevyempi pöly tai puru nousee ilmavirran mukana ylöspäin avoimiin suodatinletkuihin. Suodatinletkut läpäisevät ilmavirran, ja erottavat siitä jätemateriaalin. Suodatinletkujen sisäpintaan tarttunut jäte pudotetaan regenerointipuhaltimen avulla aseman pohjalle. Aseman pohjalle päätyneet jäte kuljetetaan ketjukuljettimella sulkusyöttäjään, ja edelleen jätekonttiin. Suodatinletkujen läpi kulkenut ilma palautuu takaisin tehdashalliin. Kuvassa 1. nähdään Moldow MHL-suodatinasema (Moldow A/S, 2022). Kaikki tutkitut suodattimet edustavat samanlaista perusrakennetta, pienin valmistajakohtaisin eroin.



Kuva 1. Moldow MHL-suodatinasema. (Moldow A/S, 2022)

### 3.2 Puhallin

Puhaltimet (imurit) purunpoistojärjestelmissä ovat pääsääntöisesti keskipakopuhaltimia (kuva 2.). Puhaltimen siipipyörä voi olla kiinnitetty suoraan moottorin akselille, tai erilliselle akselille, johon sähkömoottorin tuottama voima välitetään kiilahihnoilla. Puhaltimen siipityyppi valitaan poistettavan jättemateriaalin mukaan.



Kuva 2. Nederman Combifab-imuri/ puhallin. (Nederman, 2022)

Pyörästetty (rounded) siipi on tarkoitettu puhtaalle, tai hieman pölyä sisältävälle ilmalle. Hyötysuhde noin 85 % (Nederman, 2022). Suora (straight) siipi on tarkoitettu hiontapölyn sekä saha- ja höylälastun kuljettamiseen. Hyötysuhde noin 81 % (Nederman, 2022). Siirtosiipipyörää (tough) käytetään karkeamman materiaalin esimerkiksi lastun ja purun kuljettamiseen. Hyötysuhde noin 61 % (Nederman, 2022). Kuvassa 3. on esitetty erilaiset siipityypit.

**Rounded impeller -  
Type R**



**Straight impeller -  
Type S**



**Tough impeller -  
Type T**

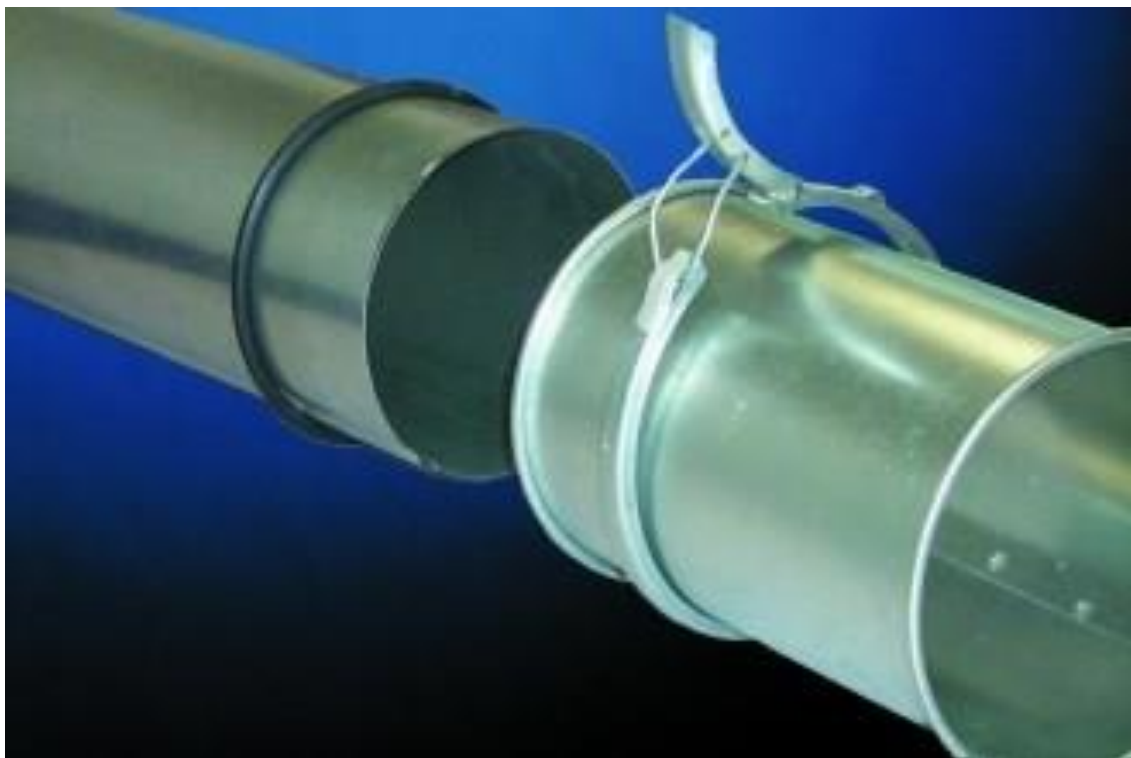


Kuva 3. Siipityypit. (Nederman, 2022)

### 3.3 Putkisto

Purunpoistojärjestelmissä putkistona on tapana käyttää pyöreää putkea. Pyöreässä putkessa ilmavirran nopeusjakauma on tasaisempi kuin suorakaiteen muotoisessa kanavassa. Riittävän suuri ja tasainen kuljetusnopeus estää materiaalin laskeutumista ja kerrostumista kanavan pohjaan. Suositeltava kuljetusnopeus tavalliselle teollisuuspölylle ja purulle tulee olla vähintään 20 m/s (Tähti, 2000). Pyöreä putkisto kestää myös alipaineen vaikutusta paremmin.

Nykyään suositaan pituussuuntaan saumattuja putkia aiemman kierresaumaputken sijaan. Putken sisämpi sisäpinta on energiatehokkuuden kannalta parempi. Putkiston suunnittelussa tulee ottaa huomioon mahdollisimman yksinkertainen ja suoraviivainen rakenne, ylimääräisiä mutkia tulee välttää. Kuvassa 4. nähdään pyöreä kanava.



Kuva 4. QF- putkistojärjestelmä (Teca Oy, 2022).

## 4 ENERGIANSÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET

### 4.1 Johdanto

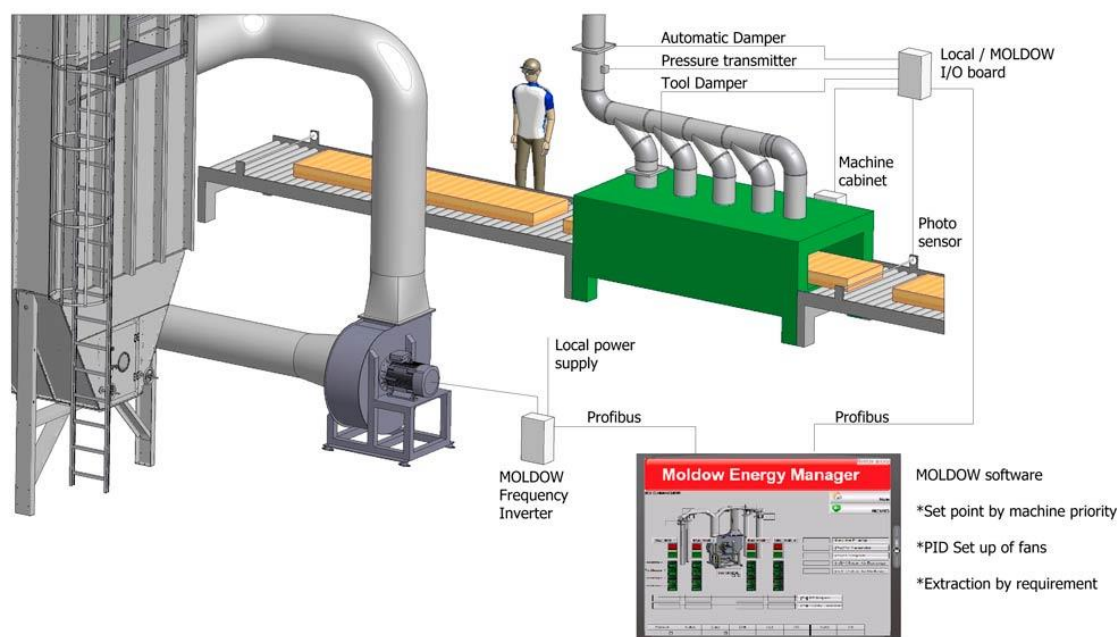
Purunpoistolaitteiden energiatehokkuuteen vaikuttaa moni asia. Laitteiston oikea mitoitus, käyttöta- pa ja ohjaustapa ovat asioita, jotka tulee ottaa huomioon hankittaessa laitteita. Samat asiat tulee muistaa myös tilanteessa, jossa tehtaan koneiden purunpoiston tarve muuttuu. Näin vältetään tarpeettoman suuri energiankulutus tai kaikista huonoin tilanne, jossa purunpoistojärjestelmä on alite- hoinen, eikä pysty hoitamaan tehtävänsä.

Kuljetusnopeuden kasvattamista tulee välttää. Ensinnäkin nopeuden kasvattaminen 20 m:stä/s 30 m:iin/s lisää virtausmelua jo 11 dB(A), koska ääniteho on verrannollinen nopeuden kuudenteen po- tenssiin ( $\sim 10 \log v^6$ , jossa  $v$  on virtausnopeus). Toiseksi nopeuden kasvattaminen lisää kohdepoisto- järjestelmän energian kulutusta kasvattamalla kanaviston virtausvastusta, joka on verrannollinen nopeuden neliöön. Kanavisto kannattaa suunnitella ja toteuttaa mahdollisimman suoralinjaisesti, sillä kanaviston pituus, sen jokainen kulma ja supistus sekä laajennus ja haara kasvattavat virtausvastus- ta. Puhaltimen tehontarve on verrannollinen paineen ( $\text{paine} \approx v^2$ ) ja tilavuusvirran ( $\text{tilavuusvirta} = v A$ , jossa  $A$  on kanavan poikkipinta-ala) tuloon eli virtausnopeuden kolmanteen potenssiin. Virtausno- peuden kasvattaminen 20 m:stä/s 30 m:iin/s lisää puhaltimen tehontarvetta yli 3-kertaiseksi. "Kurt- tu"putkien käyttöä konekohtaisten poistojen liittämässä kanavistoihin kannattaa minimoida niiden aiheuttaman suuren virtausvastuksen takia. Painehäviö putken juoksumetriä kohti on "kurt- tu"putkella lähes kaksinkertainen sileäseinäiseen laippaputkeen verrattuna esimerkiksi 20 m/s no- peudella ja 0,5 m<sup>3</sup>/s ilmavirralla. (Työturvallisuuskeskus, 2022)

Purunpoistolaitteistoissa suurin sähköenergian kuluttaja on puhallin. Vanhemmissa järjestelmissä puhallimet ovat suoraan verkkoon kytkettyjä (DOL), tai tähti- kolmio käynnistimellä varustettuja. Tehoa ei pystytä säätämään käytön aikana. Taajuusmuuttajakäyttöillä ja energiansäästöpeltejä hyö- dyntämällä saadaan järjestelmään joustavuutta, sekä säädettävyyttä. Tällä tavalla pystytään raken- tamaan järjestelmä, jossa teho on riittävä kaikissa erilaisissa tilanteissa, eikä tarpeetonta ylittehoa tarvitse käyttää.

Jotkin laitteistovalmistajat lupaavat jopa 70 % säästöä kokonaisenergiankulutuksessa, verrattuna vanhoihin laitteisiin. Energian käytön optimointi ja ohjausjärjestelmät voidaan useimmissa tapauksis- sa asentaa myös vanhempiin järjestelmiin. Kuvassa 5. nähdään periaatekuva Moldow Energy Mana- ger-ohjausjärjestelmästä. Käytännössä purunpoistolaitteiston saneeraus vaatii uuden ohjauskeskuk- sen asennuksen, tarvittavat putkiston muutokset ja moottorin, joka soveltuu jaksottaiseen taajuus- muuttajakäyttöön.

1970- luvulla rakennettujen laitteiden aikaan ei taajuusmuuttajia, eikä ohjauslogiikoita vielä ollut saatavilla. Tämän vuoksi laitteiden säädettävyyks on ollut huomattavasti vaikeampaa.



Kuva 5. Moldow Energy Manager-järjestelmä. (Moldow A/S, 2022)

## 4.2 Kartoitus

Laitteiden energiansäästö mahdollisuuksia kartoitettiin mittaamalla puhaltimien kuormitus normaalin tuotannon aikana ja etsimällä laitteista kaikki saatavilla oleva tieto JELD-WEN:in arkistosta. Myös purunpoistolaitteisiin liitettyjen työstökoneiden saatavilla olevat tiedot kirjattiin ylös. Kartoituksessa todettiin seuraavien asioiden vaativan lähempää tarkastelua: sähkötöiden hyötysuhde, laitteiden oikea mitoitus ja laitteiden käyttö- ja ohjaustapa. Työkokemuksen kyseessä olevassa laitoksessa ja operaattoreiden haastattelujen perusteella saatiin tietoa, että joidenkin laitteiden mitoitus on virheellinen muuttuneiden tarpeiden vuoksi.

Koska kysymyksessä oli vanhan laitteiston kartoitus, aloitettiin tutkimukset puhaltimien kuormituksen mittaamisella. Mittauksen tarkoituksena oli kerätä tietoa imureiden käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Mittalaitteina käytettiin Fluke 435-II-sähkönlaatu- ja energia- analysointilaitetta sekä Fluke T5-1000-jännite-, virta- ja jatkuvuustesteriä.

## 4.3 Laskelmat

Energiankulutuslaskelmissa käytetyt arviot laitteiden käyttötunneista kerättiin vuoden 2020 vuorokelloista. Laitteistoja käytetään siten, että ne käynnistetään työhön tullessa ja sammutetaan työn loputtua. Tästä saatiin arvio laitteiden vuotuisista käyttötunneista. Lisäksi mitattiin puhaltimien kuormitus normaalissa käyttötilanteessa. Kaavalla 1. laskettiin moottoreiden teho, joka kerrottiin käyttötuntimäärällä. Näin saatiin tulokseksi arvio energiankulutuksesta vuodessa. (2)

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi \quad (1)$$

jossa

$$P = \text{teho (W)}$$

$$U = \text{jännite (V)}$$

$$I = \text{virta (A)}$$

$$\cos\varphi = \text{tehokerroin}$$

$$E = P * t \quad ( 2 )$$

jossa

$$t = \text{käyttötuntien määrä}$$

$$E = \text{energian kulutus (Wh)}$$

Sähkömoottoreiden hyötysuhteen vaikutusta vuosittaiseen energiankulutukseen arvioitiin vanhempien, heikomman hyötysuhteen omaavien moottoreiden osalta. Kaavalla 3. (ABB, 2022) saadaan laskettua sähkömoottorin hyötysuhde.

$$\eta_n = \frac{P_{\text{lähtö}}}{P_{\text{syöttö}}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * I_n * \cos\varphi_n} \quad ( 3 )$$

jossa

$$\eta_n = \text{hyötysuhde}$$

$$P_{\text{lähtö}} = \text{moottorin akseliteho (kW)}$$

$$P_{\text{syöttö}} = \text{moottorin ottoteho (kW)}$$

Purunpoistopuhaltimien tehoa ja putkiston mitoitusta arvioitiin erikseen raportin kohdassa 4.

#### 4.4 Tarpeettoman käytön välttäminen

Energiansäästön ja kulumisen kannalta purunpoistolaitteiston tarpeetonta käyttöä tulisi välttää. Laitteiston käynnistys ja sammutus tulisi suunnitella työpisteeseen tai konelinjaan sopivaksi. Materiaalivirta työpisteillä ja konelinjoilla voi olla hyvin erilainen, jolloin myös purunpoiston tarve vaihtelee. Paljon taukoja sisältävässä työtavassa, purunpoistopuhaltimien sammuttaminen tarpeen mukaan säästää energiaa. Purunpoistopuhaltimien ohjaus voidaan kytkeä yhteen esimerkiksi kuljettimien ohjauksen kanssa. Tätä ohjaustapaa suosittelevat myös jotkin kone- ja laitteistovalmistajat.

Tutkituissa laitteistoissa tätä ohjaustapaa ei kuitenkaan ollut hyödynnetty. Normaaliksi käyttötavaksi on muodostunut käyttää purunpoistolaitteita käsiohjauksella jatkuvasti, vaikka todellinen tarve ei sitä vaatisi.

Esimerkkilaskelmassa tutkittiin erästä konelinjaa, jossa pölynpoistosta huolehtii kaksi kappaletta 37 kW puhallinta. Pölynpoiston käyntiaika mitattiin sähkökeskukseen liitettyllä käyttötuntimittarilla. Tätä verrattiin linjan tuotantoaikaan, joka saatiin poimittua tuotannonseurantajärjestelmästä.

Taulukko 1. Esimerkilaskelma.

	Jatkuva käyttö	Käyttö tarpeen mukaan
Teho nimellinen (kW)	74	74
Päätöteho (kW)	79,8	79,8
Hyötysuhde (%)	92,7	92,7
Käyntiaika mittausjaksolla (h) *	183	-
Tarvittava käyntiaika (h)	-	100
Kulutus mittausjaksolla (MWh)	15	8
Kulutus vuositasolla (MWh/ a) **	268	148
Mahdollinen säästö (%)	-	45 %

\* (mittausjakso: 3 viikkoa)

\*\* (3360 käyttötuntia vuodessa)

Käyttötuntien mittauksen perusteella tehty laskelma säästömahdollisuuksista pelkästään välttämällä pölynpoiston tarpeetonta käyttöä tutkitulla konelinjalla osoittaa, että on mahdollista saavuttaa 45 % säästö puhaltimien energiankulutuksessa. Vuositasolla tämän suuruinen säästö voi energian hinnasta ja moottorikäyttöjen koosta riippuen olla merkittävä. Tutkitulla linjalla pölynpoiston ohjaus kannattaa liittää esimerkiksi kuljettimien ohjaukseen siten, että puhaltimet käyvät vain, kun tarve vaatii.

Tarpeettoman käytön välttäminen tuo energiansäästöä myös kiinteistön lämmityksen kautta. Purunpoistolaitteistojen suodattimet ja puhaltimet sijaitsevat rakennuksen ulkopuolella. Laitteiston rakenteet on valmistettu galvanoidusta pellistä, eikä niitä ole lämpöeristetty. Kylmänä vuodenaikana suodattimesta palautuva ilma on siten kylmempää kuin teollisuushallin sisäilma. Halliin palautuva kylmä ilma lisää osaltaan lämmitystarvetta. Lämmitykseen kuluvan energian tarvetta ei tässä raportissa kuitenkaan huomioitu, mutta se haluttiin tuoda esille yhtenä purunpoistolaitteiden kokonaisenergiankulutukseen vaikuttavana asiana.

#### 4.5 Hyötysuhde

Sähkömoottoreiden hyötysuhdetta ohjaa standardi IEC 60034-30. Standardi kattaa pienjännitesähkömoottorit kokoluokassa 0,12–1000 kW. (Motiva Oy, 2022) 1.1.2017 lähtien moottoreiden, joiden nimellisteho on 0,75–375 kW, hyötysuhteen on vastattava vähintään komission asetuksen n:o 640/2009 liitteen määrittelemiä hyötysuhdetasoa IE3 tai hyötysuhdetasoa IE2 varustettuna taajuusmuuttajalla (EY-komissio, 2022)

IEC 60034 standardin mukaisen korkean hyötysuhteen sähkömoottorin hankkiminen on perusteltua, koska jopa 92 % moottorin elinkaaren aikana muodostuvista kustannuksista kuluu sähköenergiana (Motiva Oy, 2022)

Sähkömoottoreiden hyötysuhteen vaikutus tulee parhaiten esiin esimerkilaskelman kautta. Taulukossa 1. on esitetty vanhan ja uuden sähkömoottorin energiankulutuksen vertailu. Laskettuna korkeamman hyötysuhteen moottorin tuomalla energian säästöllä ja moottorin hankintahinnalla, uuden moottorin takaisinmaksuajaksi muodostuu 3 vuotta. Tässä tapauksessa puhallin on kytketty mootto-

riin kiilahihnoilla. Kiilahihna käyttäjien hyötysuhde on noin 92–94 %. (Motiva Oy, 2022). IE3 standardin mukaisen moottorin tiedot haettiin sähkömoottoreita valmistavan VEM: in hinnastosta. (VEM Motors Finland Oy, 2022)

Taulukko 2. Esimerkkilaskelma hyötysuhteen vaikutuksesta energiankulutukseen.

	<b>Vanha moottori</b>	<b>Uusi moottori</b>
Hyötysuhdeluokka	-	IE3
Teho (kW)	55	55
Hyötysuhde (%)	86,7	94,7
Hankintahinta	-	6907,8 € *
Käyntiaika (h/vuosi)	5400	5400
Kulutus (MWh/vuosi)	343	314
Energian hinta (€/MWh) **	78,62	78,62
Kulutus (€/vuosi)	26932	24657
Energian säästö (MWh)	-	29
Energian säästö (€)		2275
Takaisinmaksuaika (vuosi)	-	3,0

\* (VEM hinnasto 2022)

\*\* (2020 keskihinta)

#### 4.6 Laitteiden yhdistäminen

Usean laitteen yhdistäminen samaan puhaltimeen voi johtaa tilanteeseen, jossa osan aikaa joudutaan käyttämään tarpeettoman suurta tehoa. Esimerkkilaskelman tapauksessa kaksi erillistä työstökoneita on kytketty samaan purunpoistopuhaltimeen. Toinen kone käy 16 tuntia vuorokaudessa, ja toinen 24 tuntia vuorokaudessa. 24 tuntia vuorokaudessa käyvän koneen purunpoiston tehontarve on valmistajien ilmoittamien poistoilmamäärien perusteella vain 14 % koko linjan tehontarpeesta. Koneilla, joiden poistoilmamäärät poikkeavat näin suuresti toisistaan, kannattaa asentaa kaksi erillistä puhallinta.



Taulukko 3. Esimerkkilaskelma käyntiajan vaikutuksesta energiankulutukseen.

	2- vuoro	3- vuoro
Nimellisteho (kW)	90	90
Kuormitusteho (kW)	55,5	55,5
Hyötysuhde (%)	-	-
Käyntiaika (h/vuosi) *	3648	4736
Kulutus (MWh/vuosi)	202	263
Energian hinta (€/MWh) **	78,62	78,62
Kulutus (€/vuosi)	15918	20665
Energian säästö (MWh)	60	-
Energian säästö (€)	4747	
Takaisinmaksuaika (vuosi)	-	

\* (Vuoden 2020 käyttötunnit)

\*\* (2020 keskihinta)

Purunpoistolaitteissa, joissa samaan kanavaan on yhdistetty useita eri tahtiin käyviä työstökoneita, hyötyä voidaan saada taajuusmuuttajakäytöistä ja energiansäästöpelleistä. Alipainelähettimellä ohjattu, taajuusmuuttajalla varustettu puhallin pitää kanavassa halutun alipaineen, vaikka tehontarve vaihtelee työn aikana. Energiansäästöpellit toimivat käsikäyttöisesti tai ohjausjärjestelmän osana. Tällaisissa järjestelmissä käytössä oleva teho mukautuu erilaisiin tilanteisiin, toisin kuin suoraan verkkoon kytketyssä puhaltimessa. Tutkituissa laitteistoissa on kaksi taajuusmuuttajakäyttöä, mutta niillä ajetaan vakiotajuudella, eikä taajuusmuuttajan tuomia ominaisuuksia täysin hyödynnetä.

Taajuusmuuttajalla voidaan myös asettaa moottoreiden kiihdytysaika pidemmäksi kuin suoraan verkkoon kytketyillä moottoreilla. Tämä ominaisuus pidentää varsinkin kiilahihnakäyttöisten puhaltimien mekaanista kestävyyttä. Ominaisuus korostuu suuremmissa puhaltimissa, joissa puhaltimen siiven inertia on suuri ja hinnat voivat päästä kiihdytyksessä luistamaan.

## 5 PUHALTIMEN JA PUTKISTON MITOITUS

### 5.1 Lähtötiedot

Purunpoistolaitteiston suunnittelua aloittaessa tulisi selvittää vähintään seuraavat tiedot:

- poistettavan jätteen laatu
- koneelta/ koneilta poistettava ilmamäärä
- putkiston mitoitus ja painehäviöt
- suodattimen painehäviöt.

Tieto poistettavan ilman määrästä ja nopeudesta löytyy yleensä asennettavan koneen ohjekirjasta. Jos ohjekirjaa tai muita tarvittavia dokumentteja ei ole käytettävissä, voidaan käyttää esimerkiksi taulukossa 4. (Raittimo, 2022) näkyviä arvoja.

Taulukko 4. Puuntyöstökoneiden poistoilmamääriä (Raittimo, 2022).

<b>Työstökone</b>	<b>Koko</b>	<b>Poistoilmamäärä (m<sup>3</sup>/h)</b>
Nauhahiomakone	Alle 150 mm	745
Nauhahiomakone	150–230 mm	935
Laikkahiomakone	alle 300 mm	595
Laikkahiomakone	300–450 mm	745
Rumpuhiomakone	hioma- ala alle 0,13 m <sup>2</sup>	595
Rumpuhiomakone	0,13–0,26 m <sup>2</sup>	935
Pyörösaha	sis. Jiirisaha, pöytäsaha, yms.	595
Vannesaha		595
Oikohöylä	alle 150 mm	595
Oikohöylä	150–300 mm	745
Tasohöylä	alle 330 mm	670
Tasohöylä	330–550 mm	1300
Jyrsin	Pöytämalli	330
Kutteri		595
Sorvi	pieni	595
	keskisuuri	935
	iso	1300

Poistettavan jätteen laatu määrää kuljetusnopeuden putkistossa. Kuljetusnopeus tulisi olla riittävän suuri, ettei materiaali kerrostu tai pakkaannu putkiston seinämiin. Toisaalta liian suuri kuljetusnopeus lisää energiankulutusta, putkiston kulumista ja melua. Jos kuljetusnopeuden arvoa ei ole ilmoitettu asennusohjeessa, voidaan käyttää ohjeellisia arvoja, joita löytyy aihetta käsittelevästä kirjallisuudesta. Taulukossa 5. (Tähti, 2000) on esitetty kuljetusnopeuksia pölytyypin mukaan.

Taulukko 5. Suositeltavia kuljetusnopeuksia. (Tähti, 2000)

Pölytyyppi	Kuljetusnopeus (m/s)
Kevyehköt pölyt (esim. kuiva puupöly, muovipöly)	15
Tavallinen teollisuuspöly (hiontapöly, karkea kumipöly)	20
Raskas pöly (lyijypöly, kostea pöly)	25

## 5.2 Putkiston halkaisija

Putkiston mitoitus aloitetaan selvittämällä tarvittavan putken halkaisija. Kun tiedetään ilman virtausnopeus kanavassa ja ilman määrä, voidaan putken pinta-ala laskea kaavalla 4.

$$A = \frac{q}{v} \quad (4)$$

jossa

$$A = \text{pinta-ala, (m}^2\text{)}$$

$$q = \text{ilmavirta, (m}^3\text{/h)}$$

$$v = \text{ilman virtausnopeus, (m/s)}$$

Pyöreän putken säde saadaan laskettua kaavalla 5.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (5)$$

Seuraavassa esimerkissä lasketaan erälle koneelle tarvittavan putkiston koko ja puhaltimen teho. Koneen valmistaja on ilmoittanut seuraavat tiedot:

$$q = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$v = 28 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{2400 \frac{m^3}{h}}{28 \frac{m}{s}} \rightarrow A = \frac{0,67 \frac{m^3}{s}}{28 \frac{m}{s}} = 0,024 m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{0,024 m^2}{\pi}} = 0,087 m$$

Näin ollen putken halkaisijaksi saadaan 174 mm. Koneessa imupisteet jakautuvat neljään Ø 100 mm pisteeseen. Tämän vuoksi valitaan Ø 200 mm putki runkolinjaksi (Kuva 6.). Ø 200 mm putkella las kennallinen kuljetusnopeus pysyy vielä yli 20 m/s ja paikallisvastus on matalampi.

Koneenvalmistajan ilmoittama kuljetusnopeus on melko korkea, eikä vastaa suunnitteluohjeita tänä päivänä. Kone on suunniteltu ja valmistettu 1970 luvulla. Nykyisten ohjeiden mukaan kuljetusnopeus siirtolinjassa tulee olla noin 15–20 m/s.

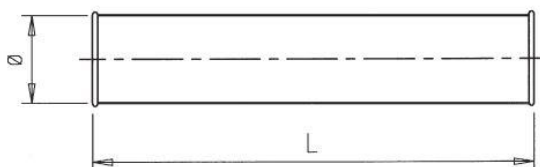
#### QF-PUTKISTOJARJESTELMA



### QF-putki ja -laippaputki

- Valmistettu pituussaumatusta galvanoidusta teräslevystä. Rakenteelle on ominaista suuri muotojäykkyys sekä sileät pinnat.
- Laippaputki kahdella galvanoidulla laipalla.
- Pinnoitteen massa, vähimmäispaino: 275g/m<sup>2</sup>
- Pinnoitteen paksuus: 16 µm
- Saatavana myös haponkestävästä ja ruostumattomasta teräksestä.
- QF-putki: Ø 100- Ø 500 mm
- QF-laippaputki: Ø 140- Ø 900 mm

Halkaisija	Materiaalivahvuus
Ø 100 - Ø 160	0,6 mm
Ø 180 - Ø 350	0,7 mm
Ø 400 - Ø 500	0,9 mm
Ø 560 - Ø 900	1,0 mm



Tilausno, esim.: 38 20002.250  
 Tyyppi \_\_\_\_\_  
 Halkaisija (Ø) \_\_\_\_\_

#### QF-putki

Tyyppi	Pituus mm (L)	Halkaisija (Ø)														
		100	125	140	160	180	200	250	315	350	400	450	500			
20001	1000															
20002	2000															

Kuva 6. QF- putkistojärjestelmän esite. (Teca Oy, 2022)

### 5.3 Putkiston painehäviön laskeminen

Kanavaosat aiheuttavat virtauksen pyörteilyä ja samalla energiahäviöitä. Tätä nimitetään paikallisvastukseksi, kertavastukseksi tai muotovastukseksi. Kanavaosan aiheuttama painehäviö on yleensä sitä suurempi, mitä enemmän virtaus pyörteilee (Seppänen, 2008). Putkiosien, letkujen ja suodattimen mitoitus tehtiin yhteistyössä Teca Oy:n kanssa. Taulukossa 6. nähdään QF- putkistojärjestelmän aiheuttamat painehäviöt. Puruletkun aiheuttama painehäviö on noin 35 mmVp/m (LIITE 1.). Yksikkönä on käytetty millimetriä vesipatsaassa, joka muuntuu Pascaleiksi kertoimella 9,80665.

Kokonaispainehäviön laskemiseksi kaikkien putkiston osien aiheuttamat painehäviöt lasketaan yhteen. Esimerkkilaskelman putkistoon liittyy seuraavat osat:

- putki Ø 200 mm, 15 metriä, painehäviö n. 4 mmVp/m
- mutka Ø 200 mm, 3 kappaletta, painehäviö n. 10 mmVp/kpl
- imupääte Ø 200 mm – 4x Ø100 mm, painehäviö n. 100 mmVp
- letku Ø 100 mm, 0,5 metriä, painehäviö n. 35 mmVp/m

$$(15 * 4 \text{ mmVp}) + (3 * 10 \text{ mmVp}) + (100 \text{ mmVp}) + (0,5 * 35 \text{ mmVp}) = 207,5 \text{ mmVp}$$

Kokonaispainehäviöksi saadaan 207,5 mmVp.

Taulukko 6. QF-putkiston painehäviöt. (Teca Oy, 2022)

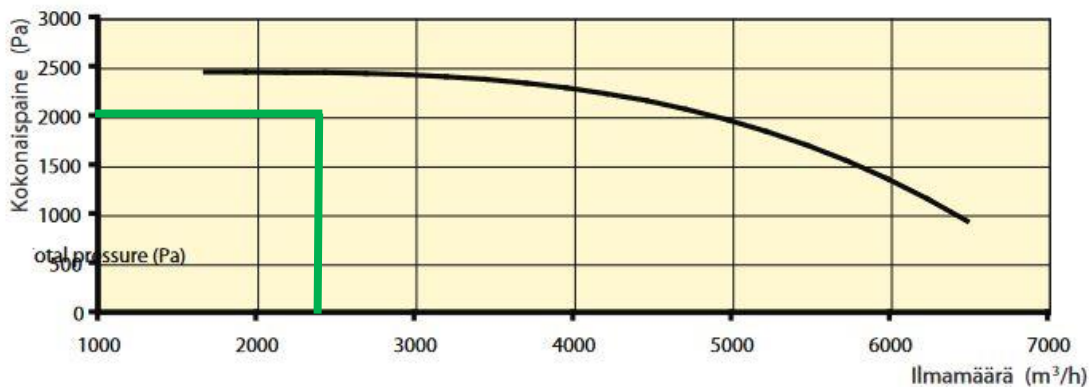
Ø	Pinta-ala m²	Putki									Käyrä 90° 1,5 x D		
		Virtaus m/s			Virtaus m/h			Painehäviö mm Vp/ putkimetriä kohden			Painehäviö mm Vp		
		m/s			m/s			m/s			m/s		
		20	25	30	20	25	30	20	25	30	20	25	30
080	0,0050	0,100	0,125	0,150	360	450	540	6,80	10,50	15,20	5,96	9,30	13,25
100	0,0079	0,158	0,198	0,237	568	711	853	5,90	8,40	13,20	5,98	9,20	13,20
120	0,0114	0,228	0,285	0,342	820	1025	1231	4,60	7,10	10,30	5,83	9,10	13,05
140	0,0154	0,308	0,385	0,462	1108	1385	1663	3,70	5,80	8,30	5,77	9,00	12,90
150	0,0176	0,352	0,440	0,528	1267	1582	1900	3,50	5,40	7,80	5,70	8,90	12,75
160	0,0200	0,400	0,500	0,600	1440	1800	2160	3,20	5,10	7,30	5,64	8,80	12,65
180	0,0255	0,510	0,638	0,765	1836	2295	2754	2,80	4,20	6,00	5,57	8,70	12,50
200	0,0314	0,628	0,785	0,942	2260	2825	3390	2,40	3,80	5,45	5,51	8,60	12,35
225	0,0400	0,800	0,100	1,200	2880	3600	4320	2,10	3,20	4,60	5,45	8,50	12,20
250	0,0490	0,980	1,225	1,470	3528	4420	5292	1,85	2,90	4,15	5,38	8,40	12,05
300	0,0710	1,420	1,770	2,130	5112	6390	7668	1,47	2,30	3,30	5,32	8,30	11,90
350	0,0960	1,920	2,400	2,880	6912	8640	10368	1,22	1,90	2,70	5,26	8,20	11,75
400	0,1250	2,500	3,130	3,750	9000	11250	13500	0,96	1,50	2,15	5,20	8,10	11,60
450	0,1600	3,200	4,000	4,800	11520	14400	17280	0,83	1,30	1,85	5,13	8,00	11,50
500	0,1960	3,920	4,900	5,900	14110	17620	21170	0,74	1,15	1,65	5,06	7,90	11,35
550	0,2380	4,760	5,950	7,150	17135	21400	25705	0,64	1,00	1,45	5,00	7,80	11,20
600	0,2820	5,640	7,060	8,950	20300	25430	30455	0,58	0,90	1,30	4,93	7,70	11,05
650	0,3300	6,600	8,300	9,900	23760	29840	35640	0,52	0,80	1,12	4,87	7,60	10,90
700	0,3850	7,700	9,600	11,550	27720	34610	41580	0,46	0,72	1,03	4,80	7,50	10,75
750	0,4400	8,800	11,030	13,200	31680	39735	47520	0,42	0,66	0,94	4,74	7,40	10,60
800	0,5000	10,000	12,560	15,000	36600	45215	54000	0,38	0,60	0,86	4,68	7,30	10,45
850	0,5650	11,300	14,180	16,950	40680	51040	61020	0,35	0,55	0,79	4,62	7,20	10,30
900	0,6350	12,700	15,900	19,050	45720	57220	68580	0,33	0,52	0,74	4,55	7,10	10,20
950	0,7100	14,200	17,700	21,300	51120	63755	76680	0,32	0,50	0,71	4,49	7,00	10,10

#### 5.4 Suodatinasema

Putkiston painehäviön lisäksi painehäviötä aiheuttaa myös järjestelmässä käytetty suodatin. Suodattimien ja puhaltimien arvojen selvittämiseksi on käännyttävä laitteiden myyjien tai maahantuojien apuun. Suodatinasemaksi valikoitui poistoilmamäärän ja painehäviön perusteella Nederman S-500. Suodatinaseman suoritusarvot ovat ilmoitettuna kuvassa 8. Ilmamäärällä 2600 m<sup>3</sup>/h staattinen paine on 203 mmVp, joka on hyvin lähellä laskettua arvoa. Tässä tapauksessa sopivan puhaltimen teho on noin 4 kW.

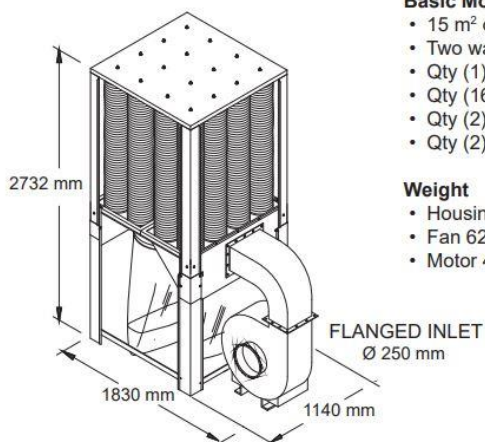
Jos puhallin ja suodatinasema ovat erillisiä laitteita, on suodatinaseman aiheuttama painehäviö lisättävä putkiston kokonaispainehäviöön. Tämän jälkeen luetaan ominaiskäyrästä, pystyykö puhallin toimimaan tarvittavien arvojen puitteissa. Kuvassa 7. nähdään 4 kW puhaltimen ominaiskäyrä ja arvioitu toimintapiste. (Nederman NCF 30/25, 2022)

### Puhallinkäyrä NCF 30/25



Kuva 7. Ominaiskäyrä.

### S - 500



#### Basic Model Features

- 15 m<sup>2</sup> of filter media
- Two waste discharge points
- Qty (1) 4.0kW (5 Hp), 3000 RPM, motor
- Qty (16) filter bags
- Qty (2) plastic waste collection bag
- Qty (2) clamps for easy removal of waste bags

#### Weight

- Housing 120 kg.
- Fan 62 kg.
- Motor 45 kg.

#### Model Number Selection:

S500 - - -	
Phase	Starter
1	220 220V
3	380 380V
	415 415V

Capacity			
Static pressure	203mm Wg	190mm Wg	127mm Wg
Air volume	2600 m <sup>3</sup> /h	3400 m <sup>3</sup> /h	5000 m <sup>3</sup> /h
Air volume	1530 ft <sup>3</sup> /min	2000 ft <sup>3</sup> /min	2941 ft <sup>3</sup> /min

4

Kuva 8. Nederman S-500.(LIITE 2.)

## 7 ENERGIANKULUTUS

### 7.1 Arvioitu energiankulutus

Tutkittujen purunpoistolaitteiden yhteenlaskettu energiankulutus on vuositasolla noin 1226 MWh. Laitteiden tarkkoja käyttötunteja ei ollut käytettävissä, joten parhaaksi arvioksi todettiin käyttää vuorolistojen perusteella laskettuja tunteja. Kokemuksesta tiedettiin laitteiden käytön vastaavan näitä tunteja melko lähelle.

### 7.2 Mahdolliset säästöt

Energiansäästön kannalta tutkitut laitteet tarjosivat useita mahdollisuuksia. Lähes jokaisen purun- tai pölynpoistoaseman energiatehokkuutta on mahdollista parantaa. Toimenpiteet, joilla energiatehokkuutta voidaan parantaa vaihtelevat laitekohtaisesti. Joissain laitteissa pelkällä käyttötavan muutoksella on mahdollista saavuttaa merkittävää energiankulutuksen laskua. Niissä laitteissa, joissa mitoitus ei syystä tai toisesta vastaa pölypoiston tarvetta tällä hetkellä, kannattaa ehdottomasti hyödyntää alan ammattilaisten palveluita, kokemusta ja työkaluja asian selvittämiseksi. Jos pölynpoiston tarve on muuttunut suuresti, saatetaan olla tilanteessa, jossa energiaa hukataan merkittäviä määriä.

Vanhimmat tutkituista laitteista ovat lähes 50 vuoden ikäisiä. Nämä laitteet on suunniteltu ja rakennettu aikana, jolloin teollisuuden tietokonepohjaista ohjaus- ja mittauselektroniikkaa ei ollut vielä saatavilla. Myös sähkömoottoreiden hyötysuhde on parantunut huomattavasti verrattuna 50 vuotta sitten valmistettuihin moottoreihin. Varaosien saatavuudessa on mahdollisesti haasteita. Laitteiden käyttöikä alkaa olla lopussa.

1990- ja 2000-luvuilla valmistettujen laitteiden osalta tilanne on hieman parempi. Laitteet pystytään saneeraamaan kohtuullisin kustannuksin vastaamaan tämän päivän laitteita ohjauksen osalta. Suodatinasemat ja puhaltimet ovat mekaanisesti kunnossa.

Seuraavia keinoja energiatehokkuuden parantamiseen kannattaa soveltaa kaikkiin laitteisiin pölynpoistojärjestelmissä:

- Sähkömoottorit kannattaa vaihtaa korkean hyötysuhteen moottoreihin
- Puhaltimien ohjaus kannattaa kytkeä työstökoneisiin siten, että ne käyvät vai todellisen tarpeen mukaan
- Nykyaikaisten ohjausjärjestelmien hankkiminen
- Suodattimien huoltoväli kannattaa pitää riittävän lyhyenä.

Laskettuna yhteen laitteille suositeltujen toimenpiteiden tuomat mahdolliset säästöt ovat noin 21,5 % imureiden sähkönenergiankulutuksesta. Jos energiankulutus on lähellä arvioitua 1226 MWh vuodessa, tekee tämä vuoden 2020 toteutuneella sähkön hinnalla noin 20 000 € säästön vuodessa. Tämän lisäksi turhan käytön välttämällä saadaan hyötyä myös lämmityskustannusten pienentämisestä.

## 8 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli kartoittaa JELD-WEN Suomi Oy Kuopion tehtaan pölyn- ja purunpoistojärjestelmien energiankulutusta ja etsiä keinoja, joilla energiankulutusta voidaan vähentää. Työn aikana päästiin tutustumaan laitteiston mitoitukseen ja erilaisiin sähkökäyttöihin.

Pölyn- ja purunpoistolaitteet olivat sähköenergian säästämisen kannalta mielenkiintoinen aihe. Koska kyseessä olevat laitteet eivät edustaneet alan uusimpia innovaatioita, löydettiin lähes jokaisesta kohteesta parannettavaa. Laitteiden käyttöä järkeistämällä ja investoimalla ohjausjärjestelmiin sekä korkean hyötysuhteen sähkömoottoreihin, voidaan saada merkittäviä taloudellisia säästöjä energian kulutuksessa. Hyvin toimivat laitteet antavat myös miellyttävämmän käyttökokemuksen henkilökunnalle.

Vanhimpien laitteiden osalta käyttöikä alkaa olla loppupuolella, jos laitteita ei uusita ne tulevat lähivuosina tarvitsemaan suuremman saneerauksen mekaanisten osien ja sähkökaapelointien osalta. Tässä vaiheessa kannattaa tehdä tarkasti uuden laitteiston ja saneerauksen kustannusvertailu. Laitteisto uusimalla saadaan myös nykyaikaisen ohjauksen tuomat edut ja säädettävyys. Monessa nykyaikaisessa järjestelmässä on myös datan keräys. Laitteen arvoja ja energiankulutusta voidaan seurata reaaliaikaisesti tai tallennettuja historiatietoja hyödyntäen.

Uudempien suodatinasemien ja puhaltimien kohdalla ohjauksen automatisointi ja energiatehokkaat sähkökäytöt tuovat merkittäviä säästöjä sähkönkulutukseen. Kiristyvien energiahintojen vuoksi kaikki säästö kannattaa hyödyntää. Turhan käynnin välttäminen vähentää myös kunnossapidon tarvetta, ja tuo siten säästöjä välillisesti.



## LÄHTEET

ABB. (27. 2. 2022). *Tekninen opas nro 7*. Noudettu osoitteesta:

[https://library.e.abb.com/public/b11dafa92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11dafa92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf)

EY-komissio. (23. 4. 2022). *EUR-lex*. Noudettu osoitteesta: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32009R0640>

Moldow A/S. (12. 3. 2022). Noudettu osoitteesta: <https://moldow.com/dust-extraction-system/products/baghouse-filter/#mhl>

Moldow A/S. (12. 3. 2022). Noudettu osoitteesta: <https://moldow.com/dust-extraction-system/products/energy-manager/>,

Motiva Oy. (5. 12. 2013). Noudettu osoitteesta:

[https://www.motiva.fi/files/11224/Ekosuunnittelu\\_sahkomoottorit.pdf](https://www.motiva.fi/files/11224/Ekosuunnittelu_sahkomoottorit.pdf)

Motiva Oy. (25. 1. 2022). *Energiatehokkaat sähkömoottorit*. Noudettu osoitteesta:

[https://www.motiva.fi/files/5342/Energiatehokkaat\\_sahkomoottorit.pdf](https://www.motiva.fi/files/5342/Energiatehokkaat_sahkomoottorit.pdf)

Motiva Oy. (18. 4. 2022). *Sähkömoottorien hankintaopas*. Noudettu osoitteesta:

[https://www.motiva.fi/files/18152/Sahkomoottorien\\_hankintaopas.pdf](https://www.motiva.fi/files/18152/Sahkomoottorien_hankintaopas.pdf)

Nederman. (12. 3. 2022). Noudettu osoitteesta: [https://www.teca.fi/Download/27180/combifab\\_brochure.pdf](https://www.teca.fi/Download/27180/combifab_brochure.pdf)

Nederman NCF 30/25. (18. 4. 2022). *NCF 30/25*. Noudettu osoitteesta:

<https://www.teca.fi/Download/27437/Nederman%20NCF%2030.25%20keskipakopuhallin.pdf>

Raittimo, V.-V. (6. 3. 2022). Noudettu osoitteesta:

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/267498/Raittimo\\_Ville.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/267498/Raittimo_Ville.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Seppänen, O. (2008). *Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto*. Helsinki: Suomen LVI liitto.

Teca Oy. (28. 3. 2022). Noudettu osoitteesta: <https://www.teca.fi/tuotteet/putkistot-polyn-ja-purun-siirtoon/qf-putket/13833/qf-tasausputki>

Teca Oy. (8. 2. 2022). *TECA QF-putkistojärjestelmä*. Noudettu osoitteesta:

<https://www.teca.fi/Download/27568/QF-putkistoj%c3%a4rjestelm%c3%a4.pdf>

Työturvallisuuskeskus. (28. 3. 2022). Noudettu osoitteesta:

[https://ttk.fi/files/7659/Puupolyn\\_hallinta\\_puuteollisuudessa\\_20110.pdf](https://ttk.fi/files/7659/Puupolyn_hallinta_puuteollisuudessa_20110.pdf)

Tähti, E. (2000). *Teollisuusilmastoinnin opas*. Helsinki: Suomen Talotekniikan kehityskeskus.

VEM Motors Finland Oy. (25. 1. 2022). Noudettu osoitteesta: <https://www.vem.fi/wp-content/uploads/2022/01/VMF-hinnasto-2022.pdf>

## LIITE 1: PAINEHÄVIÖT



Tecalemit Environment Oy  
Varastotie 15, 65610 Mustasaari  
Tiilitie 6, 01720 Vantaa

www.teca.fi  
029 006 270  
asiakaspalvelu@teca.fi

## WOOD WASTE EXTRACTION

## DIMENSION AIR DATA FOR CIRCULAR DUCTS

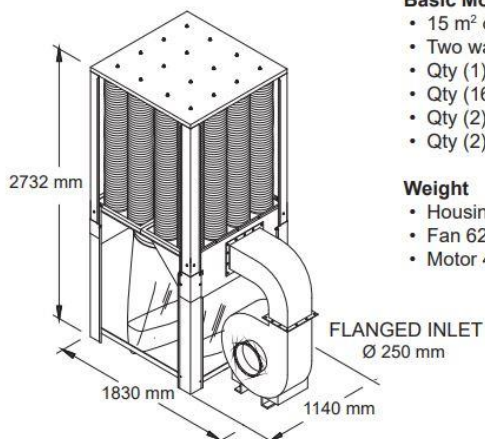
Air velocity  $V = \frac{Q \cdot 353,7}{D^2}$  m/s      Air quantity  $Q = \frac{D^2 \cdot V}{353,7}$  m<sup>3</sup>/h - Pipe diameter  $D = \sqrt{\frac{Q}{V}} \cdot 19,8$  mm  
Dynamic pressure  $P_d = \frac{\rho \cdot V^2}{2}$  Pa      Static pressure  $P_s = P_d \cdot \zeta$  Pa/m  
 $\rho = 1,22 \text{ kg/m}^3$       (20°C)

PIPE Diameter D mm	V = 20 m/s Pd = 224 Pa	22 m/s 296 Pa	24 m/s 352 Pa	26 m/s 410 Pa	28 m/s 479 Pa	30 m/s 550 Pa	32 m/s 626 Pa	34 m/s 699 Pa
100	P <sub>s</sub> = 43 Pa/m Q = 565 m <sup>3</sup> /h	58 622	69 679	81 735	94 792	108 879	123 905	139 962
125		38 884	46 972	55 1061	65 1149	75 1237	86 1325	98 1414
140		34 1109	41 1219	48 1330	53 1441	65 1552	75 1663	86 1774
160		26 1448	32 1593	38 1737	45 1882	52 2027	59 2172	68 2316
180		24 1832	29 2015	35 2199	41 2382	47 2565	54 2748	61 2932
200		21 2262	25 2488	30 2714	35 2940	40 3167	46 3393	53 3619
250		16 3534	19 3887	23 4241	27 4594	31 4948	36 5301	41 5655
315		12 5611	14 6172	17 6733	19 7294	23 7855	26 8416	29 8977
350		12 6527	14 7620	17 8312	19 9005	23 9697	26 10390	29 11083
400		9 9047	11 9952	13 10857	15 11761	17 12666	20 13571	23 14476
450		8 11450	10 12595	11 13740	13 14885	15 16030	18 17175	20 18320
500		7 14136	8 15530	10 16954	11 18377	13 19791	15 21205	17 22620
560		6 17733	7 19506	9 21279	10 23052	12 24825	13 26609	15 28372
630		5 22443	6 24687	7 26931	9 29180	10 31420	11 33670	13 35910
710		5 28504	6 31360	7 34205	8 37050	9 39910	10 42760	12 45610
800		4 36189	5 39810	6 43426	8 47050	9 50670	10 54290	11 57910
900		3 45802	4 50390	5 54962	6 59545	7 64130	8 68710	9 73290
90° BEND R = 1 x D	80 Pa/m	97	114	133	155	179	204	230
90° BEND R = 1,5 x D	58 Pa/m	70	83	97	113	130	148	167
FLEX HOSE Pa/m	ø 100 ø 140	175 Pa/m 70 Pa/m	200 95	260 100	280 110	340 140	380 180	500 250

Kuva 9. Painehäviötaulukko.

LIITE 2: NEDERMAN S-500

# S - 500



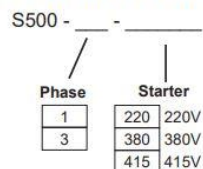
**Basic Model Features**

- 15 m<sup>2</sup> of filter media
- Two waste discharge points
- Qty (1) 4.0kW (5 Hp), 3000 RPM, motor
- Qty (16) filter bags
- Qty (2) plastic waste collection bag
- Qty (2) clamps for easy removal of waste bags

**Weight**

- Housing 120 kg.
- Fan 62 kg.
- Motor 45 kg.

**Model Number Selection:**



Capacity			
Static pressure	203mm Wg	190mm Wg	127mm Wg
Air volume	2600 m <sup>3</sup> /h	3400 m <sup>3</sup> /h	5000 m <sup>3</sup> /h
Air volume	1530 ft <sup>3</sup> /min	2000 ft <sup>3</sup> /min	2941 ft <sup>3</sup> /min