

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikka

Elisa Patrikainen

Paineilman kulutuksen optimointi pituusleikkurilla

Insinöörityö 22.10.2008

Työn ohjaaja: Project Chief Engineer Pekka Vantola
Työn valvoja: Lehtori Antti Liljaniemi

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Elisa Patrikainen Paineilman optimointi pituusleikkurilla 86 sivua 12.10.2008
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Ohjaaja Valvoja	Project Chief Engineer Pekka Vantola Lehtori Antti Liljaniemi
<p>Tämä insinööriyö on tehty Metso Paper Oy:lle. Insinööriyön aiheena oli paineilman optimointi pituusleikkurilla. Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia WinDrum-C-pituusleikkurin paineilman kulutusta, siihen liittyviä komponentteja ja toimintatapoja. Pääpainopiste työssä oli perehtyä paineilman kulutukseen vaikuttaviin asioihin toimilaitteiden, puhaltimien ja alipainetekniikan näkökulmasta sekä pohtia tapoja paineilman käytön optimointiin pääarviennin, rullauksen ja muutonvaihdon aikana. Työn tavoitteena oli löytää keinot, millä paineilman kulutusta pystyttäisiin vähentämään ainakin 30 %.</p> <p>Insinööriyön tekeminen aloitettiin tutustumalla pituusleikkurin rakenteeseen ja toimintaan sekä selvittämällä pneumaattiset komponentit ja piirit. Tutkittiin puhalluksia ja alipainetekniikkaa, joissa oli eniten parantamisen varaa ja hukailman tuottoa. Pituusleikkurilla ei juurikaan käytetä suuttimia puhalluksissa, ja alipaine toteutetaan yleensä yksivaihe-ejektoreilla. Suuttimien asennus puhallusputkiin ja monivaihe-ejektorit kuluttaisivat huomattavasti vähemmän paineilmaa.</p> <p>Tämän jälkeen kartoitettiin eri suutinvaihtoehdot ja selvitettiin, kuinka ejektoripiireistä hylsynlaitattimella ja takatelalla voitaisiin saada energiatehokkaampia. Suutinvaihtoehdot testattiin Metso Paper Järvenpään verstaalla ja huomattiin selkeät erot tehokkaiden suutinten ja Metson nykyisten laitteiden välillä. Myös alipaineen tuottoon kehitettiin energiatehokkaampi järjestelmä.</p> <p>Työn lopputuloksena oli kehitysehdotus Metso Paper Oy:lle, kuinka pituusleikkurin paineilman kulutusta voitaisiin vähentää.</p>	
Hakusanat	pneumatiikka, pituusleikkuri, suuttimet, paineilman optimointi

Author Title	Elisa Patrikainen Optimization of compressed air in winder
Number of Pages Date	86 12 October 2008
Degree	Automation Technology
Instructor Supervisor	Pekka Vantola, Project Chief Engineer, H&P Antti Liljaniemi, Lector
<p>This final year project was commissioned by Metso Paper, Järvenpää. The subject of this final year project was the optimization of compressed air in winder. The purpose of this final year project was to investigate how to reduce the usage of compressed air in the WinDrum-C winder and to investigate pneumatic components and functions of the winder. The main focus of the final year project was to become acquainted with the elements which influence the consumption of compressed air from perspective of the fans and vacuum techniques. The aim was also to investigate ways to optimize the consumption of compressed air in tail threading, wind-up and during set change. The aim of the final year project was to find ways to reduce the consumption of compressed air by at least 30 %.</p> <p>The final year project was launched by becoming acquainted with the structure and functioning of a winder and by investigating which pneumatic components and circuits were used. Also blows, nozzles and vacuum techniques were investigated to find out which had the biggest potential to reduce the consumption of compressed air. It was detected that hardly any nozzles were being used in the winder and that the vacuum was usually produced with one-phase ejectors. Implementing nozzles and using multi-phase ejectors would consume considerably less compressed air.</p> <p>After this different nozzle options were listed and tested. Also ways of making the ejector circuits in the winder's core loader and rear roll more energy efficient were investigated. The different nozzle options were tested in the workshop of Metso Paper, Järvenpää. Clear differences between the efficient nozzles and the current machinery used by Metso were noted. Also a more efficient system was developed for the yield of vacuum air.</p> <p>As a result, different ways of reducing the consumption of compressed air in Metso Paper winders were found.</p>	
Keywords	pneumatics, winder, nozzles, optimization of pneumatics

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ ABSTRACT

1	JOHDANTO	12
2	PITUUSLEIKKURI	13
2.2	Leikkurityypit	14
2.2	Aukirullausosa	16
2.3	Päänvienti	16
2.4	Leikkausosa	18
2.4	Kiinnirullausosa	20
2.5	Muutonvaihto	21
3	PAINEILMA	23
3.1	Paineilmajärjestelmä	24
3.1.1	Sylinterit	24
3.1.2	Venttiilit	25
3.1.3	Puhaltimet	27
3.1.4	Ejektorit	28
3.2	Paineilmajärjestelmä ja -laitteet pituusleikkurilla	29
3.2.1	Venttiilit	30
3.2.2	Puhaltimet	30
3.2.3	Ejektorit	31
3.3	Paineilman kulutus ja optimointi	32
3.3.1	Yleiset optimointitavat	33
3.3.2	Vuodot	35
3.3.3	PATE-analyysi	36
3.4	Paineilman kulutus ja optimointi pituusleikkurilla	37
3.4.1	Puhallukset ja alipaine	38
3.4.2	Suuttimet	40
4	MITTAUKSET	42
4.1	Mittausjärjestelyt	42
4.2	Suuttimet	44
4.2.1	Mittaustulokset ja tulosten tarkastelu	45
4.3	Puhallusputket	50
4.3.1	Mittaustulokset ja tulosten tarkastelu	51
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	63
5.1	Suuttimet	64
5.2	Alipaine	65
5.3	Kehitysehdotukset	67

LÄHTEET

70

LIITTEET

Liite 1: Pituusleikkurin pneumatiikkapiirit	71
Liite 2: PATE- anlyysin päävaiheet	72
Liite 3: Esimerkkipuhalluspiirit	73
Liite 4: Ohjaustelan ejektorikaavio	74
Liite 5: Hylsynlaitattimen ejektorikaavio	75
Liite 7: Virtausmittarien muunnostaulukot	76

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia WinDrum-C-pituusleikkurin paineilman kulutusta, siihen liittyviä komponentteja ja toimintatapoja. Pääpainopiste työssä oli perehtyä paineilman kulutukseen vaikuttaviin asioihin toimilaitteiden, puhaltimien ja alipainetekniikan näkökulmasta sekä pohtia tapoja paineilman käytön optimointiin päännviennin, rullauksen ja muotonvaihdon aikana. Työn tavoitteena oli löytää keinot, millä paineilman kulutusta pystyttäisiin vähentämään ainakin 30 %.

Insinööriyön tekeminen aloitettiin tutustumalla pituusleikkurin rakenteeseen ja toimintaan sekä selvittämällä sen pneumaattiset komponentit ja piirit. Työn edistyessä huomattiin, ettei juuri missään puhalluksissa käytetty suuttimia ja alipaineen luontiin käytettiin yleisimmin yksivaihe-ejektoria. Lisäämällä suuttimet puhallusputkiin ja kehittämällä energiatehokkaampi alipainejärjestelmä saataisiin paineilman kulutusta pienennettyä huomattavasti.

Eri suutinvaihtoehdot kartoitettiin ja testattiin. Mittauksissa huomattiin selkeät erot tehokkaiden suuttimien ja paljaan putkenpään välillä. Jo pelkällä suuttimien lisäyksellä päästiin lähelle 30 %:n säästöjä. Alipainejärjestelmää muutettiin vaihtamalla yksivaihe-ejektorit monivaihe-ejektoreihin ja lisäämällä ejektoreihin alipainevahdit. Tällaisella järjestelmällä energian säästöä tulisi käytöstä riippuen 33-66 % verrattuna vanhaan järjestelmään.

Energiankulutukseen on viime aikoina kiinnitetty paljon huomiota, ja sähkön hinnan nousun myötä paineilma kallistuu suoraan samassa suhteessa. Paineilmaa käytetään melkein kaikilla teollisuuden aloilla, vaikka se on yksi kalleimmista energiamuodoista. Siksi paineilman käytön optimointi on ensiarvoisen tärkeää energiakustannusten hallinnassa. Metson asiakkaat ovat jo osoittaneet kiinnostusta vähemmän paineilmaa käyttäviin toteutuksiin, joten paineilman kulutuksen optimointi toimii myös kilpailuvalttina. Vaikka uusien, vähemmän paineilmaa kuluttavien laitteiden asennus nostaa pituusleikkurin hintaa, niin laitteet maksavat itsensä takaisin muutaman vuoden sisällä ja sen jälkeen tuovat suoraa säästöä pienempien energiakulujen ansiosta.

Metso Paper on yksi Metso-konsernin kolmesta liiketoiminta-alueesta. Muut kaksi ovat Metso Minerals ja Metso Automation. Metso-konsernin liikevaihto vuonna 2007 oli yli 6 miljardia euroa ja henkilöstöä oli ympäri maailmaa noin 10 800. Metso Paper muodostaa 46 % konsernin liikevaihdosta ja sen palveluksessa toimii 44 % konsernin henkilöstöstä. Metso Paper on johtava sellu-, paperi- ja voimantuotantoteknologioiden toimittaja, joka pystyy tarjoamaan sellu- ja paperiteollisuuden asiakkaille täyden tuote- ja palveluvalikoiman. Tuotevalikoima kattaa koko tuotantoketjun massanvalmistuksesta rullanpakkaukseen, ja Metso Paperin asiantuntijapalvelut parantavat asiakkaiden prosessien tehokkuutta niiden koko elinkaaren ajan. /2/

Järvenpään yksikkö on Metso Paper Oy:n toiseksi suurin toimipaikka ja samalla alueensa suurin yksityinen työnantaja, jonka palveluksessa työskentelee yli 1 000 henkilöä. Tuotteita ovat paperikoneen jälkikäsitteilylaitteistot kuten kalanterit, rullaimet, päällystyskoneet, pituusleikkurit sekä rullankäsittelyjärjestelmät. /2/

2 PITUUSLEIKKURI

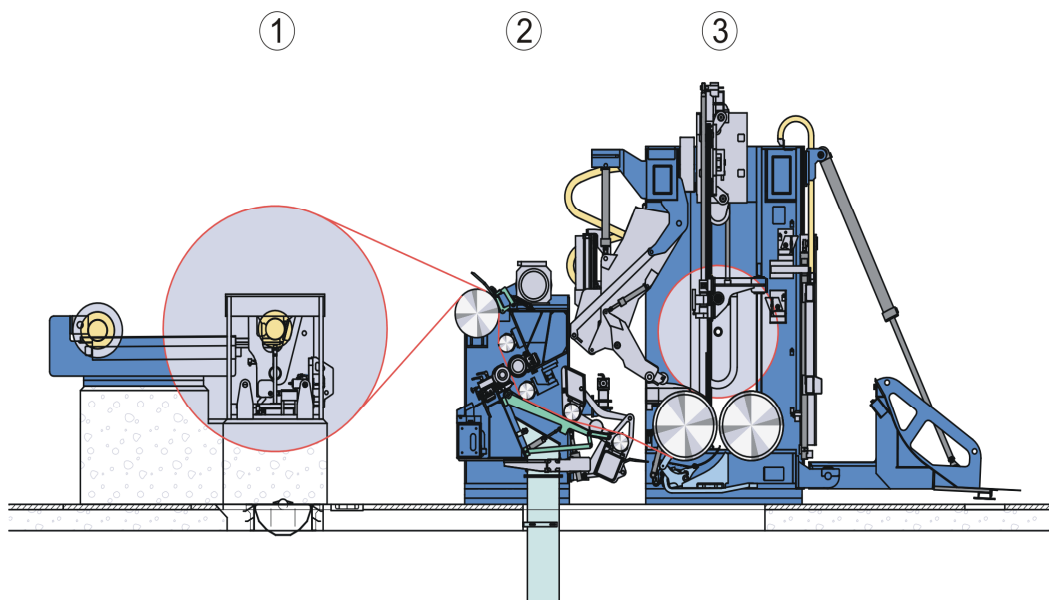
Paperikoneelta tuleva paperi- tai kartonkirulla leikataan pituusleikkurilla sopivan levyisiksi ja pituisiksi asiakasrulliksi. Pituusleikkurilta asiakasrullat siirtyvät rullankäsittelylaitteille, jotka kuljettavat ne pakattaviksi tai arkkileikkureille.

Pituusleikkurin päätehtävät ovat pituusleikkaus ja rullan muodostus. Paperi- tai kartonkikoneelta tuleva iso konerulla leikataan kapeammiksi ja helpommin käsiteltäviksi asiakasrulliksi asiakkaan tilauksen mittojen mukaisesti. Pituusleikkurilla ei voida parantaa paperin tai kartongin laatuominaisuuksia, mutta paperirainasta on mahdollista merkitä tai poistaa sellaisia kohtia, jotka eivät täytä laatuvaatimuksia. Paperirainasta poistetaan myös mahdollisesti huonolaatuiset reunaosat. Lisäksi paperi- tai kartonkirainan ajettavuus tulee testatuksi. Rullan muodostuksessa asiakasrullilta edellytetään hyvää ajettavuutta painokoneella tai arkkileikkauksessa sekä kestävyyttä ja käsiteltävyyttä kuljetuksessa ja varastoinnissa. /3/

Ennen rullauksen käynnistämistä asetetaan halutut ajoparametrit, joita ovat esimerkiksi rullausnopeus, rainankireys, rullausvoima ja painotelakuorma. Tarvittaessa parametreja voidaan muuttaa myös rullauksen aikana. Ohjausjärjestelmä ohjaa pituusleikkuria automaattisesti koko rullauksen ajan ja pituusleikkuriin sijoitetut anturit mittaavat ja lähettävät ohjausjärjestelmään tietoa rullausparametrien todellisista arvoista. Ajo- ja rullausparametrien perusteella ohjausjärjestelmä säätää pituusleikkuria siten, että mitatut parametrit vastaavat haluttuja ajoparametreja. Ohjausjärjestelmä pysäyttää pituusleikkurin automaattisesti valittujen ehtojen mukaisesti. Näitä ehtoja voivat olla mm. asiakasrullan loppuhalkaisija, asiakasrullan rainan pituus, konerullan loppuhalkaisija ja konerullan rainan pituus. Jos on valittu useampia ehtoja, ohjausjärjestelmä pysäyttää rullauksen sen ehdon mukaan, joka täyttyy ensimmäisenä. /1/

Pituusleikkuri voi olla ns. on-line- tai off-line-laitteena. On-line-laitteena se on suoraan paperikoneen perässä kiinteänä osana paperinvalmistuslinjaa. Pituusleikkurin ollessa off-line-laitteena paperikoneen jälkeen voi olla esimerkiksi erillisiä päällystys- ja kalanteriyksiköitä ja pituusleikkaus tapahtuu vasta näiden jälkeen. Pituusleikkureita voi

myös olla useampia rinnakkain, tavallisesti kaksi, jolloin konerullat voidaan ohjata oikealle leikkurille sille parhaiten sopivan, kulloinkin valmistettavan paperi- tai kartonkilajin perusteella tai esimerkiksi vuorotellen kummallekin leikkurille. Molemmat pituusleikkurit voivat käyttää samaa rullankuljetinta, mutta kummallakin voi olla myös täysin omat kuljetinjärjestelmänsä. Tällöin prosessi on vähemmän herkkä vikatilanteille, mutta vaatii tehtaalla enemmän lattiapinta-alaa. Pituusleikkausta tapahtuu lisäksi ns. jälkileikkureilla, joilla konerullasta jo kertaalleen pituusleikkurilla muodostettu rulla voidaan uudelleenrullata ja leikata edelleen pienemmiksi rulliksi. Myös useampi jo muodostettu rulla voidaan yhdistellä jälkileikkurilla yhdeksi rullaksi ja samalla paperirainasta on mahdollista poistaa huonolaatuisia kohtia. Pituusleikkuri koostuu alla olevan kuvan mukaisesti kolmesta osasta: aukirullaus (1)-, leikkaus(2)- ja kiinnirullausosasta(3).



Kuva 1. Pituusleikkurin pääosat. 1. Aukirullausosa 2. Leikkausosa 3. Kiinnirullausosa /4/

2.1 Leikkurityypit

Pituusleikkureita on kahta perustyyppiä: kantotelaleikkureita ja keskiörollainleikkureita. Kantotelatyyppisessä pituusleikkurissa asiakasrulla muodostuu kahden metallisen rullaustelan päälle. Rullaa tuetaan sivusuunnassa hylsylukoilla ja päältä painotelalla. Kantotelaleikkurien rullaustapana on pintavetorullaus, jossa rullaa painetaan rullaustelaa vasten, joka pyörittää rullaa.

Kantotelaleikkuria käytetään suhteellisen suurta nippikuormaa eli vetopainetta kestävien paperilajien, kuten päällystämättömän hienopaperin ja päällystämättömän kartongin, rullaukseen.

Keskiörullainleikkurien rullaustapana on yhdistetty keskiö- ja pintavetorullaus. Keskiörullaimessa kukin rulla muodostuu keskitelan molemmille puolille omalla rullausasemallaan. Keskiörullainleikkuri sopii syväpainopaperin ja muiden vaativien paperilajien rullaukseen. /5/

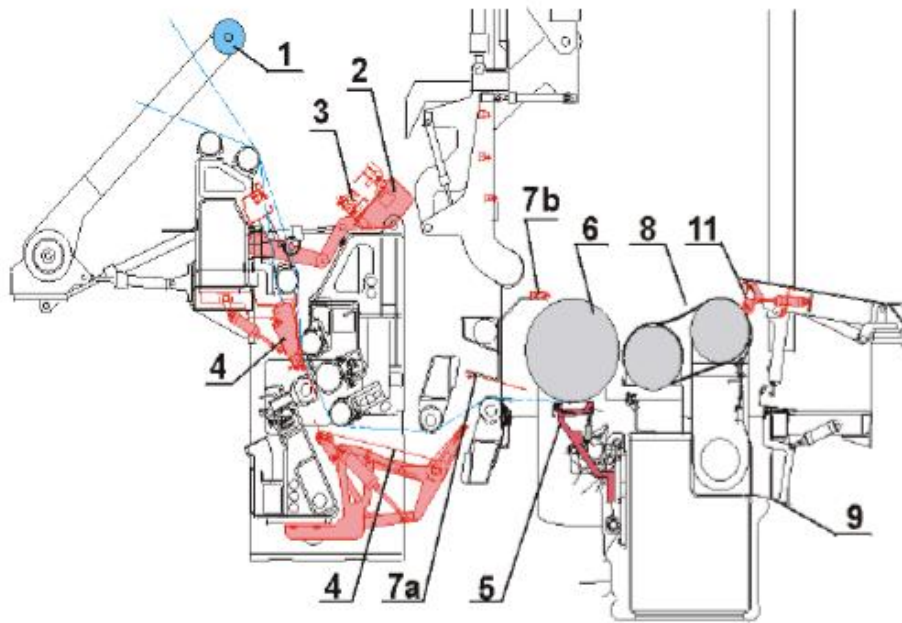
2.2 Aukirullausosa

Konerullat avataan aukirullaimella, jolloin konerullan paperi purkautuu hallitusti tampuuriraudan ympäriltä ja raina ohjataan ohjaus- ja levitystelojen avulla leikkausosalle. Aukirullaimen sivuttaissiirrolla konerullaa voidaan siirtää poikkisuunnassa, jotta rainan reunanauhojen leveydet saadaan sopiviksi molemmin puolin leikkausteriin nähden. Sivuttaissiirtoa käytetään myös aukirullauksen aikana niin, että rainan reuna pysyy halutussa kohdassa. Puskusaumaimella liitetään tyhjentyneen konerullan raina uuden konerullan rainaan. Tyhjentyneen konerulla nostetaan nostolaitteella ylös palautuskiskoille ja siirretään palautusasemalle. /1/,/6/

2.3 Päänvienti

Aukirullausosasta paperiraina etenee päänviennin kautta leikkausosaan. Päänviennissä paperiraina viedään aukirullausosasta pituusleikkurin läpi kiinnirullausosalle saakka siten, että raina on valmiina hylsynsyötön aloittamista varten. Päänvienti tehdään, kun pituusleikkuri on tyhjä eli siinä ei ole paperirainaa. Jos pituusleikkurissa on raina edellisestä konerullasta, kiinnitetään uuden rainan alku vanhan rainan loppuun. Tätä kutsutaan saumaukseksi.

Päänvientilaitteisiin kuuluvat kuvan 2. mukaisesti: imutela (1), saumauspalkkiin (2) liitetyt päänvientikiilan leikkaavat terät (3), rumpumoottorilla varustettuja hihnastoja (4), rullaustelan alapuolinen hihnasto (5), takakantotelan imu (6), puhallusputkia (7), etutela (8), pulpperiluukku (9), rainanpidin (11), hihnastot (4 ja 5), jotka ovat noin metrin levyisiä ja sijaitsevat pituusleikkuri keskilinjalla.



Kuva 2. Päänvientilaitteet imutela (1), saumauspalkkiin (2) liitetyt päänvientihiilan leikkaavat terät (3), rumpumoottorilla varustettuja hihnastoja (4), rullaustelan alapuolinen hihnasto (5), takakantotelan imu (6), puhallusputkia (7), etutela (8), pulpperiluukku (9), rainanpidin (11), hihnastot (4 ja 5) /7/

Päänvienti tapahtuu täysin automaattisesti käsittäen seuraavat vaiheet:

1) Täysleveä raina haetaan konerullalta ohjausteloille imutelan avulla. Imutela ohjataan siis kiinni konerullaan ja se alkaa kerätä rainaa ympärilleen. Imutela kääntyy kotiasemaansa kelaten koko ajan paperia ympärilleen. Näin raina saadaan ohjausteloille valmiiksi päänvientihiilan leikkaamista varten.

2) Päänvientihiila leikataan rainan keskeltä ja syötetään eteenpäin. Päänvientihiila helpottaa rainan päänvientiä pituusleikkurin läpi. Päänvientihiila tehdään repimällä loiva, symmetrinen kiila konerullan keskeltä molemmille reunoille päin. Kiilan leikkaamiseen tarvitaan kolme terää: puhkaisuterä kiilan alun leikkaamiseen ehjästä rainasta sekä reunoille päin liikkuvat kaksi terää kiilan reunojen leikkaamiseen. Kiilan katkaisuterä läpäisee rainan, ja kiilanleikkausterät alkavat leikata avautuneesta viillosta muodostaen kiilan liikkumalla kohti rainan reunoja.

3) Kiila johdetaan pituusleikkurin läpi rullausteloille saakka. Kohdassa 2) muodostuva päänvientikiila ohjataan alaspäin kohti leikkausosaa, jossa ensimmäinen päänvientihihnasto alkaa vetää kiilan kärkeä eteenpäin. Puhallettu ilmavirta ohjaa kiilan kärjen rainanerottimen toisen telan yli. Takatelan vaippa on rei'itetty ja telan sisällä on alipaine. Alipaine imee rainan kiinni takatelan pintaan. Kiila nousee ylös rullausteloille takatelan pyörimisliikkeen mukana.

4) Kiila johdetaan rullausteloilta pulpperiin. Takatelan yläpuolisista putkista puhallettu ilmavirta irrottaa kiilan kärjen takatelan pinnasta etummaisena rullaustelan päälle. Etutela pyörii siten, että se tuo rainan kärjen pituusleikkurin eteen, jossa raina ohjataan aukaistuun pulpperiluukkuun.

5) Pituusleikkuria ryömitetään, kunnes koko kiila on tullut pituusleikkurin läpi ja rullausteloilla on täysleveyden raina.

6) Pituusleikkuri pysäytetään ja raina katkaistaan. Automaattisen päänviennin jälkeen rainan alkupää on oikeassa paikassa leikkauksen ja rullauksen aloittamista varten.

2.4 Leikkausosa

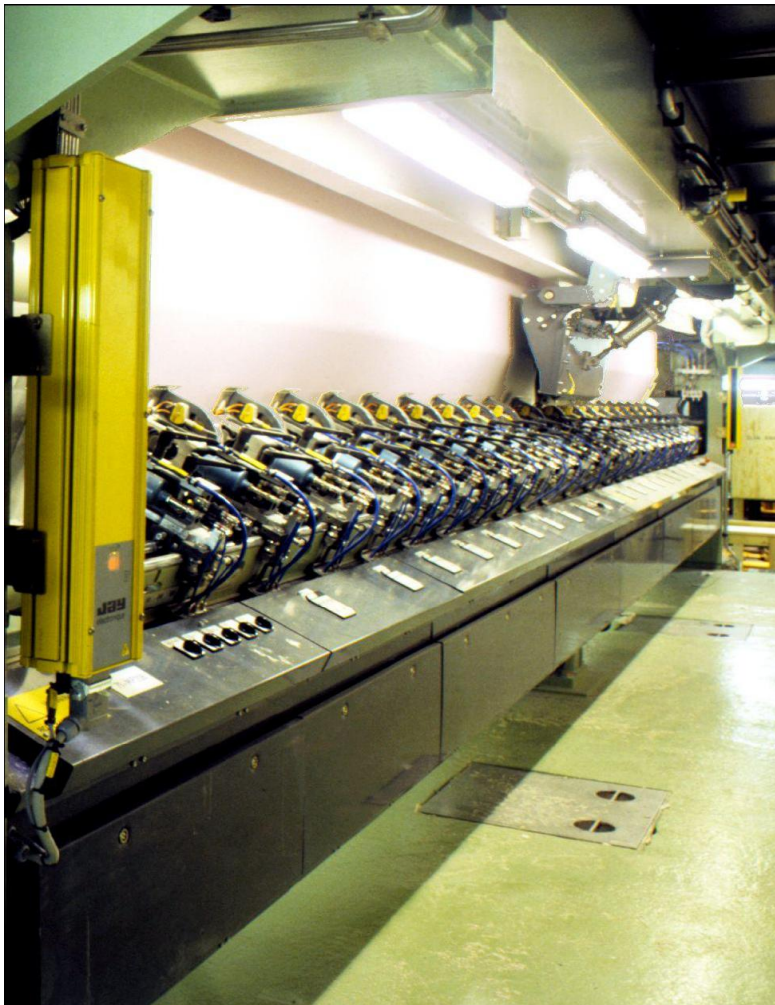
Leikkausosalla aukirullaimelta tuleva raina leikataan konesuunnassa sellaisiin leveyksiin, joista syntyy tilauksen mukaiset asiakasrullat. Ohjausteloilla hallitaan rainan kulkua leikkausosalla. Teriä ennen oleva ohjaustela levittää rainan ennen leikkausta, jotta raina oikenee ja tulee terille sileänä. Rainaa leikkaa kaksi terää yhdessä, ylä- ja alaterä. Ne muodostavat teräparin. Teräparien asemointi tapahtuu teriensiirtolaitteilla haluttuihin paikkoihin, jotka määräytyvät asiakasrullien leveyden mukaan. Lisäksi rainasta leikataan reunimmaisilla teräpareilla pois reunaosat eli reunanauhat. Ne ohjataan reunanauhatorviin, jotka johtavat pulpperiin.

Terien jälkeen tuleva ohjaustela pitää leikatut osarainat erillään toisistaan ja ohjaa osarainat kulkemaan suoraan ja vekittöminä. Tämä on tärkeää hyvän ajettavuuden kannalta. Suuremmat raot osarainojen väliin muodostetaan rainojenerottimella, jotta

kiinnirullauksessa rullien väliin jää riittävästi rakoa. Rakojen ansiosta rullat irtoavat helposti toisistaan.

Rainassa täytyy vallita sopiva vetojännitys eli rainankireys hyvän ajettavuuden ja katkottomuuden aikaansaamiseksi. Rainankireys on yksi ajoparametreista, ja sen asetusarvo tallennetaan ohjausjärjestelmään ennen rullauksen käynnistämistä. Pituusleikkuriin sijoitetuilla antureilla mitataan rainan kireyttä ja mittaustiedot lähetetään ohjausjärjestelmään rullauksen hallintaa varten. Ohjausjärjestelmä säättää pituusleikkuria, jotta mitatut ajoparametrit saadaan vastaamaan ennalta asetettuja ajoparametreja. /1/, /6/

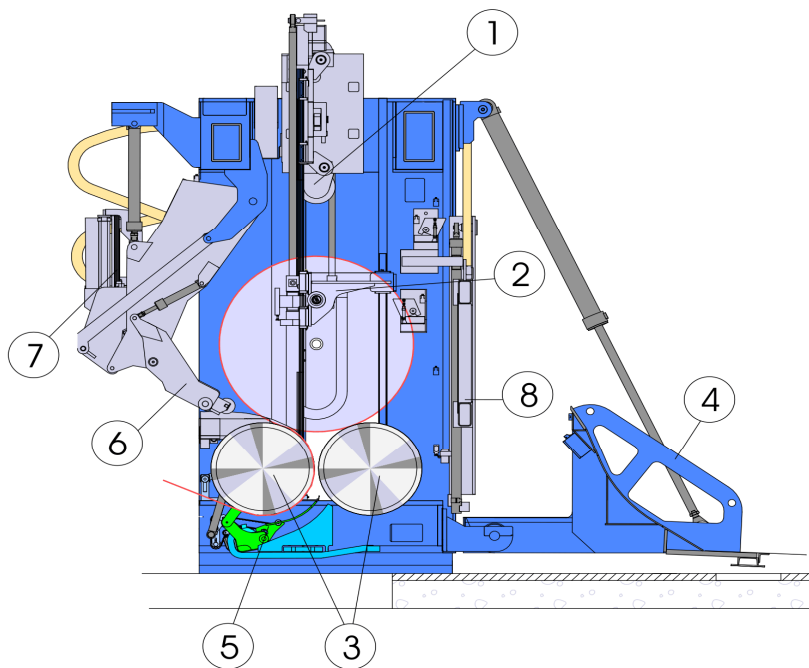
Kuvasta 3 näkee hyvin, kuinka paperi kulkee terien ohi ja terät leikkaavat sen asiakasrullaleveyteen.



Kuva 3. Leikkaavat terät

2.5 Kiinnirullausosa

Kiinnirullausosalla aukirullattu ja osarainoiksi leikattu paperiraina rullataan asiakasrulliksi ja valmiit asiakasrullat poistetaan pituusleikkurista. Tavoitteena on muodostaa rulla, jonka rakenne kestää kuljettamisen sekä mahdollistaa häiriöttömän jatkojalostuksen. Rullausosan muodostavat kuvan 4. mukaisesti painotela (1), hylsylukot (2), rullaustelat (3), rullienpoistolaitteet (4), katkaisuterä (5), rullantyönnin (6), hylsynlaitatin (7) ja kitasuoja (8).



Kuva 4. Rullausosan rakenne; painotela (1), hylsylukot (2), rullaustelat (3), rullienpoistolaitteet (4), katkaisuterä (5), rullantyönnin (6), hylsynlaitatin(7) ja kitasuoja (8). /4/

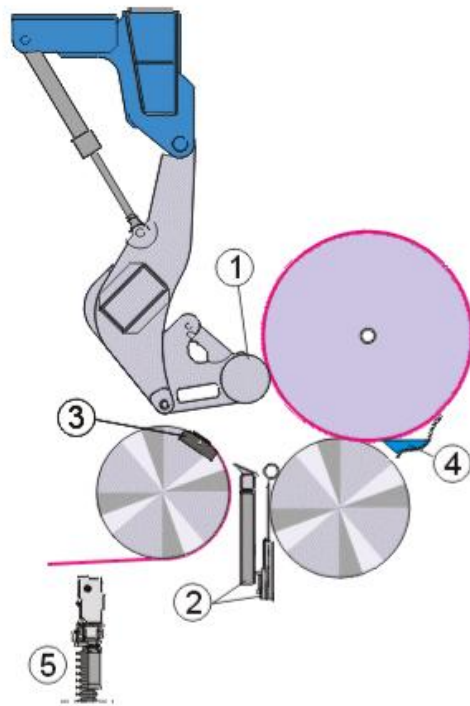
Asiakasrullat rullataan pyörivien rullaustelojen päälle hylsyjen ympärille. Hylsyinä voidaan käyttää sekä metallista että kartongista valmistettuja hylsyjä. Rainaa vedetään konerullalta asiakasrulliin takatelalla, jolla saadaan haluttu rullausvoima.

Rullausnopeus on yksi ennalta asetetuista ajoparametreista, joita pituusleikkurin ohjausjärjestelmä käyttää pituusleikkurin ajon hallintaan. Rullausnopeus määräytyy siis ohjausjärjestelmän lähettämän nopeusohjeen mukaan. Asiakasrullien tiukkuuteen vaikuttavat rullaustelojen ja rullien välisen nippikuorman suuruus, rullausvoima, rainan kireys sekä hylsyn ja rainan materiaaliominaisuudet. Eniten tiukkuuteen vaikuttaa

nippikuorman suuruus, joka kasvaa rullan halkaisijan kasvaessa. Painotela antaa lisäkuormitusta asiakasrulliin ylhäältäpäin halutulla voimalla, millä voidaan myös vaikuttaa rullan rakenteeseen. Painotelaa liikutetaan hydraulikkasyylintereillä, joiden painetta säätämällä saadaan haluttu kuorma asiakasrullia vasten, mikä auttaa samalla pitämään rullia paikoillaan. Hylsylukot pitävät rullauksen aikana asiakasrullat paikoillaan poikittaissuunnassa. Rullantyönnin työntää valmiit asiakasrullat rullienpoistolaitteeseen, josta rullat vierivät lattialle ja edelleen rullankäsittelylaitteille pois pituusleikkurista. /1/, /6/

2.6 Muutonvaihto

Muutonvaihtolaitteilla valmiit asiakasrullat poistetaan rullausteloilta ja pituusleikkuri asetetaan valmiiksi uusien asiakasrullien rullaamista varten. Muutonvaihto käynnistetään valvomon ohjaustietokoneelta. Kun pituusleikkuri hidastaa muutonvaihtoon kitasuoja, hylsynlaitin ja rullienpoistolaite ohjataan yläasentoon. Näiden jälkeen painotela ohjataan yläasentoon. Kun pituusleikkuri on lähes pysähtynyt, hylsylukot aukeavat ja nousevat yläasentoon. Takatelan imu käynnistyy, kun katkaisuterä ohjataan yläasentoon ja se katkaisee rainan. Rullat työnnetään rullantyöntimellä etutelan päälle siten, että rullantyöntimessä oleva katkaisutuki mahtuu kulkemaan rullien alta. Katkaisutuki painaa rainan katkaisuterää vasten, jolloin raina katkeaa. Katkaisun jälkeen rullat työnnetään rullantyöntimellä rullienpoistolaitteeseen. Samanaikaisesti hylsynlaitin laskeutuu alas ja laskee uudet hylsyt rullaustelojen väliin. Kuvassa 5 näkyy muutonvaihdon laitteet, joihin kuuluvat rullantyönnin (1), hylsynlaittolaite (2), rainankatkaisulaite (3), rullien poistolaite (4) ja loppuliimauslaite (5).



Kuva 5. Muutonvaihdon laitteet rullantyyntiin (1), hylsynlaittolaite (2), rainankatkaisulaite (3), rullien poistolaite (4) ja loppuliimauslaite (5). /7/

3 PAINEILMA

Paineilma on ylipaineista ilmaa, jota käytetään mm. työkalujen ja koneiden käyttövoimana. Paineilman paine on yleensä alle 10 baaria, ja se voi vaihdella järjestelmästä toiseen. Paineistetun kaasun käyttötekniikkaa tehonsiirtoon kutsutaan pneumatiikaksi. Pneumatiikkaa käytetään melkein kaikilla teollisuuden aloilla, esimerkiksi metalli-, auto-, kaivos-, sähkö-, puunjalostus- ja lääketeollisuudessa sekä avaruustekniikassa.

Jo noin 2000 vuotta sitten rakennettiin paineilmalla toimivia katapultteja. Suomessakin käytettiin pneumaattisia laitteita jo 1920-luvulla. Esimerkiksi raitiovaunujen ovet avautuivat ja sulkeutuivat silloin paineilmalla kuten nykyäänkin. Pneumatiikka sellaisena kuin sitä nykyisin teollisuudessa käytetään on hyvin nuori tekniikan ala. Suomessa pneumaattiset komponentit tulivat yleiseen käyttöön 1950-luvulla. Mekanisoinnin ja automatisoinnin yleistyessä pneumatiikan käyttö on lyhyessä ajassa lisääntynyt huomattavasti. Moni ihmiselle raskas, vaarallinen sekä vaarallisessa tai epämiellyttävässä ympäristössä tapahtuva ja jatkuvasti toistuva työ voidaan ja kannattaa suorittaa pneumatiikan avulla. /8/

Paineilman käyttö voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- 1 . sylinteripneumatiikkaan
2. pyörivien liikkeiden aikaansaamiseen
3. paineilmaan, joka itse suorittaa varsinaisen työn.

Sylinteripneumatiikkaa käytetään yleensä suoraviivaisten liikkeiden aikaansaamiseen. Se on hyvin laaja pneumatiikan osa. Sitä voidaan soveltaa monilla teollisuuden aloilla mitä erilaisimpiin tehtäviin. Sille on ominaista se, että sen käyttösovellutukset ovat melko yksilöllisiä. Tästä syystä tähän ryhmään kuuluvia koneita ja laitteita ei yleensä ole saatavana valmiina, vaan niitä rakennetaan kutakin tapausta varten vakiokomponentteja hyväksi käyttäen.

Toiseen ryhmään kuuluvat erilaiset paineilmamoottorit. Niillä saadaan aikaan pyörivä liike. Tähän ryhmään kuuluville koneille on ominaista se, että useat niistä voidaan

ostaa täysin valmiiksi rakennettuina. Tällöin niihin kuuluvat moottori, venttiilit sekä muut tarvittavat laitteet.

Kolmanteen ryhmään kuuluvat esim. ruiskumaalaus, hiekka-, puhdistus- ja jäähdytyspuhallukset ja paineilman käyttö vaimentimena, esim. auton ja polkupyörän renkaissa. /8/

3.1 Paineilmajärjestelmä

Paineilmajärjestelmä koostuu kompressorista, paineilmasäiliöstä, paineilmaverkostosta, paineilman jälkikäsitteilylaitteista, toimintaa ohjaavista venttiileistä sekä toimilaitteista. Kompressorin on laite, jolla voidaan nostaa kaasun painetta vähintään kaksinkertaiseksi imupaineeseen verrattuna. Kompressorin siis ”tekee” paineilmaa ja syöttää sitä järjestelmässä eteenpäin. Paineilmasäiliö tasoittaa kompressorin aikaansaamat ilmasykäykset ja toimii paineilmaavarastona. Paineilmajärjestelmässä voi olla yksi tai useampi paineilmasäiliö. Paineilmaverkostoa pitkin paineilma siirretään käyttökohteisiin, sylintereille, venttiileille ja muille toimilaitteille. Paineilmaverkosto toimii myös samalla tavalla kuin paineilmasäiliö, tasoittaen kompressorin lähettämiä ilmasykäyksiä. Paineilman jälkikäsitteilylaitteisto huolehtii paineilman puhtaudesta. Kompressorin jälkeen ilma sisältää erilaisia epäpuhtauksia, mm. vesihöyryä, öljyä ja hiukkasia. Epäpuhtaudet tukkivat venttiileitä, aiheuttavat vuotoja ja kuluttavat laitteistoa, joten on tärkeää, että paineilma puhdistetaan näistä epäpuhtauksista. Jälkikäsitteilylaitteita ovat erilaiset kuivaimet, mm. jäähdytys- ja adsorptiokuivaimet, sekä suodattimet. Toimilaitteita ovat erilaiset venttiilit, sylinterit, moottorit ja muut prosessissa paineilmalla toimivat laitteet. Pituusleikkurilla toimilaitteina ovat sylinterit, venttiilit, puhaltimet ja ejektorit, joten tässä työssä tarkastellaan vain niiden toimintaa ja rakennetta.

3.1.1 Sylinterit

Sylinterien tehtävänä on muuttaa pneumaattinen energia suoraviivaiseksi mekaaniseksi liikkeeksi. Toiminnan ja rakenteen perusteella sylinterit voidaan ryhmitellä neljään ryhmään:

1. yksitoimisiin sylintereihin
2. kaksitoimisiin sylintereihin
3. paineilmarasioihin
4. erikoissylintereihin.

Yksitoimisen sylinterin mäntää liikutetaan paineen avulla vain yhteen suuntaan, ja palautus tapahtuu yleensä painovoiman avulla tai jousipalautuksella. Yksitoiminen sylinteri voi olla työntävä tai vetävä. Kaksitoimisen sylinterin mäntää liikutetaan paineen avulla molempiin suuntiin. Kun paine kytketään vuorotellen männän molemmin puolin ja päinvastaiselta puolelta paine poistetaan, mäntä saadaan liikkumaan edestakaisin. Painerasiat ovat toiminnaltaan samankaltaisia kuin yksi- ja kaksitoimiset sylinterit. Paineen kytkeytyessä kahden runkokappaleen välissä oleva kalvo kääntyy ja männänvarsi työntyy ulos. Paineen purkautuessa rasiasta jousi palauttaa männän. Erikoissylinterit ovat sylintereitä, joissa on ominaisuuksia, mitä vakiosylintereillä ei ole. Näitä ovat mm. männänvarrettomat sylinterit, asennoitinsylinterit ja kuumen paikan sylinterit. /9/

3.1.2 Venttiilit

Pneumatiikassa yleisnimeä venttiili käytetään laitteesta, joka ohjaa tai säättää järjestelmän ilmavirtoja. Venttiilejä käytetään toimilaitteiden ja toisten venttiilien ohjaamiseen. Rakenteeltaan venttiilit voivat olla luisti- tai istukkatyyppisiä.

Tehtäviensä perusteella venttiilit voidaan jakaa kuuteen ryhmään:

- suuntaventtiileihin
- vastaventtiileihin
- paineventtiileihin
- virtaventtiileihin
- sulkuventtiileihin
- erikoisventtiileihin mm. proportionaaliventtiileihin.

Windrum-C-pituusleikkurilla käytetään enimmäkseen suunta-, vasta-, paine- ja proportionaaliventtiileitä suorittaessa päänvientiä, rullausta ja muutonvaihtoa, joten seuraavassa tarkastellaan vain niiden toimintaa.

Suuntaventtiilit

Suuntaventtiilit ohjaavat nimensä mukaisesti ilmavirran suuntaa. Niiden tehtävänä on yhden tai useamman virtaustien avaaminen ja sulkeminen. Näin ollen niiden avulla voidaan säädellä sylintereiden ja muiden pneumaattisten toimilaitteiden toimintaa.

Vastaventtiilit

Vastaventtiilien tehtävä on sallia vapaa virtaus vain yhteen suuntaan. Rakenteeltaan vastaventtiilit ovat yleensä istukkatyyppisiä. Sulkuelimenä voi olla kartio, kuula tai taso.

Vastaventtiilien ryhmään kuuluvat

- vastaventtiilit
- vastusvastaventtiilit
- vaihtovastusventtiilit
- pikapoistiventtiilit.

WinDrum-C-leikkurilla käytetään enimmäkseen vastusvastaventtiileitä ja pikapoistiventtiileitä, joten seuraavassa käsitellään vain niiden toimintaa.

Vastusvastaventtiili sallii vapaan virtauksen vain toiseen suuntaan; toiseen suuntaan virtausta voidaan vastustaa. Yleensä vastustusta voidaan säätää ja näin ollen liikkeen nopeutta voidaan hallita.

Pikapoistiventtiilin kautta paine saadaan poistetuksi nopeasti sylinteristä. Tällöin paine ei estä männän nopeaa palautumista. Pikapoistiventtiileitä käytetään varmistamaan nopea lukitus erilaisissa turvalaitteissa.

Paineventtiilit

Paineventtiileillä voidaan säätää painetta. Paineilmaventtiilien yleisin rakennepainne on noin 1 Mpa. Yleisimmät paineventtiilit ovat:

- paineenrajoitusventtiilit
- painenalennusventtiilit
- paineenohjausventtiilit.

Proportionaaliventtiilit

Proportionaaliventtiilit ovat magneettiventtiileistä kehitettyjä, suhteellisesti säätäviä venttiileitä. Magneettiventtiileistä poiketen ne eivät toimi kaksiasentoisesti kiinni-auki, vaan säätävät virtaamaa suhteellisesti ja tarkasti. Näiden venttiileiden etuna on se, että niiden toiminta on sangen yksinkertainen. Anturilta tulevan viestin muutos muuttaa kelalle syötettävää virtaa, jolloin venttiilin läpi tapahtuva virtauskin muuttuu.

Proportionaaliventtiileitä käyttäviä järjestelmiä kutsutaan proportionaalitekniikaksi. Näissä järjestelmissä lähtösignaali riippuu tulosignaalista. Järjestelmässä ei ole takaisinkytkentää, mutta tarkkuuden parantamiseksi proportionaaliventtiileissä voi olla sisäinen takaisinkytkentä, joka korjaa ohjausta jatkuvasti asetustarkkuuden parantamiseksi. Proportionaaliventtiilin vaatimuksena on, että luisti voidaan ohjata mihin tahansa asemaan nopeasti, tarkasti ja ilman värähtelyitä. Venttiilin on myös oltava stabiili ja hyvin käyttäytyvä kaikilla avauksilla. Avausta on voitava säätää portaattomasti ja solenoidin voiman pitäisi olla riippumaton luistin asemasta. Tärkeää on myös, että solenoidin voima voittaa virtausvoimat kaikissa tilanteissa. /17/

Proportionaaliventtiilit voivat olla paine-, virtaus- tai suuntaventtiilejä. Paineen ja virtauksen säätö on toteutettu hyvin nopealla suuntaventtiilin liikkeellä, jolloin on mahdollisuus säätää toimilaitteelle menevää sekä sieltä poistuvaa virtausta. /16/

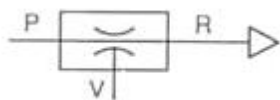
3.1.3 Puhaltimet

Puhaltimia käytetään puhalluksissa sekä usein myös alipaineen muodostamisessa. Alipaine tarkoittaa pienempää painetta verrattuna ympäristöön. Rajaamaton alipaine pyrkii normalisoitumaan siten, että ympäristössä virtaa ilmaa alipainealueelle, kunnes erot tasoittuvat. Esimerkiksi kiertomäntäpuhaltimessa paine-eron saavat aikaan

sylinteri ja kaksi samansuuntaista kiertomäntää. Männät pyörivät vastakkaisiin suuntiin. Kiertomännät eivät kosketa toisiinsa tai sylinteriin, vaan niiden väliin jää hyvin pieni ilmarako. Kiertomäntien ja sylinterin välinen tilavuus muuttuu mäntien pyöriessä ja kaasu siirtyy siten eteenpäin 4 tai 6 sykäystä akselin kierrosta kohden. Pienimmillään tilavuus on imu- ja ulospuhallusaukkojen kohdalla. Imupuolella tämä saa aikaan kaasun virtaamisen puhaltimeen ja poistopuolella pakottaa kaasun ulos. Puhaltimen siirtämä kaasumäärä riippuu kierrosnopeudesta ja jonkin verran myös paine-erosta imu- ja paineaukon välillä. Puhaltimia käytetään myös jäähdytykseen esim. Vortec –tekniikassa, jossa komponenttien lämpötilaa pidetään tasaisena puhaltamalla viileää ilmaa niiden suojakoteloon.

3.1.4 Ejektorit

Ejektoreita käytetään myös tyhjiön eli alipaineen kehittämiseen. Ejektoreita on yksivaiheisia ja monivaiheisia. Toimintaperiaate on molemmissa samankaltainen, monivaihe-ejektorissa on vain usempia painekammioita, joiden läpi ilma virtaa. Kun yksivaihe-ejektorin paineilmaliihtäntään (P) kytketään paine, ilma virtaa ejektorin läpi poistoilmaliihtäntään (R). Venturisuuttimen ja vastaanottosuuttimen välissä ilmasuihku saavuttaa yläääninopeuden ja ilmasuihku imee ilmaa mukaansa venturisuuttimen ja vastaanottosuuttimen välisestä aukosta saaden aikaan alipaineliitännän (V).



Kuva 6. Yksivaihe-ejektorin piirrosmerkki

Tyhjiön kehittäminen ejektorilla kuluttaa paineilmaa. Kytkenät on mielekästä suunnitella sellaisiksi, että ilmaa kuluu vain silloin, kun se tyhjiön kehittämistä ja ylläpitämistä varten on välttämätöntä. Koska tyhjiötilassa paine on pienempi kuin ilmakehän paine, saattaa pölyisissä paikoissa kertyä ejektoriin vähitellen pölyä aiheuttaen toimintahäiriöitä. Pölyn kertymistä voidaan estää kytkemällä imukuppien ja ejektorin väliin suodatin.

Tarvittava tyhjiötaso määräytyy ejektorin käyttötarkoituksesta. Tavallisilla ejektoreilla päästään noin 0,9 baarin alipaineeseen. Turhan suurta tyhjiötasoa tulee välttää lähinnä kahdesta syystä: se lisää energian kulutusta ja lyhentää imukupin kestoikää. Imukupin pitovoima on suoraan verrannollinen tyhjiötasoon. Tyhjiötason lisääminen kuudestakymmenestä prosentista yhdeksäänkymmeneen prosenttiin lisää kyllä pitovoiman puolitoistakertaiseksi, mutta samalla energian kulutus lisääntyy noin kymmenkertaiseksi. Toisaalta mitä suurempaan tyhjiöön pyritään, sitä suurempi ejektorin syöttöpaine tarvitaan. Ja mitä suurempi syöttöpaine on, sitä suurempi on myös ejektorin ilmankulutus. Tämä pätee vain tiettyyn rajaan asti. Kun maksimityhjiö on saavutettu, syöttöpaineen nostaminen lisää edelleen ilmankulutusta, mutta tyhjiö jopa vähän huononee. Useimmiten on järkevämpää suurentaa imukupin pinta-alaa kuin lisätä tyhjiötasoa. /11/

3.2 Paineilmajärjestelmä ja -laitteet pituusleikkurilla

Pituusleikkurin pneumatiikkajärjestelmässä ei ole erillistä kompressoria eikä paineilmasäiliöitä, vaan paineilma otetaan tehtaan omasta järjestelmästä. Paineilma jaetaan puhtauden mukaan tehdasilmaan ja instrumentti-ilmaan. Tehdasilmaa käytetään puhalluksiin, instrumentti-ilmaa toimilaitteissa. Pneumatiikkajärjestelmän paine on 4-7 bar. Turvallisuusriskin muodostaa ilman kokoonpuristuminen, joka varaa energiaa toimilaitteisiin. Toimilaitteisiin varautunut energia voi aiheuttaa laitteiden liikkeitä tai hyvin voimakkaita ilmavirtoja, vaikka järjestelmä olisikin suljettu paineensyötöstä. /7/

Pituusleikkurilla pneumatiikkaa käytetään puhalluksissa, pientä voimaa vaativissa liikkeissä ja alipaineen luonnissa. WinDrum-C:llä tarkastelun alaisia paineilmalaitteita ovat sylinterit, venttiilit, puhaltimet ja ejektorit. Näitä laitteita on jokaisessa pneumatiikkapiirissä yksi tai useampia. Pituusleikkurin pneumatiikkapiirit voidaan jakaa pituusleikkurin osien mukaisesti aukirullaus-, leikkaus- ja rullausosan pneumatiikkapiireihin. Suurin osa pneumatiikkapiireistä on kuitenkin sellaisia, joissa toimilaitteena on sylinteri, joten niistä ei saada kovin suuria säästöjä aikaiseksi. Liitteestä 1 löytyy Windrum-C:n pneumatiikkapiiriluettelo.

3.2.1 Venttiilit

Venttiileitä käytetään useassa pituusleikkurin pneumatiikkapiirissä. WinDrum-C:n pneumatiikkaventtiilit sijaitsevat pituusleikkurin runkoihin rakennetuissa kaapeissa ja niitä ohjataan sähköisesti.

Pituusleikkurilla suuntaventtiileillä ohjataan useimmiten sylintereiden toimintaa. Esimerkiksi ohjaustelan päänventilaite kuljettaa päänventikiilaa eteenpäin painamalla päänventihihnaston ohjaustelaa vasten, jolloin muodostuu vetävä nippi. Ohjaustelan päänventilaitteen toimilaitteena on pneumatiikkasynteri. Kun sylinterin varsi liikkuu ulospäin, päänventihihna painautuu ohjaustelaa vasten. Tällöin päänventikiila kulkee eteenpäin. Kun sylinterin varsi liikkuu sisäänpäin, päänventihihna nousee ohjaustelan päältä.

/4/

Vastaventtiilien ryhmästä useimmiten pituusleikkurilla käytettyjä venttiilejä ovat vastusvastaventtiilit ja pikapoistoventtiilit. Vastusvastaventtiiliä käytetään liikkeen nopeuden hallintaan, esim. päänventihihnan alasliikkeen ja ylösliikkeen nopeuden säätöön. Vastusvastaventtiilillä voidaan säätää myös puhallusten ja imujen voimaa. Pikapoistoventtiilillä varmistetaan hylsylukkojen turvalukkojen nopea lukitus. Hylsylukkojen turvalukoilla pidetään asiakasrullat paikoillaan rullauksen aikana. Hylsylukot avataan ja ohjataan yläasentoon turvalukkojen varaan ennen rullien poistoa pituusleikkurista.

Paineventtiileistä käytetyin on paineenalennusventtiili. Paineenalennusventtiilin avulla voidaan vähentää sylinterin aikaansaamaa voimaa tai moottorin momenttia. Paineenalennusventtiilillä esimerkiksi säädetään sopiva kevennyspaine hylsynlaitattimen imukuppipalkkiin ja säädetään päänventilaitteen ja takatelan välinen nippikuorma sopivaksi. /10/, /4/

3.2.2 Puhaltimet

WinDrum-C:ssä ei ole varsinaisia puhaltimia, vaan puhallukset toteutetaan puhallusputkien avulla. Putkiin tuodaan paineilmaa ja ilman purkautuessa putkesta

syntyy puhallus. Puhallusputkiin on usein hitsattu pienemmät putket ohjaamaan paineilman ulostuloa, jossain tapauksissa ilma purkaantuu putkeen porattujen reikien kautta. Puhalluksilla ohjataan rainan kulkua mm. päänviennin aikana puhaltamalla ohjaava ilmavirta oikeaan paikkaan. WinDrum-C:ssä on reunanauhapeltien ja –torvien puhallukset ja muutonvaihto- sekä päänvientipuhallukset. Puhalluksia on karsittu paljon, edellisissä malleissa niitä oli huomattavasti enemmän. Puhalluspiirien esimerkkikuvat ovat liitteessä 2.

Osassa muutonvaihto- ja päänvientipuhalluksista käytetään myös suuttimia. Suuttimet ovat puhallusputken ulostulojen päässä ja ohjaavat puhalletun paineilmavirran tarkasti tiettyyn kohtaan muodostaen kannattelevia tai työntäviä ilmavirtoja. Pituusleikkurissa käytetyt suuttimet ovat metallista sorvattuja kartioita, joihin on porattu reikä päähän. Kartion aukkomitat vaihtelevat halkaisijaltaan kahdesta kolmeen milliin. Markkinoilla on erilaisia suuttimia eri käyttötarkoituksiin, mm. ilmaveitsiä, laakasuuttimia ja rakosuuttimia. Oikeanlaisia suuttimia käyttämällä pystytään vähentämään huomattavasti ilmankulutusta ja puhallusmelua.

3.2.3 Ejektorit

Pituusleikkurilla ejektoreiden luomaa imua käytetään ohjaamiseen ja kiinnityksiin eri teloilla. Rainan kiinnitys esim. ohjaustelaan onnistuu siten, että telan vaippa on rei'itetty ja telan sisällä on yksivaihe-ejektorilla luotu alipaine, joka imee rainan kiinni telan pintaan. Tela pitää rainaa paikoillaan ja siirtää sen tampoauraudalta pituusleikkurille. Ohjaustelan ejektoripiiri liitteessä 3. Toinen alipainekohde pituusleikkurilla on hylsynlaitatin, joka toimii myös muutonvaihdon yhteydessä. Hylsynlaitatin on imukuppipalkki, jonka avulla tyhjät hylsyt siirretään rullaustelojen väliin rullauksen aloittamista varten. Alipaine imukuppeihin luodaan neljällä yksivaihe-ejektorilla. Ejektoreita ohjaavat suuntaventtiilit. Hylsynlaitattimen ejektoripiiri löytyy liitteestä 4.

3.3 Paineilman kulutus ja optimointi

Ilma on ilmaista, paineistaminen kallista.

Paineilma on kallis energiamuoto. Yhden kuution tuottamiseen vaaditaan vähintään 0,1kW sähköteho. Kun pelkästään pituusleikkurilla kuluu paineilmaa jo 2300 m³/tunti ja sähkön hinta tulevaisuudessa nousee, voi ymmärtää, miksi paineilman kulutuksen ja käytön optimointi on tärkeää. Tällä hetkellä ilman tuotantokustannukset ovat n. 1,3 c/m³, josta saadaan energiakustannukseksi noin 30 €/tunnissa eli hieman yli 250 000 euroa vuodessa. Jos tästä pystytään säästämään 30 - 40 %, on se merkittävä säästö loppuasiakkaalle ja todellinen kilpailuetu konetoimittajalle.

Muutokset paineilman kulutuksessa vaikuttavat suoraan ja voimakkaasti sähkön kulutukseen. Jos painetta kasvatetaan vaikka vain 0,1 baaria niin sähkön kulutus kasvaa prosentilla. Sama toimii myös toiseen suuntaan, joten pienilläkin kulutuksen vähennyksillä saavutetaan isot säästöt.

Väärinkäytöt paineilmajärjestelmässä

Väärinkäyttöiksi voidaan sanoa käyttökohteita, joissa paineilmaa käytetään turhaan, väärin/energiatehottomalla tavalla tai rajoittamattomia määriä. Suuria säästöjä saadaan aikaan jo pelkästään väärinkäyttöihin puuttumalla. Väärinkäyttöjä ovat mm. paineilman käyttö tuulettamiseen, jäähdyttämiseen tai matalapainepuhalluksiin, suuren alipaineen tuottaminen yksivaihe-ejektorilla sekä täyden paineen käyttäminen puhalluksissa ilman, että virtausta on säädetty minkäänlaisella paineensäätimellä tai kuristimella. Myös tuotannosta poissa olevien koneiden paineistus on turhaa ja energiaa hukkaavaa, kuten myös putkipuhallukset, joissa ei käytetä suutinta. Paineilmajärjestelmän säännöllisestä huollosta pitäisi myös huolehtia, sillä kunnossapidon laiminlyönti kasvattaa vuotojen määrää, jotka ovat yksi suurimpia energiaa tuhlaavia tekijöitä paineilman tuottamisessa.

Suuria energian käyttäjiä ovat myös paineilmatoimiset Vortec-ilmioita käyttävät jäähdyttimet. Jäähdyt-in on halpa hinnaltaan (n.100 €), ja sitä käytetään jäähdyttämään esim. suojakoteloita, joiden sisällä on komponentteja, jotka eivät kestä kuumuutta. Kun

tutkitaan jäähdyttimen ilmankulutusta, huomataan, että se käyttää $30 \text{ m}^3/\text{h}$ paineilmaa, eli sen kuluttaman paineilman tuottamiseen menee n. 3400 €/vuosi ($1,3\text{c}/\text{m}^3$). Näitä jäähdyttimiä saattaa olla prosessissa useita kymmeniä kappaleita. Huomattavasti halvemmalla päästäisiin, jos jäähdytettävät komponentit vaihdettaisiin toisiin, korkeampaa lämpötilaa kestäviin komponentteihin. Takaisinmaksuaika olisi alle vuosi. Tosin joissain tilanteissa Vortec-tekniikka voi olla ainoa mahdollisuus, mutta sen käyttö kannattaisi minimoida.

3.3.1 Yleiset optimointitavat

Paineilmajärjestelmä on kokonaisuus, jossa kaikkien paineilmajärjestelmässä olevien laitteiden toiminta vaikuttaa toisiinsa. Siksi on tärkeää, että laitteet kompressorista alkaen toimivat hyvin. Vaihtamalla vanhat laitteet nykyaikaisiin voidaan säästää huomattavasti sähkökuluissa. Erilaisilla kompressorisovelluksilla, esim. sisäänrakennetulla taajuusmuuttajalla, voidaan ottaa huomioon tuotannossa tarvittavan ilmamäärän vaihtelut: painetta voidaan laskea ja joutokäynti poistaa. Kompressorin ominaisenergiankulutus ja järjestelmän vaatima tehokkuus on myös tärkeää tarkistaa. Ylimoitettut kompressorit, jotka toimivat vajaalla käytöllä, tuhlaavat huomattavasti energiaa. Paineilman jälkikäsitteilylaitteiston toimintaa pitää myös tarkkailla ja paineilman suodatuksen, ja kuivauksen pitäisi olla tarpeiden mukaista. Liian pitkä kuivaus tai liian tarkka suodatus lisäävät energian kulutusta. Tämänlaiset optimointikeinot eivät kuitenkaan toimi pituusleikkurilla, sillä pituusleikkurilla ei ole omaa paineilmajärjestelmää, vaan mahdolliset optimointikohteet pitää löytää toimilaitteista ja muista paineilmaa käyttävistä laitteista.

Paineilmajärjestelmän toimilaitteiden ilmankulutuksen optimointi on hankalaa. Jos toimilaitte on mitoitettu oikein, sen kulutukseen ei voi juurikaan vaikuttaa. Siksi hukkailman minimoinnin ensimmäinen kysymys on, ovatko laitteet ja putket oikein mitoitettuja verrattuna prosessin vaatimaan painetasoon. Ylimoitettut tai alimitoitettut laitteet aiheuttavat huomattavaa energiahäviötä, kuluttavat komponentteja ja luovat mahdollisia turvallisuusriskejä. Myös komponenttien tehokkuuteen ja toimintaan on syytä kiinnittää huomiota. Alipaineen tuottamisessa yksivaihe-ejektori on ehkä halvin vaihtoehto, mutta saataisiinkohan monivaihe-ejektorilla paineilma kuitenkin energiatehokkaammin käyttöön?

Myös laitteiden sijoittelun huolellinen suunnittelu vaikuttaa ilmankulutukseen. Venttiilit ja muut toimilaitteet voidaan sijoittaa prosessiin useilla eri tavoilla. Näistä tavoista pitäisi valita se kaikista energiatehokkain eli lyhyet välimatkat toimilaitteiden välillä ja karsia tarpeettomat kulmat sekä liitokset putkistosta. Paineilman joutuessa kulkemaan pitkiä matkoja putkistossa syntyy paljon hukkailmaa, joka vain katoaa putkistoon.

Putkiston koon optimointi on järkevää, sillä yli- tai alimitoitettut putket aiheuttavat nekin paineilmahäviötä. Jossain tapauksissa voi olla mahdollista, että venttiili on oikein mitoitettu, mutta putki on ylisuuri. Vaikka siis yksi toimilaitte olisikin mitoitettu oikein, se ei välttämättä vaikuta muihin järjestelmän osiin. Yleisohjeena voidaan pitää, että oikein mitoitettu järjestelmässä paine-ero syöttöliitännästä toimintaan, esim. puhallukseen tai sylinterin liikkeeseen, on 5-10%. Tähän päästään, kun putkistot, venttiilit ja suodattimet ovat oikein mitoitettuja sekä putkisto on suunniteltu energiatehokkaasti, jolloin käännökset ja liittimet, jotka nekin osaltaan aiheuttavat häviötä, on karsittu. Kannattaa myös tarkistaa systeemin vaatima painetaso. Miksi syötetään 7 baarin painetta, jos toimilaitte on mitoitettu 5 baariin ja siinäkin on kuristukset edessä, jolloin todellinen ilmantarve saattaa olla 2,5 baaria?

Monet laitetoimittajat ovat kehittäneet ohjelmia, jolla voi laskea toimilaitteiden ja putkistojen ilmankulutuksia. Ohjelman avulla pystyy helposti havainnoimaan muutosten vaikutukset ilmankulutukseen. Käytin tässä tarkastelussa Feston omaa ilmankulutusten laskuohjelmaa.

Asetin ohjelmaan alkuarvoiksi halkaisijaltaan 20 mm putken, joka on 10 metriä pitkä ja paine on 7 bar. Ilmankulutukseksi näillä arvoilla tuli $1900 \text{ m}^3/\text{pvä}$. Sen jälkeen pienensin putkiston pituutta puoleen eli 5 metriin ja pidin muut olosuhteet samoina. Ilmankulutus oli $950 \text{ m}^3/\text{pvä}$, eli ilman kulutuskin putosi puoleen. Jos lisäksi pienennettäisiin putken halkaisijan kokoa vaikka 15 mm:iin ja putkisto olisi 5 metriä pitkä, ilmankulutus olisi vain $534,4 \text{ m}^3/\text{pvä}$. Ilmankulutus siis pienenesi 71,8 % lyhentämällä putkistoa puoleen ja pienentämällä 5 mm putken halkaisijaa.

Taulukko 1. Eri tekijöiden vaikutus ilmankulutukseen.

Halkaisija mm	Pituus mm	Paine bar	Tunnit h/pvä	Ilman kulutus, m ³ /pvä	Pienennys %
20	10000	7	24	1900	0
20	5000	7	24	950	50
20	10000	4	24	1085,7	42,9
20	5000	4	24	542,9	71,4
15	10000	7	24	1068,8	43,7
15	5000	7	24	534,4	71,8
15	10000	4	24	610,7	67,9
15	5000	4	24	305,4	83,9

Taulukosta nähdään, että eniten alkuperäistä kulutusta pienentää tietenkin kaikkien tekijöiden pienennys, seuraavaksi eniten halkaisijan pienentäminen ja putken lyhentäminen yhdessä. Yksittäisenä tekijänä putken lyhentäminen tuottaa suurimmat säästöt.

3.3.2 Vuodot

Monet laitevalmistajat tarjoavat paineilman kulutuksen optimointivälineiksi vuotokartoitusta ja vuotojen havaitsemista helpottavia laitteita. Vuodot ovat suurin yksittäinen energian tuhlaaja paineilmajärjestelmässä, sillä kompressorikapasiteetista kuluu keskimäärin 5 - 30 % pelkkien vuotojen täyttämiseen. Vuodon määrä riippuu sekä paineesta että reiän koosta. Tehdashalleista ja tuotantotiloista on usein löydettävissä kymmenittäin vuotoja, joiden yhteenlaskettu vuosikustannus on useita tuhansia euroja. Näennäisesti pienet vuodot saattavat siis aiheuttaa suuretkin kustannukset energiahävikin takia. /13/

Taulukko 2. Vuotojen aiheuttamat vuotuiset energiakustannukset /18/

Reikä- Ø [mm]	Ilmahävikki / 6 bar [l/s]	Energiahävikki / 6 bar [kWh]	Energiahävikki / 12 bar [kWh]	Kustannukset / 6 bar [EUR]	Kustannukset / 12 bar [EUR]
1	1,2	0,3	1,0	144	480
3	11,1	3,1	12,7	1.488	6.096
5	30,9	8,3	33,7	3.984	16.176
10	123,8	33,0	132,0	15.840	63.360

Pneumaattisen toimilaitteen vikatoiminnon taustalla on usein juuri vuoto. Vuodon kasvaessa sylinterissä tai muussa toimilaitteessa teho ei enää riitäkään, vaan liikerata jää vaillinaiseksi ja seurauksena on toiminnan keskeytys. Tämä saatetaan tulkita tarpeeksi hankkia isompi kompressori tuottamaan enemmän paineilmaa ja tehoa, kun vuotokartoituksella saataisiin mahdollisesti vanha kompressori riittämään ja paineilman kulutus alenemaan. Lisäksi vuodot likaavat usein ympäristöään puhaltamalla hienojakoista roskaa ympäriinsä siten, että ympärillä olevien laitteiden toiminta häiriintyy.

Vuotojen löytäminen on kuitenkin hankalaa, koska sihisevä vuotoääni ei välttämättä kuulu tehdasmelun yli. Sen takia vuotojen löytämiseen on kehitetty erilaisia ultraäänisovelluksia. Vuotojen löytäminen ja korjaaminen maksaa itsensä takaisin muutamassa kuukaudessa. Paineilmavuodot eivät ole ohimenevä ilmiö, vaan ne pahenevat jatkuvasti, mikäli vuotoja ei tukita. Vuotojen korjaaminen sattumanvaraisesti ei riitä, sillä uusia vuotoja syntyy jatkuvasti. Järjestelmän painetason tarkastus on myös kannattavaa, sillä alhaisempi painetaso vähentää vuotoja. Useissa kunnossapitotutkimuksissa on havaittu, että vuodot lisääntyvät tasaisesti tuotantoprosessien pyöriessä, vaikka suurimpia reikiä pyritäänkin paikkaamaan kunnossapitoseisokkien aikana. Tämän vuoksi vuotojen kartoitus ja korjaaminen kannattaakin ottaa osaksi kunnossapitoprosessia. Vuotokartoitus ei kuitenkaan sovellu pituusleikkurin optimointikeinoksi, sillä Metso laitetoimittajana ei voi velvoittaa asiakasta leikkurin vuototarkastuksien järjestämiseen. /13/

Yksittäisten optimointikohteiden lisäksi koko paineilmajärjestelmän kattavat energia-analyysit ovat myös kasvattaneet suosiotaan. Näissä analyyseissä tehdään tarkat mittaukset järjestelmän eri osien kulutuksista ja selvitetään järjestelmän todellinen paineilmantarve. Laajin Suomessa käytettävä paineilma-analyysi on nimeltään PATE-analyysi.

3.3.3 PATE-analyysi

PATE-analyysi on Motiva Oy:n käynnistämä paineilmajärjestelmien energiansäästöanalyysi. Tavoitteena PATE-paineilmaa tehokkaasti -projektilla oli aluksi saavuttaa mittavaa energiansäästöä hankkeeseen osallistuvien teollisuusyritysten

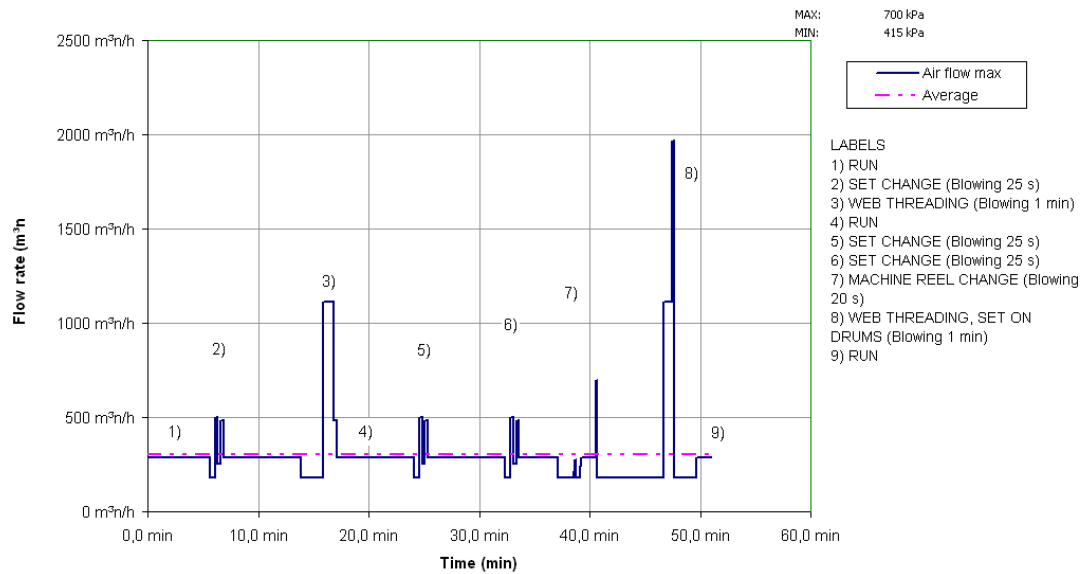
paineilmajärjestelmissä ja laajempaan tavoitteena oppia, kerätä ja jalostaa tietoa koko teollisuuden hyödyksi. Energiaselvitysten lähtökohtana oli paineilman käyttö ja käyttötarve. Aiemmat paineilmaselvitykset, joita ovat tarjonneet lähinnä paineilman laitetoimittajat, ovat keskittyneet yleensä paineilman tuotantopuoleen. PATE-analyysin tavoite on siis paineilman energiatehokkuuden ja -talouden parantaminen sekä kunnossapidon ja käytettävyyden edistäminen. Tavoitteena on tehostaa paineilman käyttöä, tuottaa tarvittava paineilma tehokkaasti pienemmällä energiamäärällä ja tehostaa syntyvän jätelämmön hyödyntämistä.

PATE-analyysin avulla on mahdollista löytää mittauksiin perustuen säästöjä, jotka kaikki eivät välttämättä tulisi ilmi riittävällä tarkkuudella kokonaisvaltaisessa energiakatselmuksessa. PATE-analyysissä käydään läpi paineilmajärjestelmän energiatehokkuuden nykytila, kuitenkin kohdistuen pääosa käytettävissä olevista resursseista arvioitujen tehostamismahdollisuuksien löytämiseen. Paineilma-analyysin kenttätyössä luontevin toimintajärjestys voisi olla verkostovuodot, paineilmankäyttö ja viimeisenä paineilman tuotantoon liittyvät asiat. Tarkastelutapa on kuitenkin kokonaisvaltainen, joten analyysin painopistealueita on suunnattava analyysikohteen mukaan. Löydettyjen tehostamistoimien ja säästöpotentiaalien perusteella paineilmajärjestelmälle laaditaan toimenpidesuunnitelma. PATE-analyysi ei siis sovellu suoraan pituusleikkurin käyttöön, sillä pituusleikkurilla ei ole omaa paineilmajärjestelmää. PATE-analyysin päävaiheet löytyvät liitteestä 2.

3.4 Paineilman kulutus ja optimointi pituusleikkurilla

Pituusleikkurin ajonaikaisissa paineilmankulutusmittauksissa on huomattu päänniennin ja muutonvaihdon olevan suurimmat paineilman kuluttajat. Tämä johtuneen voimakkaista päännienni- ja muutonvaihtopuhalluksista, jotka ovat aktiivisia toimintojen aikana. Useimmissa puhallusputkissa ei myöskään käytetä suuttimia, joka osaltaan lisää paineilman kulutusta.

Kuvasta 7 näkee, kuinka paineilman kulutukseen tulee selkeät piikit aina suoritettaessa päännienniä ja muutonvaihtoa. Paineilmaa kuluttavia kohteita päänniennissä ovat puhallukset sekä ohjaustelan ja takatelan alipaine. Muutonvaihdossa eniten paineilmaa kuluu muutonvaihtopuhalluksiin ja hylsynlaitattimen alipaineeseen.



Kuva 7. Paineilmankulutus ajon aikana

Koska pituusleikkurilla ei ole omaa paineilmajärjestelmää, paineilman optimoinnissa tulee keskittyä hieman eri kohteisiin kuin yleisessä tarkastelussa. Kompessoreihin, paineilman jälkikäsitteilylaitteistoon ja yleensäkin paineilman tuotantoon ei voida vaikuttaa. Tarkastelu on kohdistettava suoraan paineilman kulutukseen vaikuttaviin ja paineilmaa kuluttaviin asioihin. Paineilmaa kuluu pituusleikkurilla sylintereiden ja venttiilien ohjaamiseen, puhalluksiin, alipaineen luontiin ejektoreilla ja putkiston hukkailmana. Metso Paper on asettanut tämän työn tarkastelun kohteiksi toimilaitteet, puhallukset ja alipainetekniikan. Toimilaitteiden optimointi on hankalaa, koska ainoa tapa optimoida niiden kulutus on mitoittaa ne oikein. WinDrum-C-leikkurilta ei löytynyt yhtään selkeästi liian isoa tai pientä venttiiliä tai sylinteriä. Putkiston mitoitus ja suunnittelu energiatehokkaampaan muotoon vaatii vielä lisätutkintaa ja suunnittelua, sillä toimilaitteet pitäisi mahdollisesti sijoittaa uusiin paikkoihin ja putkisto muokata suuremmaksi sekä karsia liitoksia. Siksi tutkimusten painopiste on siirretty enemmän puhalluksien ja alipaineen suuntaan sekä niiden eri sovellusten paineilman kulutuksen optimointiin.

3.4.1 Puhallukset ja alipaine

Puhallukset voidaan jakaa jatkuviin, hetkellisiin ja satunnaisiin puhalluksiin. Jatkuvat puhallukset ovat nimensä mukaisesti jatkuvasti päällä, hetkelliset hetkittäin

ajovaiheesta riippuen ja satunnaiset yllättäen esim. vikaantumistilanteissa. Tämä aiheuttaa ongelmia laitteiston mitoituksessa. Vaikka muuten prosessiin sopisivat pienemmät laitteet, satunnaisissa puhalluksissa paineet ja ilmamäärät saattavat kasvaa moninkertaisiksi. Laitteisto pitää mitoittaa kestävämmän nämä satunnaiset puhallukset, vaikka niitä ei parhaassa tapauksessa ikinä tapahtuisikaan. Suurimmat säästöt saavutetaan, jos pystytään vähentämään jatkuvien puhallusten ilmankulutusta. Pituusleikkuri WinDrum-C:llä ainoat jatkuvat puhallukset ovat reunanauhatorvien puhallukset. Ne ohjaavat rainan reunoilta leikatut huonot siivut pulpperiin samalla kun raina leikkaantuu terien välissä asiakasrulliksi. Hetkellisiä puhalluksia on paljon, mutta ne voivat kestää useita minuutteja kerrallaan tai puhaltaa useita kertoja kierron aikana, joten osa hetkellisistä puhalluksista on rinnastettavissa jatkuviin, esim. reunanauhapeltien puhallukset. Ilmankulutusta puhalluksissa voidaan vähentää ainakin oikeanlaisilla suuttimilla sekä oikein mitoitettulla puhallusvoimakkuudella.

Taulukko 3. Pituusleikkurin puhallukset ajon aikana

KOHDE	KULUTUS	HUOM.
Reunanauhapeltien puhallukset	108,0 m ³ n/h	Vain ajolla
Reunanauhatorvien puhallukset	180,0 m ³ n/h	Kokoajan
Päänvientipuhallukset leikkausosa	54,0 m ³ n/h	1 min
Päänvientipuhallukset rullausosa	342,0 m ³ n/h	1 min 1 min kun tehdään päänvienti muuton ollessa teloilla
Liitoksentelepuhallukset 2	500,0 m ³ n/h	
Liitoksentelepuhallukset 1	910,0 m ³ n/h	Päänvienneissä 1 min pääviennein aikana + 15 s rullauksen alussa 30 s painotelan tullessa alas ja ryöminnän aikana
Takatelan puhdistuspuhallus	36,0 m ³ n/h	15 s ryöminnän aikana
Muutonvaihtopuhallukset 1	71,4 m ³ n/h	15 s ryöminnän aikana
Muutonvaihtopuhallukset (Kaikki)	157,1 m ³ n/h	5 s
Rainan pikakatkaisupuhallus	178,5 m ³ n/h	8 s
Hylsyjen irrotuspuhallus	321,3 m ³ n/h	1 min ajon alussa
Hihnatelaston puhdistuspuhallus		
Kiihdytys ja rainakatkopuhallus	232,0 m ³ n/h	15 s
Saumauslaitteen tyhjennyspuhallus	35,7 m ³ n/h	10 s
Rainan irrotuspuhallus konerullalta	92,8 m ³ n/h	10 s
Katkaisuliepeen poisto- ja teipin irrotuspuh.	62,3 m ³ n/h	5 s

Puhalluksissa ja imuissa paineilmaa voidaan säästää kiinnittämällä huomiota tapahtumien oikea-aikaisuuteen. WinDrum-C:n toimintaa tarkasteltaessa huomattiin, että puhallukset ja imut laitettiin aivan liian aikaisin päälle. Imukupit saattavat aloittaa imemisen jopa minuuttia ennen kuin hylsy saapui ja puhallukset puhaltavat aivan

turhaan, vaikka raina ei ollut vielä edennyt kohdalle. Puhallusten ja imujen aloittaminen vain sekuntia ennen tarvetta säästää jo huomattavasti. Tämä vaatii siis muutoksia ohjausjärjestelmiin.

Myös puhaltimien ja ejektorien valintaan käyttökohteen mukaan kannattaa kiinnittää huomiota. Puhallin soveltuu paremmin paikkoihin, missä pitää tyhjentää iso tilavuus ilmasta ja ejektorilla luodaan alipaine pieniin tilavuuksiin ja taakkojen nostoon. Nyt pituusleikkurin ohjaustela tyhjenetään yhdellä isolla yksivaihe-ejektorilla, vaikka saattaisi olla kannattavampaa käyttää puhallinta tai alipaineimuria.

WinDrum-C:llä käytetään tällä hetkellä pelkästään yksivaihe-ejektoreita. Niiden vaihtaminen monivaihe-ejektoreiksi toisi paineilman tehokkaampaan käyttöön. Myös alipainevahtien käyttö pienentäisi ilmankulutusta. Vaadittu alipainetaso vaikuttaa siihen, mikä alipaineen tuottolaite valitaan. Ejektorilla päästään 0,2-0,9 baarin alipainetasoon ja puhaltimilla ja imureilla 0,1-0,4 baarin. Pienillä alipainetasoilla pitää siis tutkia, kumpi laitteista on energiatehokkaampi.

3.4.2 Suuttimet

Puhallusten ilmakulutukseen merkittävästi vaikuttava elin on suutin. Suuttimen valinnalla voidaan pienentää ilmankulutusta 20-50 % ja myös vähentää melua verrattuna aukinaiseen putken suuhun. /12/ Pituusleikkurin suuttimet ovat tällä hetkellä karkeasti sorvattuja kartioita, joiden halkaisija on n. 2 mm. Joissain puhalluksissa suutinta ei edes ole, vaan ilma tulee suoraan avoimesta putkesta. Tämä aiheuttaa puhallusvoiman ylimitoituksen ja huomattavaa puhallusmelua sekä muotoilemattomasta puhaltimen päästä johtuen kovaa turbulenssia, eikä tarkkaa tasaista ilmavirtaa mikä on haluttua.

Paineilmalaitteista aiheutuva puhallusmelu on nykyään hyvin yleistä teollisuudessa. Puhallusmelua on kahdenlaista: impulssimaista ja jatkuvaa. Impulssimaista melua syntyy, kun venttiili aukeaa tai mäntä liikkuu. Jatkuvatyyppistä melua syntyy puhaltaessa, jäähdyttäessä tai kuljettaessa. Useimmissa tapauksissa on mahdollista puolittaa melu käyttämällä hiljaisia puhalluspistooleja tai suuttimia. Suuttimien avulla melutasoa pystytään vähentämään 40-88 % . /12/

Suuttimet luovat tehokkaan ilmavirran pienemmällä paineella kuin avoimet putket. On olemassa myös säädettäviä suuttimia, joten niiden avulla saadaan juuri tarvittavan voimakas puhallus eikä paineilmaa kulu turhaan. Suuttimen mallillakin voidaan vaikuttaa ilmankulutukseen. Litteät laakasuuttimet tuottavat levymäisen puhalluksen, joka kattaa laajemman alueen kuin pyöreän suuttimen puhallus. Näin ollen laakasuuttimia tarvitaan vähemmän. Suuttimet vaikuttavat koko prosessin kulutuksiin, sillä oikeanlaisten suuttimien avulla voidaan mitoittaa oikeankokoinen putkisto ja toimilaitteet.

4 MITTAUKSET

Koska erilaiset puhallukset ovat suurimpia paineilman käyttäjiä pituusleikkurilla, niiden kulutuksen pieneneminen olisi tärkeää paineilmankulutuksen optimoinnin kannalta. Avonaiset putkensuut pitäisi siis korvata suuttimilla, jolloin paineilma saadaan tehokkaammin käyttöön. Suuttimia on kuitenkin monia erilaisia eri ominaisuuksilla, joten jotta löydettäisiin parhaiten Metso Paperin vaatimuksia vastaavat suuttimet, oli eri suuttimet testattava. Testeiksi suunniteltiin yksittäisiä suutintestejä, joissa mitataan ensin jokaisen suuttimen kulutus ja puhallusvoima vakioaineella ja sen jälkeen jokaisen suuttimen paine ja kulutus, jolla se pystyy tuottamaan vakiovoiman. Viimeiseksi mitataan työntövoima, jonka suutin tuottaa vakioaineella ja vakiovirtauksella.

Yksittäisten suutintestien lisäksi testattiin myös puhallusputket sekä mahdolliset puhallusputken korvaavat laitteet. Puhallusputkiteksteissä mitattiin, kuinka putken kulutus ja puhallusvoima muuttuvat, jos puhallusputkeen lisätään suuttimet.

Puhallustukki testataan nostamalla painetta puoli baaria kerrallaan neljään baariin asti ja mittaamalla kulutus ja voima.

4.1 Mittausjärjestelyt

Testaus toteutettiin 7.8.08 Metso Paper Järvenpään verstaassa. Ilmankulutuksien ja käyttösoveltuvuuden tarkempaa selvittelyä varten oli tilattu Metso Paperin päänvientipuhallusputkea vastaava 1100 mm koeputki, johon saa kiinnitettyä erilaisia suuttimia. Koepuhallusputkessa on alkuperäisen mallin mukaan suutinkierteet 50 mm:n välein, jolloin kahdeksalla suuttimella saadaan 400 mm:n peilausalue paperirainan etenemiseen vaikuttavien asioiden sekä ilmankulutusten tutkimista varten. Pituusleikkurin ainoasta jatkuvatoimisesta puhallusputkesta, reunanauhatorvenpuhallusputkesta, oli myös teetetty testikappale johon sai vaihdettua suuttimet. Testikappale on alkuperäisen putken mukaisesti 600 mm pitkä ja siihen on porattu 50 mm välein halkaisijaltaan 3 mm reikiä. Jos tämän puhalluksen ilmankulutusta saataisiin pienennettyä, se vaikuttaisi huomattavasti koko pituusleikkurin ilmankulutukseen. Lisäksi puhallusputkiteksteeseen valittiin Airtx:n

ilmaveitsi, joka on suunnilleen samanmittainen kuin nykyinen puhallusputki ja käytännössä valmis kokonaisuus suoraan koneeseen asetettavaksi. Sen paineilman minimisäästö esitteen mukaan on 40 %. Putket, ilmaveitsi sekä testattavat suuttimet tilattiin Sovellusmestarit Oy:n kautta. Metson omalta verstaalta hankittiin käytössä olevat päänvienti- ja reunanauhatorvenpuhallusputket sekä suuttimia lähtöarvojen selvitystä varten.



Kuva 8. Vasemmalta oikealle: paineensäädin, puhallusputki vaihdettaville suuttimille, ilmaveitsi, reunanauhatorven mallipuhallusputki suuttimilla, sumuvoitelulaite ja virtausmittari

Testausvälineiksi valittiin painesäädin, kaksi virtausmittaria ja Easy 2000-digitaalivaaka. Ensimmäisen virtausmittarin asteikko oli 0-10 l/s ja toisen 20-200 l/s. Näillä kahdella saatiin siis mitattua sekä pienet että isot virtaukset. Digitaalivaaka oli puhallusvoiman mittausta varten, mikä selvitettiin ohjaamalla suuttimesta tuleva ilmavirta kohti vaakaa, joka antoi puhallusvoiman 2 g:n tarkkuudella.

Puhalluspiiri oli varsin yksinkertainen. Paineilmapiisteestä ilma johdettiin painesäätimen ja virtausmittarin kautta eteenpäin putkella, jonka päässä oli suutin tai puhallusputki. Puhallus ohjattiin vaakaa kohti n. 20 cm päästä. Vaa'asta luettiin

puhallusvoima ja virtausmittarista sekä paineensäätimestä virtaus ja paine. Suunnitelmissa oli testata myös suuttimien puhallusprofiilit nesteen ja sumuvoitelulaitteen avulla. Putkeen olisi ajettu pieni määrä värillistä nestettä, ja suutin olisi ohjattu puhaltamaan kohti puhdasta paperia, jolle olisi muodostunut puhalluksen muoto. Tämän avulla olisi saatu tarkempaa tietoa puhalluksen laajuudesta ja hajoavaisuudesta tietyn etäisyyden päästä. Testi jäi kuitenkin toteuttamatta aikapulan takia.

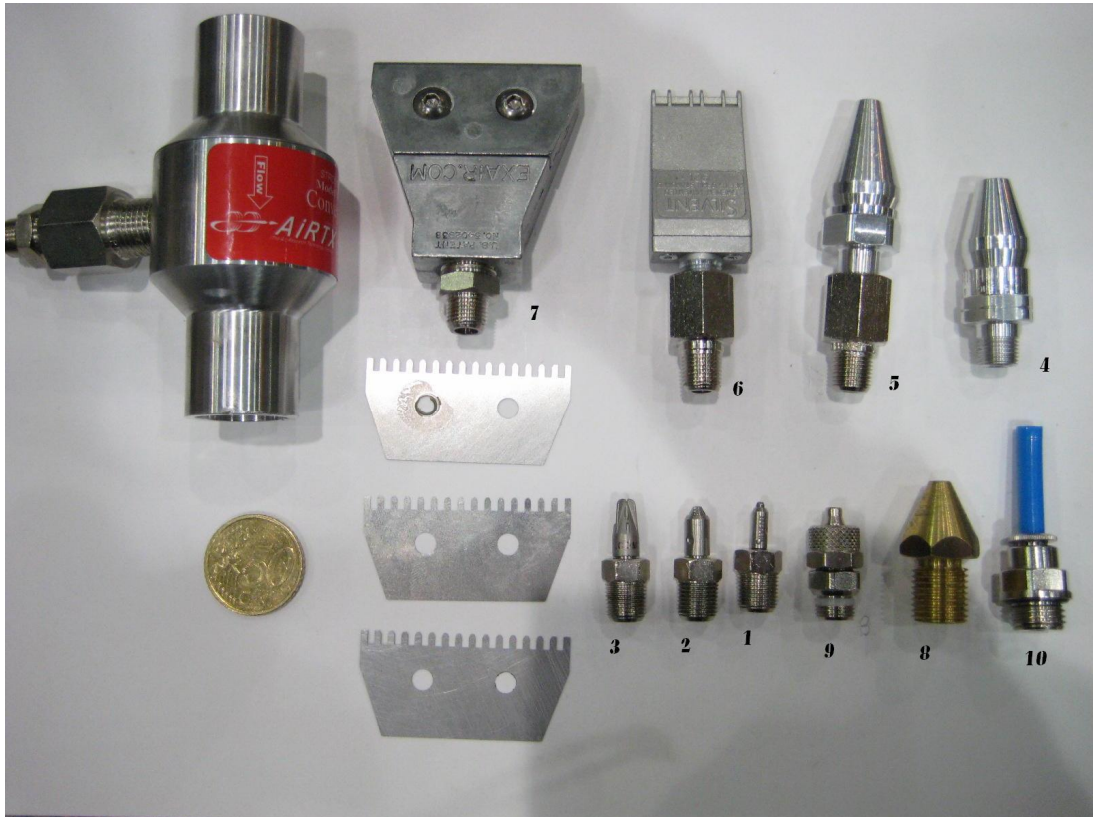


Kuva 9. Vasemmalla paineensäädin, virtausmittari ja suutin käyttövalmiina. Oikealla: puhallus suoritettiin puupalkin päältä, jotta kaikki suuttimet olisivat suunnilleen yhtä kaukana vaa'asta.

4.2 Suuttimet

Testaukseen valitut suuttimet olivat Silvent MJ4, Silvent MJ6, Exair Nano, säädettävä Exairin suutin, säädettävä Artx:n suutin, Silvent 921-laakasuutin, Exair laakasuutin ja lähtöarvoiksi sekä vertailun kohteiksi Metson omat suuttimet ja avoimet putkensuut eri halkaisijoilla. Suuttimia oli valittu siksi useampi, sillä suuttimilla oli erikoisominaisuuksia, joiden soveltuvuus pituusleikkurin käyttöön oli testattava. Litteän puhalluksen muodostava laakasuutin saattaa tukea rainan etenemistä paremmin kuin pyöreä sekä vähentää suuttimien lukumäärää laajemmalle ulottavan puhalluksen ansiosta. Laakasuuttimia testeissä oli kaksi kappaletta. Toiset mielenkiintoisella ominaisuudella varustetut suuttimet olivat säädettävät suuttimet. Säädettävissä suuttimissa voidaan puhallusvoima asettaa suutinkohtaisesti. Tämä olisi erityisen hyödyllinen ominaisuus muutonvaihtopuhalluksissa, joissa keskellä tarvitaan

huomattavasti suurempi puhallusvoima ja reunoilla voidaan puhaltaa pienemmällä teholla.



Kuva10. Suuttimet ja 50 sentin kolikko vertailukooksi.

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1) Silvent MJ4-suutin | 6) Silvent 921-laakasuutin |
| 2) Silvent MJ6-suutin | 7) Exair-laakasuutin |
| 3) Exair Nano-suutin | 8) Metson käytössä oleva suutin |
| 4) säädettävä Exairin suutin | 9) 3 mm avoin putkenpätkä (malli) |
| 5) säädettävä Airtx:n suutin | 10) 4 mm avoin putkenpätkä (malli) |

Exair laakasuuttimessa oli neljä erilaista ilmarakovaihtoehtoa (suuttimen alla olevat “kamat”): 0,2 mm, 0,3 mm, 0,5 mm ja 0,6 mm. Lisäksi vasemmalla näkyy alipaineimuri, jota suunniteltiin käytettäväksi takatelan imussa. Alipainetestejä ei kuitenkaan ehditty toteuttaa.

4.2.1 Mittaustulokset ja tulosten tarkastelu

Mittaus 1

Mittaustulokset

Ensimmäisessä yksittäisessä suutintestissä vakiopaineeksi asetettiin 5 bar ja tutkittiin millainen työntövoima ja kulutus milläkin suuttimella oli. Työntövoima todettiin suuntaamalla suuttimesta tuleva ilmavirta digitaalivaakaan, ja ilmankulutus mitattiin virtausmittarilla. Koska puhallusmelu on huomattava häirtetekijä tehtailla, arvioitiin myös melun määrää asteikolla 1-10 (1 = pieni sihinä, 10 = korvatulpat vaativa melu). Tässä testissä käytössä oli pienempi virtausmittari asteikoltaan 0-10 l/s, koska kyseessä olivat yksittäiset suutintestit, joten suutinten kulutus ei noussut kovin suureksi.

Mittausvirheitä aiheuttanee suuttimen kädessä pito, jolloin eri suuttimet eivät ole tarkalleen yhtä kaukana vaa'asta. Puhalluksen ohjaus on myös kädenvaraista, joten puhallus ei kohdistu joka kerralla täsmälleen samaan paikkaan vaakaa. Myös säädettävien suutinten asetuksissa voi olla parantamisen varaa, sillä testit suoritettiin tehdassäädöillä. Oletetusta poiketen joidenkin suutinten kohdalla virtausmittarin asteikko ylittyi, joten tarkkaa virtausta ei saatu. Tällöin virtaukseksi merkittiin 14 l/s. Tarkemmat mittaustulokset löytyvät liitteestä 6.

Taulukko 4. Mittaustulokset ensimmäisestä suutintestistä

Suutin	Voima, g	Virtaus, l/s	Melu
suutin 1	320	5	7
suutin 2	400	6	9
suutin 3	640	9,8	10
suutin 4	70	1	2
suutin 5	225	3	2
suutin 6	190	2	1
suutin 7	230	5	5
suutin 8	290	5	5
suutin 9	240	3,5	2
suutin 10	160	2	1
suutin 11	310	5	1
suutin12	470	9	4
suutin 13	580	14	6
suutin 14	750	14	10

Tulosten tarkastelu

Mitatessa huomattiin, että suuren työntövoiman tuottavilla suuttimilla oli myös suuri kulutus ja suuri melu. Jotta suutinten vertailu keskenään olisi hieman helpompaa, laskettiin voiman ja kulutuksen suhde. Suhdeluku kertoo enemmän suuttimen tehokkuudesta: mitä isompi luku eli siis pieni kulutus suhteessa voimaan, sen parempi. Parhaiten tässä testissä menestyivät suutin 5, suutin 6 ja suutin 10. Myös melutaso kaikilla kolmella suuttimella oli alhaisimmasta päästä asteikkoa.

Taulukko 5. Voiman ja kulutuksen suhde, mittaus 1

Suutin	Suhde
suutin 1	64,0
suutin 2	66,7
suutin 3	64,0
suutin 4	70,0
suutin 5	75,0
suutin 6	95,0
suutin 7	46,0
suutin 8	58,0
suutin 9	68,6
suutin 10	80,0
suutin 11	62,0
suutin12	52,2
suutin 13	41,4
suutin 14	53,6

Lisäksi tarkasteltiin uusien suuttimien suhdetta nykyään käytettyyn suuttimeen. Työntövoimaltaan nykyinen suutin on varsin kilpailukykyinen, kulutukseltaan ei. Virtauksen muutosprosentti oli liki jokaisen suuttimen kohdalla negatiivinen, eli testattu suutin kulutti vähemmän kuin alkuperäinen.

Taulukko 6. Uusien suuttimien muutos- % vanhaan verrattuna.

Suutin	Voiman muutos -%	Virtauksen muutos-%
suutin 4	-82,5	-83,3
suutin 5	-43,75	-50,0
suutin 6	-52,5	-66,7
suutin 7	-42,5	-16,7
suutin 8	-27,5	-16,7
suutin 9	-40	-41,7
suutin 10	-60	-66,7
suutin 11	-22,5	-16,7
suutin12	17,5	50,0
suutin 13	45	133,3
suutin 14	87,5	133,3

Mittaus 2

Mittaustulokset

Valittiin vakiotyöntövoimaksi 100 g. Tutkittiin millä kulutuksella ja paineella mikäkin suutin siihen pääsee. Suuttimet suunnattiin jälleen n. 20 cm:n päästä kohti vaakaa ja säädettiin painetta niin, että puhallusvoimaksi tuli 100 g. Melua ei arvioitu, koska se oli kaikissa suuttimissa pieni pienen paineen takia. Mittausvirheitä aiheuttavat samat tekijät kuin mittaus 1:ssä, ja lisäksi vaa'an tarkkuus joka oli 2 g, joten vakiotyöntövoima-arvot liikkuivat välillä 98 g-102 g. Koska tässä testissä paine muuttuu jokaisen mittauksen kohdalla, on tulokset tehty vertailukelpoisiksi Norgrenin virtausmittarin esitteen muunnostaulukon mukaan, joka on liitteessä 7. Tarkemmat mittaustulokset ovat liitteessä 6.

Taulukko 7. Mittaustulokset mittaus 2:sta

Suutin	Paine, bar	Virtaus, l/s
suutin 1	1,5	2,5
suutin 2	1,3	2,4
suutin 3	1	3,3
suutin 4	7	1,06
suutin 5	2,5	2,1
suutin 6	2,5	1,4
suutin 7	2,8	3,65
suutin 8	1,5	3,3
suutin 9	2	2,31
suutin 12	1,2	0,76

Tulosten tarkastelu

Tavoitteena oli saada 100 g:n vakiohyöntövoima aikaan mahdollisimman pienellä kulutuksella ja paineella. Tällöin suutin olisi energiatehokas. Osa suuttimista pystyi tuottamaan vakiohyöntövoiman hyvinkin pienellä paineella mm. suutin 3, mutta kulutus oli suurta. Parhaiten testissä menestyivät suutin 6 ja suutin 12. Niillä olivat molemmat mitatut arvot suhteellisen alhaisia. Muilla suuttimilla arvoissa oli suurempia eroja, usein vielä niin päin, että virtaus oli huomattavasti painetta suurempi. Ei ole kovin energiatehokasta, jos pienellä paineella tuotetaan suuri virtaus.

Tehtiin myös vertailu Metson käyttämään messinkisuuttimeen laskemalla paineen ja virtauksen muutosprosentit. Paineen muutosprosentti on hieman harhaanjohtava, sillä messinkisuuttimen vaatima paine 100 g:n työntövoiman tuottamiseen oli vain 1,3 baaria, joten suurelta tuntuva prosentuaalinen kasvu ei todellisesti ole niin suurta, esim. 92,3 % enemmän painetta tarvitseva suutin 5 vaatii siltikin vain 2,5 baaria. Huomioitavaa on, että jokainen suutin kulutti vähemmän kuin Metson oma eli virtauksen muutosprosentti on negatiivinen.

Taulukko 8. Uusien suuttimien muutos-% vanhaan verrattuna mittaus 2:ssa.

Suutin	Paineen muutos-%	Virtauksen muutos-%
suutin 4	438,5	-83,3
suutin 5	92,3	-50,0
suutin 6	92,3	-66,7
suutin 7	115,4	-16,7
suutin 8	15,4	-16,7
suutin 9	53,8	-41,7
suutin 12	-7,7	-66,7

Mittaus 3

Mittaustulokset

Kolmannessa suutintestissä tutkittiin eri suutinten tuottamaa voimaa vakioaineella ja virtauksella. Suutin ohjattiin taas puhaltamaan 20 cm:n päästä kohti digitaalivaakaa, vakioaineeksi asetettiin 2 bar ja vakiovirtaukseksi 2 l/s. Suutin 4:llä ei päästy 2 l/s kulutukseen 2 bar:n paineella, joten tulos otettiin mittaus 1:stä. Tämä mittaus kertoi kaikista eniten suutinten eroista, ja tässä mittauksessa tehokkaat suuttimet tulivat parhaiten esille, sillä kaikilla suuttimilla oli ns. samat lähtökohdat. Tarkemmat mittaustulokset liitteessä 6.

Taulukko 9. Mittaustulokset mittaus 3:sta

Suutin	Voima, g
suutin 1	160
suutin 2	140
suutin 3	110
suutin 4	70
suutin 5	170
suutin 6	180
suutin 7	80
suutin 8	150
suutin 9	180
suutin 12	122

Tulosten tarkastelu

Parhaimman työntövoiman tuottivat suutin 9, suutin 5 ja suutin 6. Tulos on hieman ristiriidassa ensimmäisen mittauksen kanssa, jossa suutin 5 ja suutin 6 olivat liki

alhaisimpia työntövoimiltaan. Mittaus 1:ssä ei kuitenkaan rajoitettu virtausta mitenkään, joten suuret työntövoimat aikaansaaneilla suuttimilla oli myös suuret kulutukset. Tässä testissä nähtiin, mitkä suuttimet ovat oikeasti tehokkaimpia. Säädetävien suutinten kohdalla tulokset olisivat ehkä voineet olla paremmat säädöstä riippuen, testit suoritettiin tehdasasetuksilla.

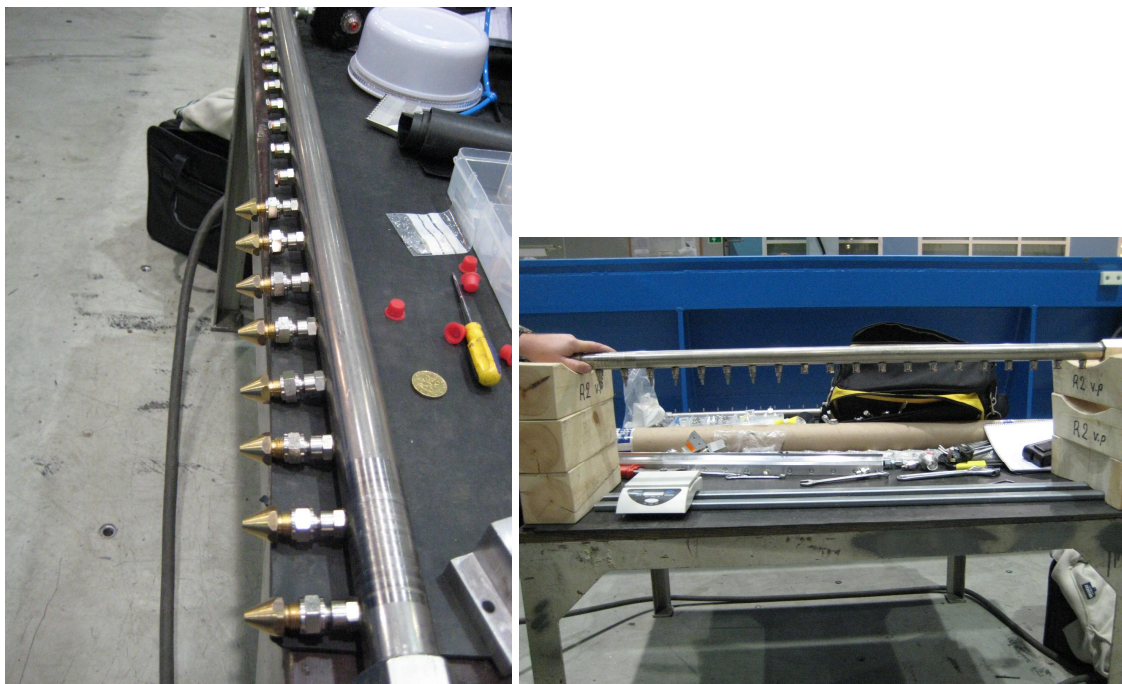
Työntövoimaa verrattiin taas käytössä olevan messinkisuuttimen työntövoimaan. Vaikka messinkisuutin on vaikuttanut aikaisemmin kilpailukykyiseltä, näillä vakioasetuksilla ja varsinkin ilmankulutusta rajoittaen messinkisuutin sijoittuu työntövoimaltaan vain keskitasoon. Suutin 6 ja suutin 9 olivat selvästi vahvimpia työntövoimaltaan.

4.3 Puhallusputket

Vaikka jokin suutin saattaisikin vaikuttaa tehokkaalta yksittäisissä suutintesteissä, todellinen mittari suuttimen hyvydelle on kuitenkin puhallusputkitestit. Missään kohtaa pituusleikkuria ei puhalleta pelkästään yhdellä suuttimella, vaan kaikki puhallukset toteutetaan puhallusputkella. Siksi on tärkeää tutkia erikseen suutinten kulutusta ja puhallusvoimaa, kun ne on asennettu puhallusputkeen.

Puhallusputket testattiin asettamalla valmiiseen putkeen 8 kpl tiettyä suuttinmallia vuorollaan ja mittaamalla työntövoiman maksimi ja minimiarvot n. 20 cm päästä puhalluksesta. Maksimi- ja miniarvot kiinnostivat siksi, että optimaalinen puhallusprofiili on mahdollisimman tasainen, ilman suurta hajontaa suutinten välillä. Vertailukelpoisten tulosten aikaansaamiseksi ensin testattiin 400 mm peittoalueella se osa suuttimista, joita oli vain 8 kappaletta, ja sen jälkeen testattiin suuttimet, joita riitti koko putken mitalle. Suuttimet, jotka testattiin 400 mm peittoalueella, olivat Metson omat, Exair Nano, säädettävä Airtx:n suutin, Silvent MJ6 ja Exair laakasuuutin. Koko putken mitalla testattiin Exair Nano, Exair laakasuuutin, ilmaveitsi ja vertailuarvoksi alkuperäinen päänvientipuhallusputki. Testeissä, joissa putkeen oli kiinnitetty vain 8 kappaletta suuttimia, ylimääräiset suutinten paikat tulpattiin, jotta sivuvuodot eivät vääristäisi mittaustuloksia.

Myös alkuperäinen reunanauhatorvenpuhallusputki testattiin ensin ilman suuttimia ja sitten suutinten kanssa. Reunanauhatorvenpuhallus on oleellinen osa pituusleikkurin ilmankulutuksen optimointia, sillä se on ainoa jatkuva puhallus ja sen ilmankulutukseen vaikuttamalla vaikutettaisiin huomattavasti myös koko pituusleikkurin ilmankulutukseen. Puhalluspiiri molemmissa puhallusputkitesteissä oli muuten sama kuin suutintesteissäkin, paitsi virtausmittariksi vaihdettiin isompi mittari asteikolla 20 l/s – 400 l/s suuremman kulutuksen takia ja paineilmaputken päähän liitettiin puhallusputki yksittäisen suuttimen sijaan. Puhallusvoima mitattiin jälleen n. 20 cm:n päästä digitaalivaa’alla.



Kuva 11. Vasemmalla Metson omat suuttimet kiinnitettynä puhallusputkeen ja oikealla puhallusputki valmiina testaukseen.

4.3.1 Mittaustulokset ja tulosten tarkastelu

Mittaus 1: Päänvientipuhallusputki, 8 suutinta ja 400 mm peittoalue.

Koska mittauksissa paine muuttuu, on tulokset tehty vertailukelpoisiksi käytetyn virtausmittarin muunnostaulukolla, joka löytyy liitteestä 7. Tarkemmat mittaustulokset ovat liitteessä 8.

1. Metson oma messinkisuutin

Taulukko 11 Mittaustulokset messinkisuuttimella.

Paine bar	Virtaus l/s	Voima, g	
		min	max
1	5,0	70	86
1,5	10,1	125	168
2	13,5	185	240
2,5	17,2	250	320
3	21,2	320	423
3,5	26,3	390	500
4	31,6	460	600

2. Suutin 5

Taulukko 12. Mittaustulokset suutin 5:llä

Paine bar	Virtaus l/s	Voima, g	
		min	max
1	2,5	66	90
1,5	4,5	122	146
2	9,8	170	210
2,5	12,6	210	300
3	15,6	270	370
3,5	18,8	330	430
4	19,8	360	500

3. Suutin 6

Taulukko 13. Mittaustulokset suutin 6:lla

Paine bar	Virtaus l/s	Voima, g	
		min	max
1	2,5	66	86
1,5	5,6	110	145
2	8,0	170	210
2,5	11,9	210	280
3	14,9	270	360
3,5	17,3	300	400
4	19,8	400	490

4. Suutin 8

Taulukko 14. Mittaustulokset suutin 8:lla

Paine bar	Virtaus l/s	Voima, g	
		min	max
1	2,5	45	75
1,5	6,3	90	140
2	9,4	120	190
2,5	12,3	190	300
3	16,0	250	340
3,5	20,8	300	440
4	23,8	380	480

5. Suutin 12

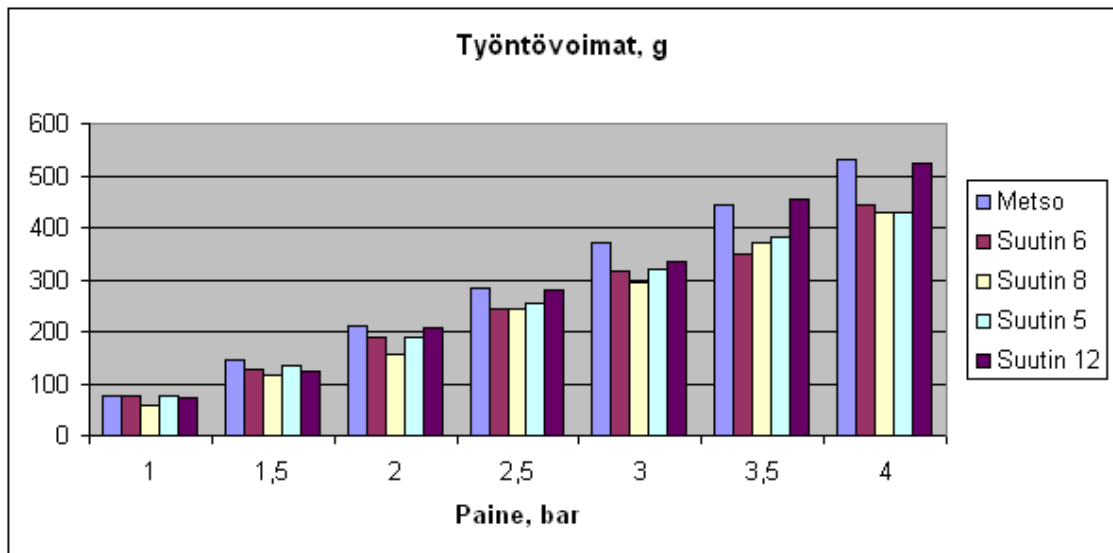
Taulukko 15. Mittaustulokset Exair-laakasuuttimella

Paine bar	Virtaus l/s	Voima, g	
		min	max
1	2,5	50	92
1,5	5,6	90	160
2	12,3	155	260
2,5	15,2	200	360
3	19,1	250	420
3,5	22,5	380	530
4	25,3	400	650

Mittaustulosten tarkastelu

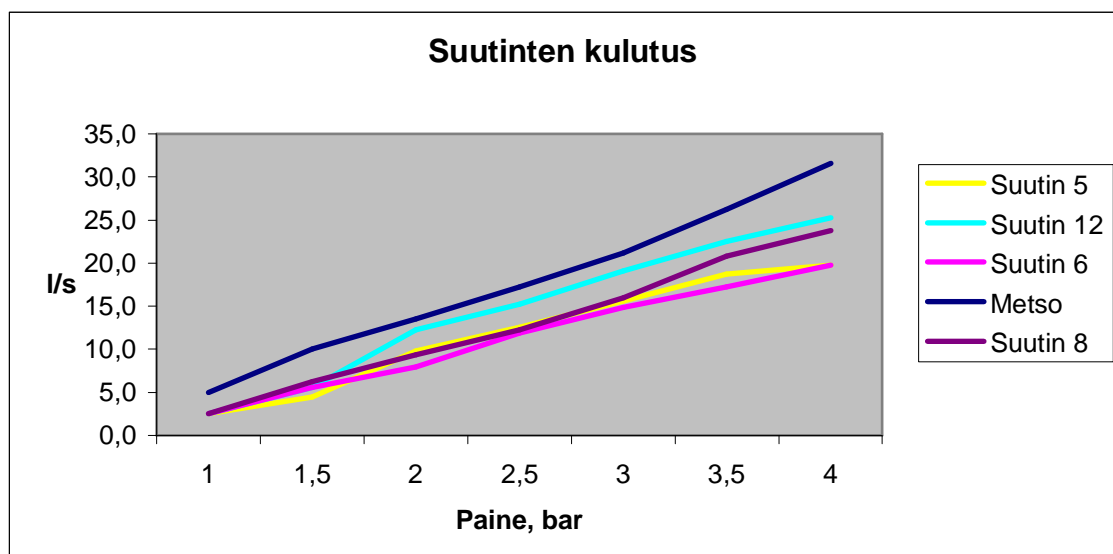
Mittausvirheitä aiheuttanee suutinten erikokoisuus, joten puhallusvoimat eivät ole täysin saman etäisyyden päästä mitattuja. Myös puhallussuunnan ohjaus on kädenvaraista, joten täysi puhallusvoima ei ole välttämättä kohdistunut ihan keskelle vaakaa. Säädettyjen suutinten testit suoritettiin edelleen tehdassäädöillä, joten niistä ei mahdollisesti ole saatu parasta suoritustulosta.

Jotta mittauksen tuloksia olisi hieman helpompi vertailla, laskettiin kaikkien suutinten minimi- ja maksimityöntövoimille keskiarvo ja verrattiin niitä toisiinsa.



Kuva 12. Kaikkien suutinten työntövoimat keskiarvoina ja toisiinsa verrattuina.

Suurin työntövoima on Metson omalla suuttimella ja suutin 12:lla. Pienillä paineilla tosin työntövoimat ovat melko samat jokaisella suuttimella. Erot kasvavat, mitä suuremmaksi paine kasvaa. Suutinten kulutukset saatiin suoraan mittaustulostaulukoista. Niin kuin oletettua, suuren työntövoiman tuottavat suuttimet myös kuluttavat eniten. Suutinten väliset erot tulevat myös hyvin näkyviin, esim. paineen ollessa 4 baaria suuttimella 8 ja 5 on samat työntövoimat, mutta suutin 8 kuluttaa huomattavasti enemmän. Mielenkiintoista, mutta ehkä mittausvirheestä johtuvaakin on se, ettei suutin 5:n kulutus juurikaan noussut nostettaessa painetta 3,5:stä 4 baariin. Työntövoima kasvoi kuitenkin 50 g.



Kuva 13. Suutinten ilmentövoiman nousu paineen noustessa.

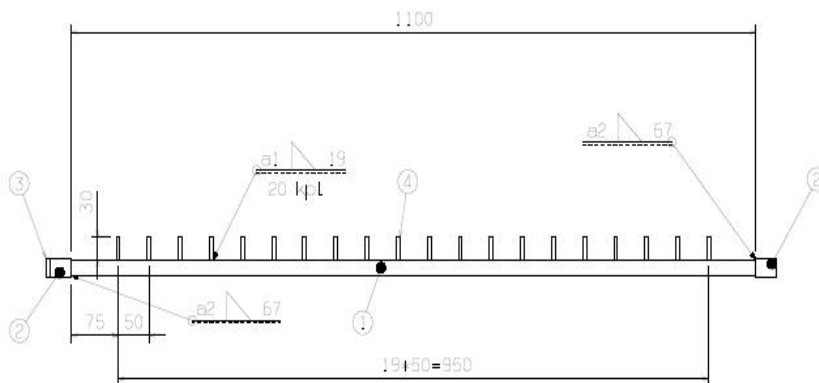
Kulutus pieneni jo hieman vaihtamalla Metson omat suuttimet suutin 12:een, ja tällöin myös työntövoima olisi riittävä. Jos työntövoima voi olla alhaisempi, niin kulutustakin saataisiin laskettua huomattavasti enemmän, lähes 10 l/s.

Tehokkuuden selvittämiseksi laskettiin myös voiman ja kulutuksen suhde. Kuvaaja löytyy liitteestä 8. Käytettiin työntövoimalle laskettuja keskiarvoja, jotka jaettiin kulutuksella. Pienemmän työntövoiman antavat suuttimet erottuvat edukseen, mutta huomiota herättävää on se, että erot tasoittuvat, kun paine kasvaa, eli enemmän kuluttavat suuttimet ovat tehokkaampia isommilla paineilla. Suuttimen valinnassa pitää siis ottaa huomioon myös järjestelmän painetaso.

Mittaus 2: Päänvientipuhallusputki, suuttimia 20 kpl.

1. Metson oma päänvientipuhallusputki

Putkeen on hitsattu eräänlaisiksi ilmapirtaa ohjaaviksi suuttimiksi 20 pikku putkea, halkaisijaltaan 3 mm. Pikku putkien suut ovat avoimia, niissä ei ole minkäänlaisia suuttimia.



Kuva 14. Päänvientipuhallusputki

Taulukko 16. Metson päänvientipuhallusputken mittaustulokset

Paine bar	Virtaus l/s	Voima	
		min	max
1	5,0	10	12
1,5	12,9	20	26
2	19,6	32	38
2,5	23,2	40	58
3	26,9	58	70
3,5	30,0	73	94
4	34,0	90	116

2. Suutin 6

Taulukko 17. Mittaustulokset suutin 6:lla

Paine bar	Virtaus l/s	Voima	
		min	max
1	7,5	20	34
1,5	10,1	50	66
2	15,3	68	96
2,5	21,2	102	122
3	24,1	140	178
3,5	27,8	170	210
4	32,4	210	258

3. Ilmaveitsi

Ilmaveitsen testaus aloitettiin 4 bar:n paineessa, jolloin huomattiin työntövoiman olevan vain 120 g ja kulutuksen olevan 33 l/s. Testaus päätettiin lopettaa, koska ilmaveitsen työntövoima järkevällä kulutuksella ei ole riittävä.

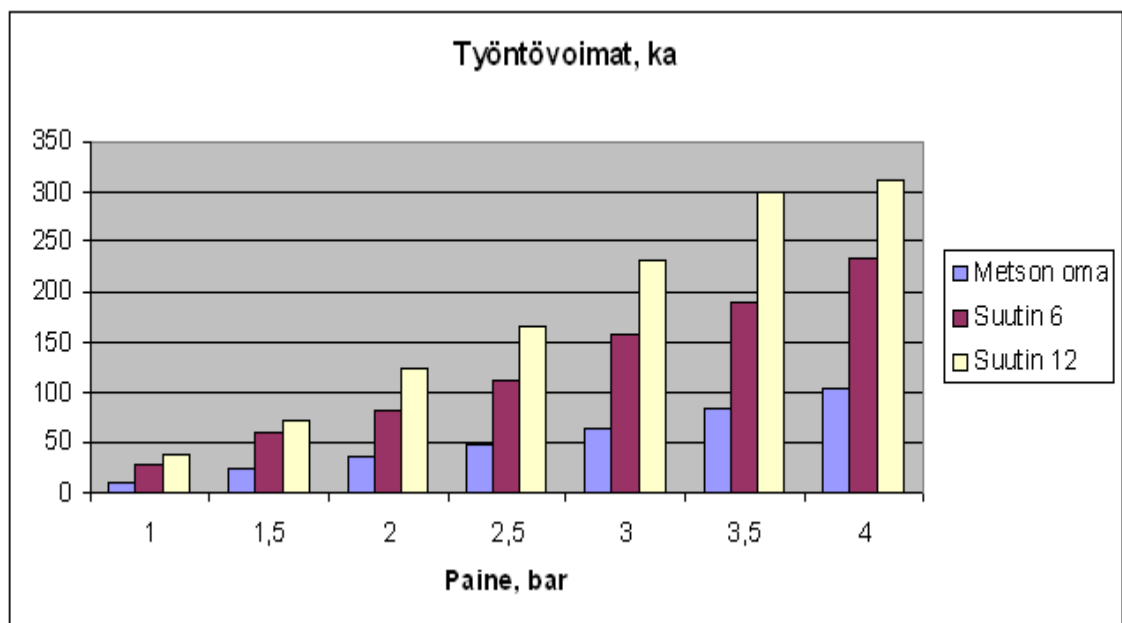
4. Suutin 12

Taulukko 18. Mittaustulokset suutin 12:lla

Paine bar	Virtaus l/s	Voima	
		min	max
1	6,3	25	50
1,5	15,4	56,3	87,5
2	19,9	100	150
2,5	24,8	125	206,3
3	31,0	175	287,5
3,5	34,7	237,5	362,5
4	41,5	250	375

Mittaustulosten tarkastelu

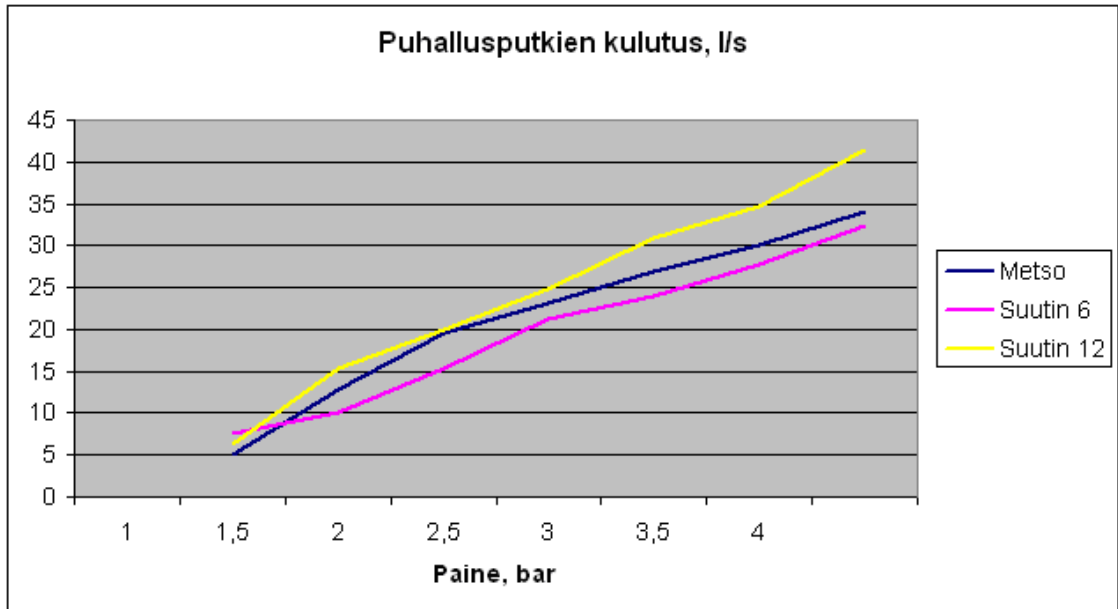
Toisessa mittauksessa testattiin päänvientipuhallusputken kulutusta ja työntövoimia 1100 mm:n matkalta 20:llä suuttimella. Työntövoimille laskettiin taas keskiarvo ja verrattiin keskiarvoja toisiinsa.



Kuva 15. Työntövoimien keskiarvot toisiinsa verrattuna

Kuvaajasta huomaa selvästi, kuinka paljas putkensuu ei pärjää työntövoimavertailussa suuttimille. Paras työntövoiman arvo, minkä paljas putki pystyy tuottamaan, on 100 grammaa 4 baarin paineessa, jonka taas suuttimilla varustetut putket tuottavat jo

huomattavasti alhaisemmilla paineen arvoilla. Suutin 6 tuottaa 100 g:n työntövoiman 2,5 baarin paineessa, ja suutin 12 pystyy siihen jo hieman alle 2 baarin paineessa. Mitä suuremmaksi paine kasvaa, sitä isommat työntövoiman erot tulevat näkyviin.



Kuva 16. Puhallusputkien kulutus

Kulutus on hieman yllättäen suurempi suutin 12:lla kuin avonaisella putken suulla, mutta työntövoimahan oli suuttimella kolme kertaa suurempi. Kun tarkastellaan, millä kulutuksella saadaan 100 gramman työntövoima aikaiseksi, niin suutin 12 kuluttaa n.15 l/s. Suutin 6 kuluttaa n. 20 l/s ja Metson oma päänvientipuhallusputki yli 40 l/s. Tässä on selkeä paineilman säästämähdollisuus. Asentamalla päänvientipuhallusputkeen suuttimet paineilman kulutusta saataisiin laskettua yli 62 %. Laskettiin myös työntövoiman ja kulutuksen suhde, ja se vahvistaa Metson oman putken heikon tehokkuuden. Metson puhallusputki on tehokkaimmillaan 4 baarin paineessa, mutta on silloinkin heikompi kuin suuttimet heikoimmillaan. Kuvaaja on liitteessä 8. Päänvientipuhallusputkeen kannattaa asentaa ehdottomasti suuttimet.

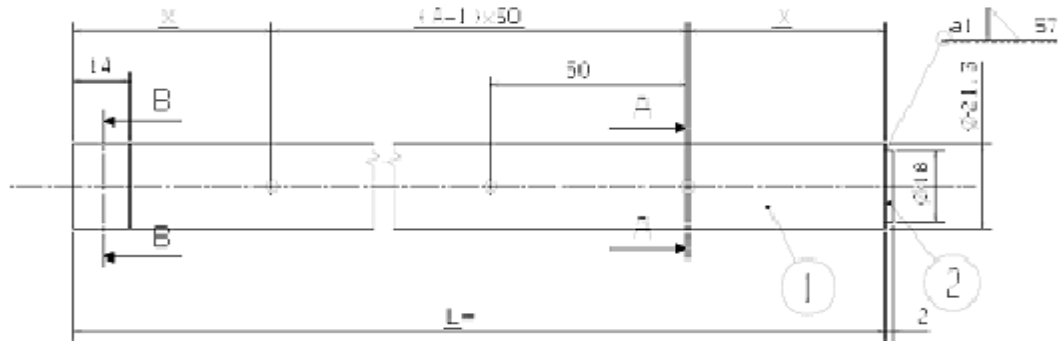
Mittaus 3: Reunanauhatorvenpuhallus

Reunanauhatorvenpuhallusputkitesteissä testattiin Metson oma puhallusputki sekä vastaava puhallusputki varustettuina suutin 6:lla. Putkeen tarvittiin 11 kpl suuttimia, ja mittausjärjestely oli samanlainen kuin päänvientipuhallusputkitesteissä. Painetta ei

saatu nousemaan yli 3,5 bar:n testattaessa Metson omaa puhallusputkea, joten siksi mittausasteikko on vain siihen asti. Liitteessä 8 on tarkemmat tutkimustulokset.

1. Metson oma reunanauhatorven puhallusputki

Putkeen on porattu 11 reikää 50 mm:n välein, joista ilma purkaantuu.



Kuva 17. Reunanauhatorven puhallusputki.

Taulukko 18. Mittaustulokset reunanauhanpuhallusputkella

Paine bar	Virtaus l/s	Voima g
1	2,5	50
1,5	5,6	105
2	9,2	155
2,5	11,9	230
3	14,9	290
3,5	21,0	360

2. Suutin 6

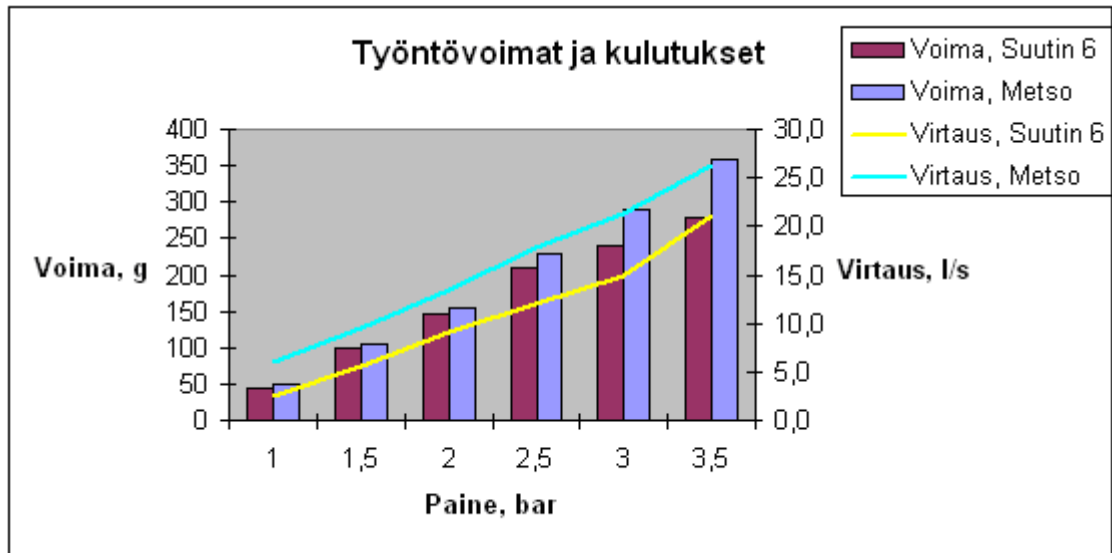
Taulukko19. Mittaustulokset suutin 6:lla

Paine bar	Virtaus l/s	Voima g
1	6,0	45
1,5	9,5	100
2	13,5	145
2,5	17,9	210
3	21,2	240
3,5	26,3	280

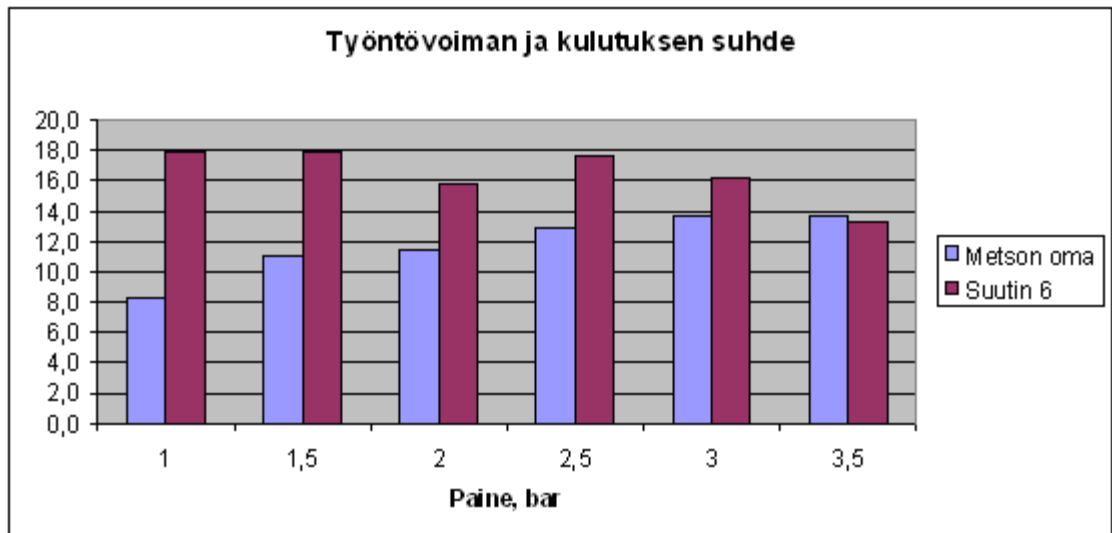
Mittaustulosten tarkastelu

Reunanauhatorvenpuhallusputken testeissä testattiin nykyistä puhallusputkea ja putkea, joka on varustettu suutin 6:lla. Tiedot koottiin yhteen kuvaajaan tulosten tarkastelun helpottamiseksi. Pienillä paineilla työntövoimat ovat suunnilleen samat. Paineen kasvaessa myös erot kasvavat, ja Metson putken työntövoima on parhaimmillaan 80 g suurempi. Suuttimilla varustetun putken ilmankulutus on selkeästi pienempi jo alusta alkaen, vaikka työntövoimat olivat siellä melko tasaiset.

Työntövoiman ja kulutuksen suhdetta laskiessa huomattiin suutin 6:n olevan paljon tehokkaampi pienillä paineilla. Erot jälleen kuitenkin tasoittuvat, kun paine kasvaa. Jos suuttimen työntövoima on riittävä, puhalluspiirin painetaso vaikuttaa eniten suuttimen valintaan. Paineen ollessa 3 baaria tai alle suutin 6 on tehokkaampi. Paineen ollessa korkeampi on luultavasti puhallusputki tehokkaampi. Valitettavasti Metson oman puhallusputken testissä ei saatu nostettua painetta yli 3,5 bar:n, joten ei ole tietoa, olisiko isommilla paineilla Metson puhallusputki ollut todella parempi vai onko 3,5 bar:n kohdalla tapahtunut jokin mittausvirhe, joka saa tulokset näyttämään näin tasaisilta.



Kuva 20. Alkuperäisen puhallusputken ja suuttimilla varustetun puhallusputken ero.



Kuva 21. Työntövoiman ja kulutuksen suhde, mittaus 3.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tutkittiin pituusleikkurin paineilman kulutuksen optimointitapoja toimilaitteiden, puhallusten ja alipainetekniikan näkökulmasta. Pääpainopiste oli kulutuksen optimointi päänviennin, rullauksen ja muutonvaihdon aikana. WinDrum-C-pituusleikkuria tutkittaessa huomattiin sen kuluttavan eniten päänvientipuhalluksissa ja muutonvaihdon aikana. Muutonvaihdossa eniten ilmaa kuluttivat muutonvaihtopuhallukset ja hylsynlaitatin, joka käyttää yksivaihe-ejektoreita alipaineen luomisessa imukuppeihin. Alipainetta käytetään myös ohjaustelan ja takatelan imuissa, joiden tarkoitus on imeä paperiraina itseensä kiinni ja viedä sitä eteenpäin tai pitää paikoillaan tilanteesta riippuen. Ohjaustelan imu toteutetaan yksivaihe-ejektorilla ja takatelan imu puhaltimella. Näitä järjestelmiä pitäisi kehittää energiatehokkaampaan suuntaan.

Päänvienti- ja muutonvaihtopuhallukset toteutetaan puhallusputkilla, joissa useimmissa ei ole minkäänlaista suutinta. Suutinten avulla ilmankulutusta saataisiin huomattavasti pienennettyä ja haitallista puhallusmelua myös hiljennettyä. Myös muiden puhallusten, kuten reunanauhatorvenpuhalluksen, ilmankulutusta saataisiin mahdollisesti pienennettyä suutinten avulla. Suuttimien toiminta, ominaisuudet ja soveltuvuus pituusleikkurin käyttöön päätettiin siis testata.

5.1 Suuttimet

Testien perusteella suutinten käyttö puhalluksissa on erittäin suositeltavaa paineilman vähentämisen kannalta. Vaikka Metson messinkinen suutin vaikutti kilpailukykyiseltä työntövoiman suhteen, oli kolmannessa suutintestissä suuttimilla samat lähtöasetelmat (vakiopaine ja -virtaus), ja tällöin parhaat suuttimet olivat työntövoimaltaan liki 29 % parempia kuin Metson oma. Kulutukseltaan paras eli vähiten kuluttava suutin oli suutin 6, jonka ilmankulutus oli jopa 66,7 % pienempi kuin Metson. Suutin 6:lla oli myös paras voiman ja kulutuksen suhde.

Puhallusputkিতেissä työntövoimaltaan Metson oma suutin oli kärkipäässä, mutta sen kulutuskin oli suurta. Voiman ja kulutuksen suhdetta laskiessa suutin 6:lla ja suutin

5:llä varustetut putket olivat parhaita. Erot kuitenkin tasoittuivat paineen kasvaessa. Valittaessa putkeen suutinta on siis otettava huomioon, minkä paineista ilmaa putkeen syötetään sekä kuinka suuri työntövoima tarvitaan, ja tehtävä päätökset sen perusteella. Mikäli tarvitaan yli 500 g:n työntövoimaa, suutin 12 olisi hyvä valinta. Sillä riittää työntövoima ja se vähentää kulutusta keskimäärin 23 % riippuen siitä, minkä paineista ilmaa käytetään. Kyseistä suutinta tarvittaisiin myös puolet vähemmän laajemmalle ulottuvat puhalluksen takia, mikä osaltaan mahdollisesti leikkaisi myös kustannuksia. Mikäli 400 g:n työntövoima riittää, paras suutin on suutin 6, jonka käyttö vähentäisi ilmankulutusta keskimäärin 38 %.

Päänvientipuhallusputkiteksteissä Metson oma putki oli huonoin työntövoimaltaan, mutta toiseksi suurin kulutukseltaan. Päänvientipuhallusputkitekstissä jälleen parhaiten pärjäsi suutin 6:lla varustettu puhallusputki. Sillä oli toiseksi suurin työntövoima, mutta pienin kulutus. Kulutuksen erot tasoittuivat paineen kasvaessa, mutta työntövoiman erot olivat huomattavat. Suutin 6:n työntövoima oli 4 bar:n paineessa yli 220 % parempi kuin Metson oman putken ja kulutukseltaankin 5 % pienempi. Päänvientipuhalluksissa kuluu leikkausosassa ilmaa $54\text{m}^3/\text{h}$ ja rullausosassa $342\text{m}^3/\text{h}$. /15/. Jos oletetaan työntövoiman tarpeen olevan 100 g, johon Metson omalla puhallusputkella päästään 4 bar:n paineessa, mutta suutin 6:n avulla jo 2,5 bar:n paineessa, kulutus pienenesi 26 %. Uudet kulutukset olisivat leikkausosassa $40\text{m}^3/\text{h}$ ja rullausosassa $253\text{m}^3/\text{h}$. Päänvientiputkeen kannattaa siis ehdottomasti laittaa suuttimet, työntövoiman tarpeesta riippuen joko suutin 6:t tai suutin 12:t. Suutin 12:lla on suurempi kulutus, mutta myös suurempi työntövoima, ja niitä tarvitaan puhallusputkeen puolet vähemmän. 100 gramman työntövoima on paras, mihin Metson omalla putkella päästään, ja suuremmasta työntövoimasta johtuen kyseisen työntövoiman tuottamisessa suutin 12:lla saadaan kuitenkin samat säästöt kuin Exair Nano –suuttimia käyttämällä, joten suutinten valinnassa kannattaa ottaa huomioon suutinten myyntihinta.

Reunanauhatorven puhallukset ovat tärkeimmät puhallukset pituusleikkurissa, sillä ne ovat jatkuvia puhalluksia. Muutokset reunanauhatorven puhalluksissa vaikuttavat huomattavasti koko koneen kulutuksiin. Testissä testattiin nykyistä puhallusputkea ja suutin 6:lla varustettua puhallusputkea. Työntövoimat olivat tasaiset pienillä paineilla, mutta 3 bar:n jälkeen erot kasvoivat, ja Metson putki oli selvästi työntövoimaltaan

suurempi. Suutin 6:lla varustetun putken ilmankulutus oli kuitenkin koko testin ajan keskimäärin n. 30 % pienempi. Metson omalla putkella painetta ei saatu kasvatettua yli 3,5 bar:n, mutta suuttimilla varustetulla putkella olisi saatu.

Olisi ollut mielenkiintoista seurata Metson oman putken työntövoiman ja kulutuksen suhteen kehittymistä vielä suuremmilla paineilla, pienillä paineilla suutin 6:n suhde oli huomattavasti parempi. Myös suutin 6:lla varustetun putken työntövoiman kasvun seuraaminen olisi ollut mielenkiintoista, millä paineella ja kulutuksella se olisi pystynyt samaan työntövoimaan kuin Metson oma putki. Tällä hetkellä reunanauhatorvien puhallusten ilmankulutukset ovat $180 \text{ m}^3/\text{h}$. /15/ Laittamalla puhallusputkeen avointen reikien tilalle suuttimet kulutusta saataisiin laskettua $126 \text{ m}^3/\text{h}$. Jos vain puhallusvoima on riittävä, kannattaisi siis ehdottomasti laittaa suuttimet reunanauhatorven puhallusputkeen myös.

5.2 Alipaine

Alipaineikohteita on kolme: hylsynlaitatin muutonvaihdon yhteydessä, sekä takatelan ja ohjaustelan imu. Hylsynlaitattimessa tällä hetkellä on neljä yksivaihe-ejektoria, joiden avulla tyhjä hylsy asetetaan rullauskohtaan. Tarvittava alipaine on n. -0,7 bar. Optimoidakseen paineilman kulutuksen tähän järjestelmään kannattaisi liittää mukaan alipainevahti. Kolmeen ejektoriin lisättäisiin siis alipainekeytkimet, jotka olisi asetettu portaittain lähenemään -0,7 baaria: esim. -0,6 bar, -0,65 bar, -0,68 bar. Tällöin paineilman syöttö yksittäiselle ejektorille katkeaa aina, kun säädetty alipainetaso saavutetaan. Ensin siis imetään kaikilla ejektoreilla ja vähitellen, säädetyn painetason lähetessä, kolme ejektoria kytkeytyvät vuorotellen pois päältä. Kun haluttu alipainetaso on saavutettu, se pysyy yhdellä ejektorilla jonkin aikaa yllä, kunnes pienistä vuodoista johtuen alipainetaso laskee. Tietyn rajan alle laskiessa toinen ejektori menee päälle ja painetaso kääntyy nousuun. Alkuperäisen, neljän yksivaihe-ejektoreilla varustetun järjestelmän ja uuden, alipainekeytimillä varustetun järjestelmän erot selvitettiin Sovellusmestarit Oy:n avulla.

Nykyinen järjestelmä

4x Schmalzin yksivaihe-ejektoreita, joiden imuteho on 976 l/min ja ilmankulutus optimiolosuhteissa on 376 l/min. Ilman kulutus laitteistossa 1,5 m³/min käytön aikana.

Alipainekeytkimillä varustettu järjestelmä

Yksi monivaihe-ejektori ja kolme takaiskuventtiileillä varustettua monivaihe-ejektoria. Takaiskuventtiileillä varustettuihin monivaihe-ejektoreihin liitettäisiin lisäksi kolme alipainekeytkintä. Järjestelmään tarvittaisiin lisäksi kaksi alipainesuodatinta.

Järjestelmän imuteho 5 baarin paineessa on 1026 l/min ja ilmankulutus 270 l/min.

Ilmankulutus imuvaiheessa on 1,0 m³/min ja pitovaiheessa 0,5m³/min, jos 2 ejektoria on päällä.

Johtopäätöksenä siis olisi suositeltavaa korvata hylsynlaitatinjärjestelmässä yksivaihe-ejektorit energiatehokkailla paineilmaejektoreilla, joista kolme ejektoria on lisäksi varustettu sisäänrakennetuilla takaiskuventtiileillä ja ilmankulutusta valvovilla alipainekeytkimillä. Järjestelmien imuteho on liki sama, mutta ilmankulutuksessa on huomattava ero. Alipainekeytkimillä varustetun järjestelmän ilmankulutus pitovaiheessa vaihtelee riippuen, kuinka monta ejektoria on päällä. Kahden ejektorin ollessa päällä ilmankulutus pienenee 50 %. Jos päällä on vain yksi ejektori, ilmankulutus pienenee vielä enemmän. Energiasäästöä tulisi siis 33-66 % nykyisestä, riippuen imuajasta, pitoajasta ja päällä olevien ejektoreiden lukumäärästä.

Takatelan imu toteutetaan puhaltimella ja ohjaustelan imu yhdellä yksivaihe-ejektorilla. Takatelan puhallinjärjestelmää ei ehditty tutkia, mutta ohjaustelan imun toteutukseen kehitettiin kaksi vaihtoehtoa, jotka toiminevat myös takatelalla. Joko ohjaustelan yksivaihe-ejektori korvataan monivaihe-ejektorilla tai matalatehoimurilla, jolla päästään -0,4 baarin alipainetasoon, joka riittänee paperirainan pitämiseen telalla. Ilmankulutuksia selvittäessä huomattiin, että monivaihe-ejektorin ilmankulutus on 300 NI/min ja sen imuteho 1200 NI/min ja matalatehoimurin kulutus 430 l/min ja imuteho yli 3000 NI/min. Nykyisessä järjestelmässä ilmankulutus on 376 l/min ja imuteho alle 1000 NI/min, joten molemmissa vaihtoehdoissa saataisiin jo tuntuvia säästöjä aikaan ohjaustelalla. Takatelan puhaltimen korvaaminen jommallakummalla vaihtoehdolla riippuu tietenkin puhaltimen tehokkuudesta. Valitettavasti kumpaakaan järjestelmää ei

ehditty testata, joten konkreettisia kulutuksen muutosprosentteja ei ole. Telojen alipainejärjestelmät vaativat siis jatkotutkimuksia.

5.3 Kehitysehdotukset

Aikaisemmin pituusleikkurin paineilman kulutukseen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota, ja paineilmaa kuluukin leikkurilla huomattavan paljon. Kulutuksen optimointikohteita on pituusleikkurilla useita, ja suuria säästöjä saadaan aikaan parilla muutoksella. Ensinnäkin kaikkiin puhalluksiin pitäisi asentaa sopivat suuttimet, jotka muuttavat puhallukset huomattavasti energiatehokkaammiksi, vähentävät puhallusmelua ja turbulenssia. Puhallukset toteutetaan nykyään paljalla putkensuilla, joiden takia turbulenssi on jatkuvaa ja hukkailmaa syntyy useita litroja sekunnissa. Suutinten asennuksella olisi mahdollista päästä jo liki 30 % säästöihin.

Toinen paineilman kuluttaja on alipainetekniikka, joka pituusleikkurilla on toteutettu useimmiten yksivaihe-ejektorilla. Hylsynlaittamisessa neljä yksivaihe-ejektorilla luovat tarvittavan alipaineen imukuppeihin, joilla hylsy siirretään paikoilleen rullauksen aloittamista varten. Nämä kaikki tulisi korvata monivaihe-ejektoreilla, joista kolmeen lisätään alipainekytkimet. Alipainekytkimet ohjattaisiin kytkemään ejektorit pois päältä portaittain lähestyessä tarvittavaa alipainetasoa. Kun alipainetaso olisi saavutettu, sitä pidettäisiin yllä vain yhdellä monivaihe-ejektorilla. Jos alipaine kääntyy laskuun, alipainekytkimet ohjaisivat ejektorit päälle yksi kerrallaan tarvittaessa. Tällä järjestelmällä saataisiin 33-66 % säästö vanhaan järjestelmään verrattuna. Tämä tarkoittaa vuositasolla n. 850-1730 euron säästöjä imu- ja pitoajasta riippuen. Myös ohjaustelaan luodaan alipaine yksivaihe-ejektorilla. Tämäkin tulisi korvata joko monivaihe-ejektorilla tai matalapaineimurilla. Alipainekohteet, joissa imu luodaan puhaltimella, vaativat vielä lisäselvityksiä puhaltimen energiatehokkuudesta. Jos imu saataisiin vähemmällä kulutuksella luotua esim. monivaihe-ejektorilla, puhaltimien korvaaminen olisi suositeltavaa.

Toimilaitteiden puolelta on hankala löytää säästökohteita, varsinkin kun pituusleikkurilla ei ole omaa paineilmajärjestelmää, joten kompressorin ja muiden paineilmajärjestelmän laitteiden tehokkuuteen ei pääse vaikuttamaan. Ensiarvoisen tärkeää kuitenkin on, että toimilaitteet pituusleikkurilla on mitoitettu oikein. Yli- tai

alimitoitettut laitteet kuluttavat turhaan paineilmaa ja luovat turvallisuusriskejä. Pituusleikkurin toimilaitteista mikään ei kuitenkaan ollut selkeästi väärin mitoitettu.

Hukkailman vähentämiseksi kannattaa myös kiinnittää huomioita laitteiden sijoitteluun pituusleikkurissa. Mitä vähemmän putkissa on mutkia ja liitoksia, sen vähemmän syntyy hukkailmaa. Paineilma ei myöskään saisi kulkea putkistossa turhan pitkiä matkoja. Tässä työssä ei kuitenkaan tutkittu putkiston rakennetta ja laitteiden sijoittelua. Sieltä voisi tulla hieman lisäsäästöä, jos putkisto suunniteltaisiin uudelleen energiatehokkaammaksi.

Puhallusputkien paineilmapiirien suunnittelussa voisi myös ajatella virtauksen kuristimien korvaamista paineensäätimillä. Kuristin säätelee nimittäin putkeen virtaavan ilman määrää, jolloin putkessa ei välttämättä vallitse tasainen paine, ja siksi suuttimet puhaltavat eri tehoilla. Kuristin aiheuttaa myös kitkaa ja lämpenemistä, mikä osaltaan hukkaa energiaa. Paineensäätimellä putkeen saataisiin tasainen paine ja suuttimet yhtä tehokkaiksi keskenään, jolloin prosessi paranisi. Nykyään puhallusvoiman riittävyys arvioidaan käsituntumalla ja kokemuksella, että tämä puhallusvoima on ennenkin riittänyt. Paineensäätimen avulla paineesta tulisi yksi pituusleikkurin säätöparametreista, eli kun tiedetään, millä paineen säätöarvolla puhalluksen voima on riittävä, se on helppo ohjeistaa asetusarvoksi. Näin myös mahdollisesti ylimitoitetuissa puhalluksissa hukkaan menevä ilma saataisiin säästöön, kun puhallusvoima olisi oikein mitoitettu.

Viimeinen huomionarvoinen seikka on pituusleikkurin logiikka ja ohjaus. Toimintojen oikea-aikaisuus toisi tuntuja säästöjä. Tällä hetkellä imut ja puhallukset ovat turhaan päällä jo minuutteja, ennen kuin niille olisi tarvetta. Ohjaus pitäisi muuttaa sellaiseksi, että puhallukset ja imut kytkeytyisivät päälle vain sekuntia ennen tarvetta ja lopettaisivat toiminnan heti kun se olisi mahdollista. Säästöt tulisivat siitä, kun puhallukset ja imut eivät kuluttaisi enää paineilmaa ns. tyhjäkäyntiin. En tutustunut työssä tarkemmin pituusleikkurin logiikkaan ja ohjaukseen, mutta oikea-aikaisuuden varmistamiseksi pitäisi mahdollisesti asentaa muutama anturi lisää pituusleikkuriin, joilta saataisiin viesti rainan etenemisestä ja näin ollen oikeasta hetkestä kytkeä paineilmapiiirit päälle.

Laitteiden asennus aiheuttaa toki lisäkuluja konetoimittajalle ja nostaa pituusleikkurin hintaa. Parannukset maksavat kuitenkin itsensä takaisin muutamassa vuodessa, jonka jälkeen tuovat suoraa säästöä käyttäjälle. Energian hinnannousu tulevaisuudessa lisää varmasti asiakkaiden kiinnostusta vähemmän paineilmaa käyttävään pituusleikkuriin. Myös ympäristön ja vihreiden arvojen lisääntynyt huomiointi tuotannossa lisäänee energiatehokkaampien sovellusten kysyntää. Parannusten aiheuttamaa kokonaissäästöprosenttia on mahdotonta laskea, sillä osaa järjestelmistä ei ehditty testata, eikä ohjaukseen ja logiikkaan tehtäviä muutoksia ole toteutettu, joten ei tiedetä, kuinka paljon säästöjä oikea-aikaiset puhallukset ja imut tuovat. Testeissä kuitenkin kävi ilmi, että 30 %:n säästö on selkeästi alakanttiin. Pituusleikkurilta saataisiin leikattua jo pelkästään suuttimien avulla liki 28 % kulutuksesta. /15/

LÄHTEET

1. Metso Paper. WinBelt Winder Basics 2005, koulutusmateriaali
2. Metso Paper Järvenpään yleisesittely 2007 Power Point -kalvosarja
3. Knowpap 6.0. Ohjelmisto.
4. WinDrum-C:n rakenne ja toimintaperiaate. Metson sisäinen dokumentti
5. Metso Paper Järvenpää. Tuotteet ja asiakasprosessi. Perehdytysopas CD - 06
6. WinBelt-L Winder Basics 2006. Metson sisäinen dokumentti
7. WinDrum Pro Basics 2007. Metson sisäinen dokumentti
8. Hulkkonen Veli. Fluid Finland, Fluid Klinikka 13. Lehti.
9. Hulkkonen Veli. Fluid Finland, Fluid Klinikka 14. Lehti.
10. Hulkkonen Veli. Fluid Finland, Fluid Klinikka 18. Lehti.
11. Hulkkonen Veli. Fluid Finland, Fluid Klinikka 16. Lehti.
12. Silvent. Puhallussuuttimet ja turvapistoolit. Esite
13. Sarlin. Vuotokartoitus 4/2008. Esite
14. Rantanen Mikko. Toimitusjohtaja, Sovellusmestarit Oy. Suullinen tieto 07/2008.
15. Ilmankulutusmittaukset. Metson sisäinen dokumentti.
16. Hydrauliiikan ja pneumatiikan perusteet. Luento 7, EVTEK-
17. Hydrauliiikan ja automaation osaston internetsivut. Tampereen TKK.
www.iha.tut.fi [Luettu 5.9.2008]
18. Vuotojen vuotuiset energiakustannukset.
http://www.ifm-electronic.fi/ifmfin/web/metris_4.htm [luettu 17.9.2008]

LIITE 1: Luettelo pituusleikkurin pneumatiikkapiireistä /4/

Leikkausosan pneumatiikkapiirejä ovat

- reunanauhan ohjauslevyjen puhallukset
- terälaitteet
- reunanauhasuuttimien puhallukset
- säädettävän levitystelan palkeet
- päänvientilaitteet

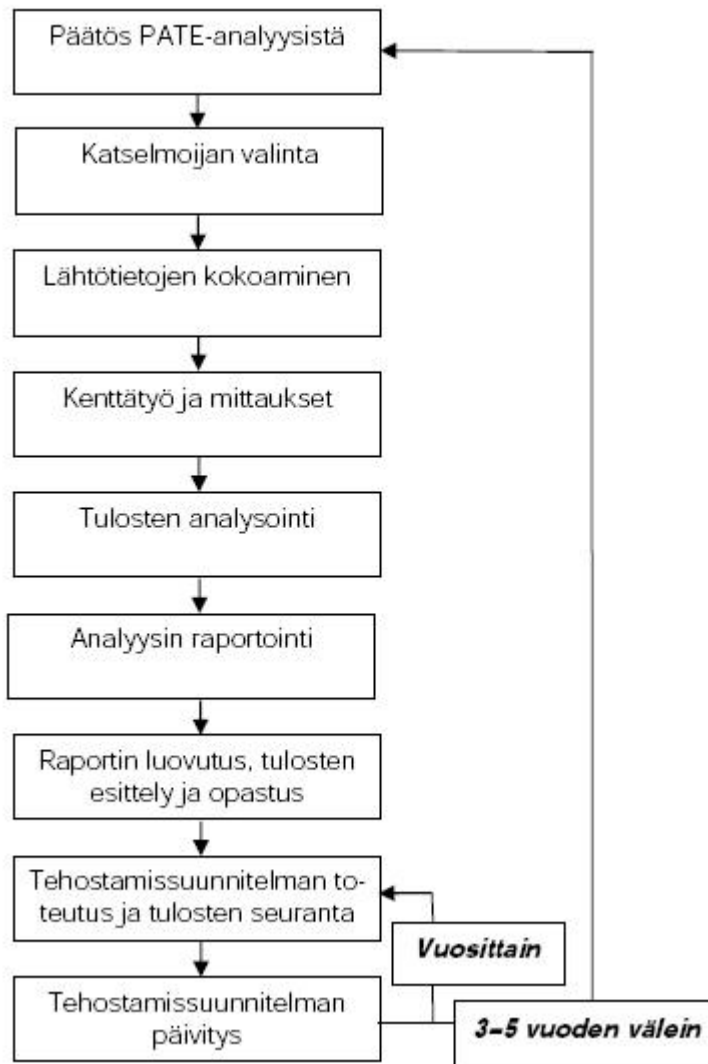
Aukirullauksen pneumatiikkapiirejä ovat

- nostopöydän kansi
- aukirullauksen päänvientihihna
- aukirullauksen päänvientihinnan imu
- päänvientipuhallukset
- konerullan halkaisijan mittaus

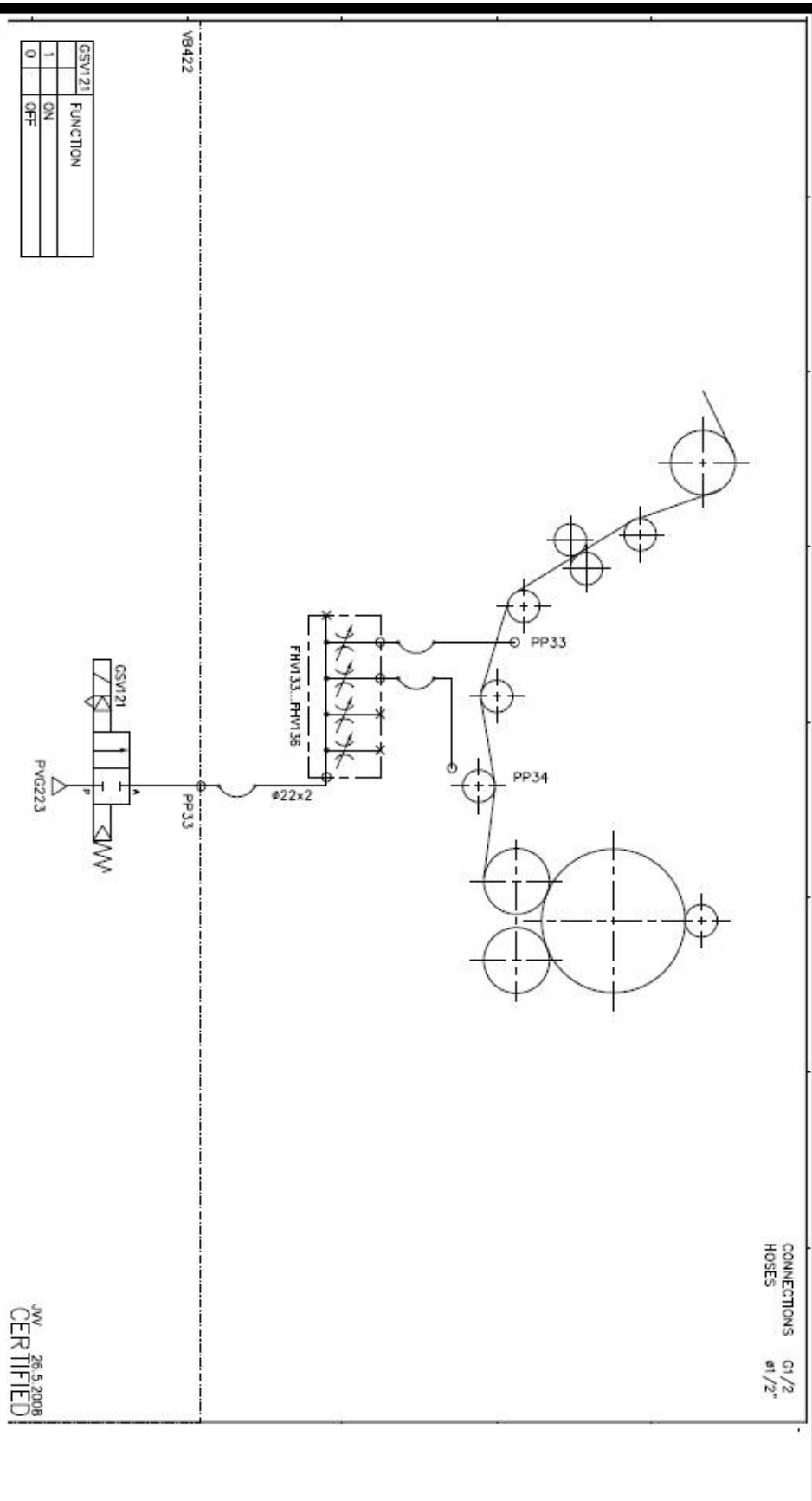
Rullaososan pneumatiikkapiirejä ovat

- telaston puhdistuspuhallukset ja kiihdytys/rainankatkopuhallus
- hylsylukkojen turvalukot
- painotelan turvalukot,
- puhdistuspuhallus painotelan valokennoille sekä painotelan jarru
- katkaisuterän tuki
- takatelan imuläppä
- kitasuojan turvalukot
- rullaososan päänvientilaitteet
- takatelan siirron jarru
- takatelan vieritin

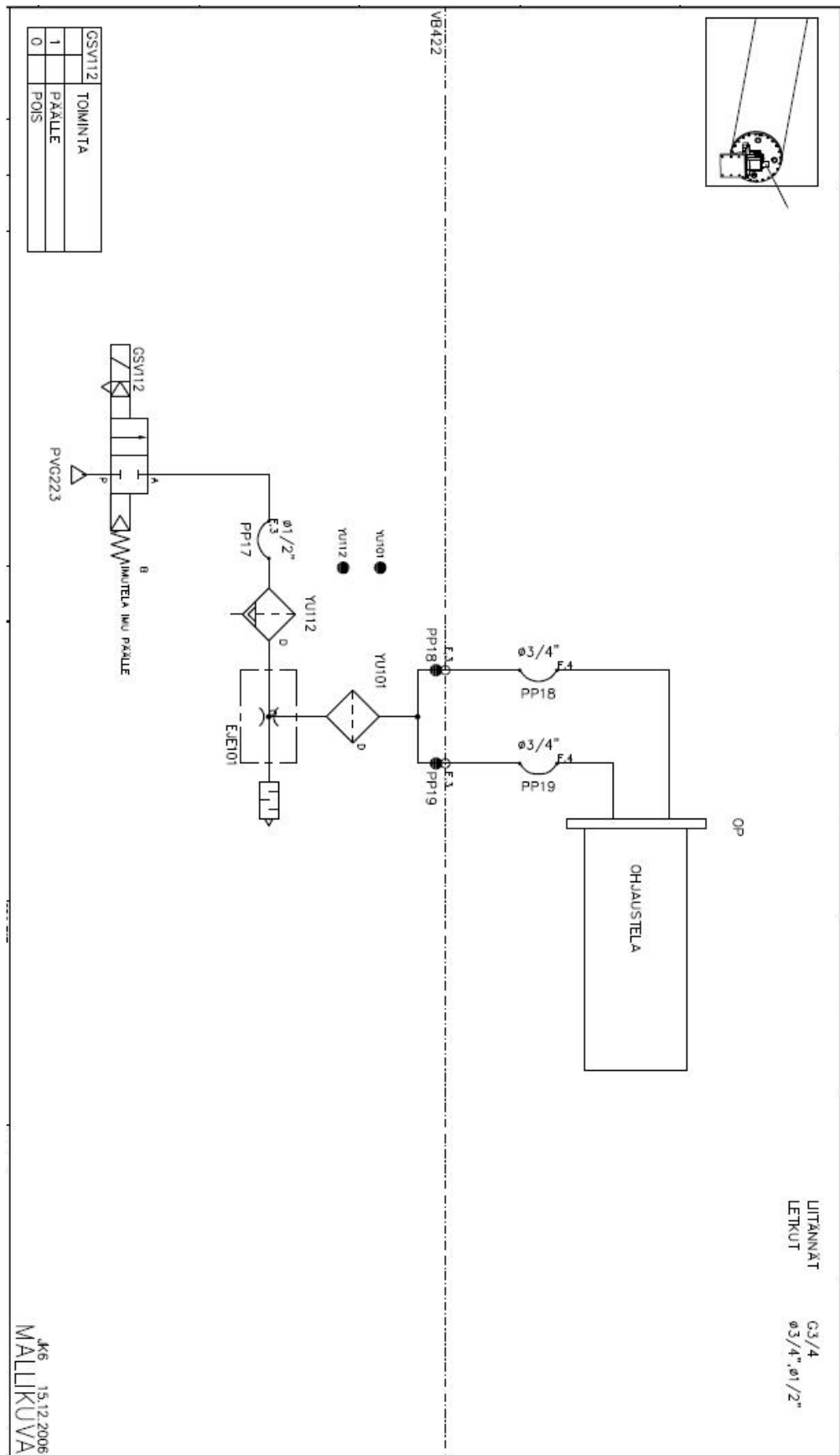
LIITE 2: PATE-analyysin päävaiheet



LIITE 3: Esimerkkipuhalluspiiri, päänvientipuhallus

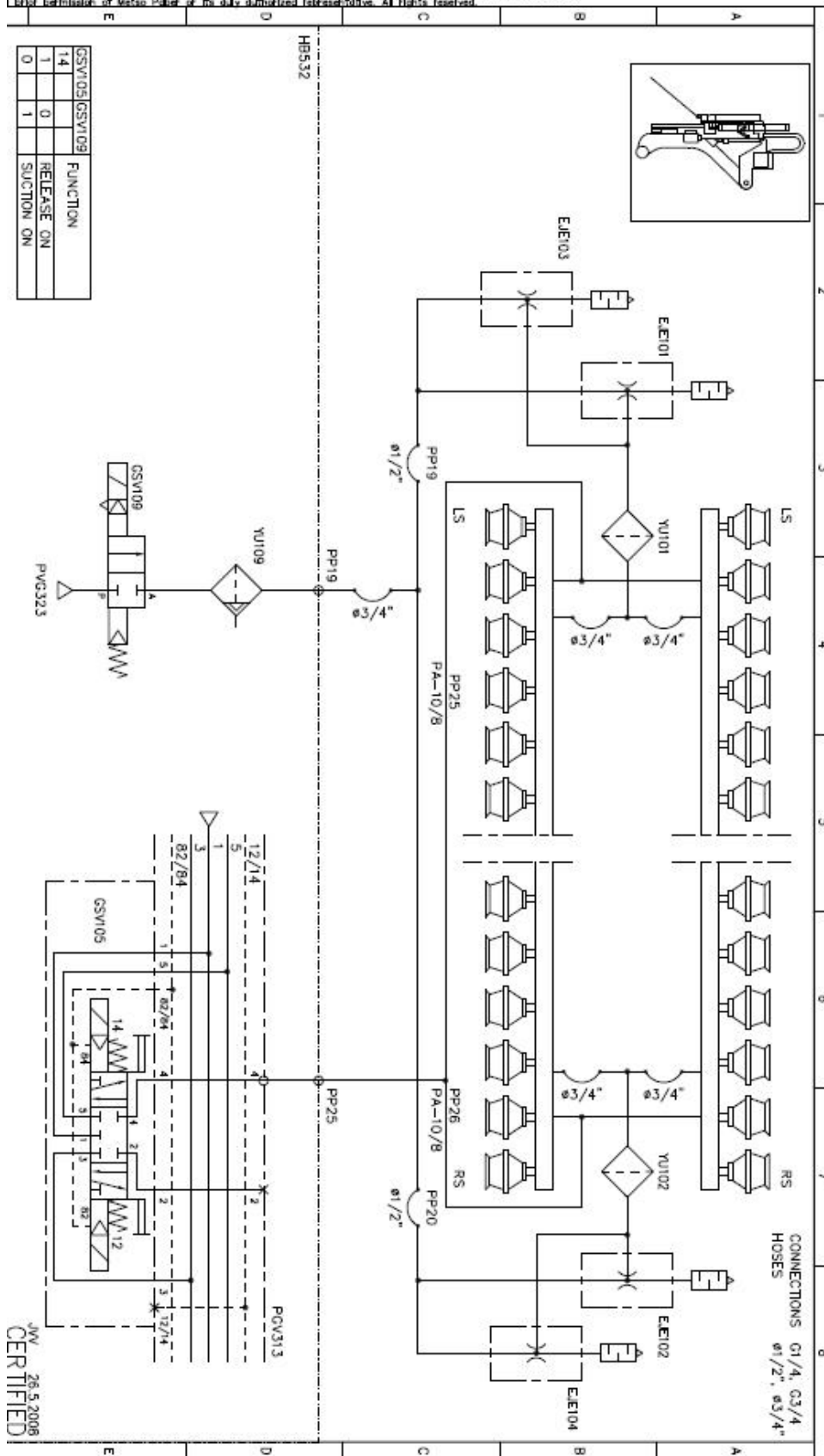


LIITE 4: Ohjaustelan ejektorikaavio



LIITE 5: Hylsynlaitattimen ejektorikaavio

herein is confidential and proprietary to Metso Paper and is not to be reproduced, disclosed to a third party, or for publication of Metso Paper or its duly authorized representatives. All rights reserved.



LIITE 6: Suutintestien mittaustulokset

Insinöörityössä viitataan Metson pyynnöstä suuttimiin seuraavasti:

3mm avoin putki = suutin 1
Metson suutin =suutin 2
4mm avoin putki = suutin 3
Silvent MJ4 = suutin 4
Silvent MJ6 = suutin 5
Exair Nano = suutin 6
Exair sääd. = suutin 7
Airtx sääd. = suutin 8
Silvent 921 laaka = suutin 9
Exair laaka 1* = suutin 10
Exair laaka 2* = suutin 11
Exair laaka 3* = suutin12
Exair laaka 4* = suutin 13
Alipaineimuri = suutin 14

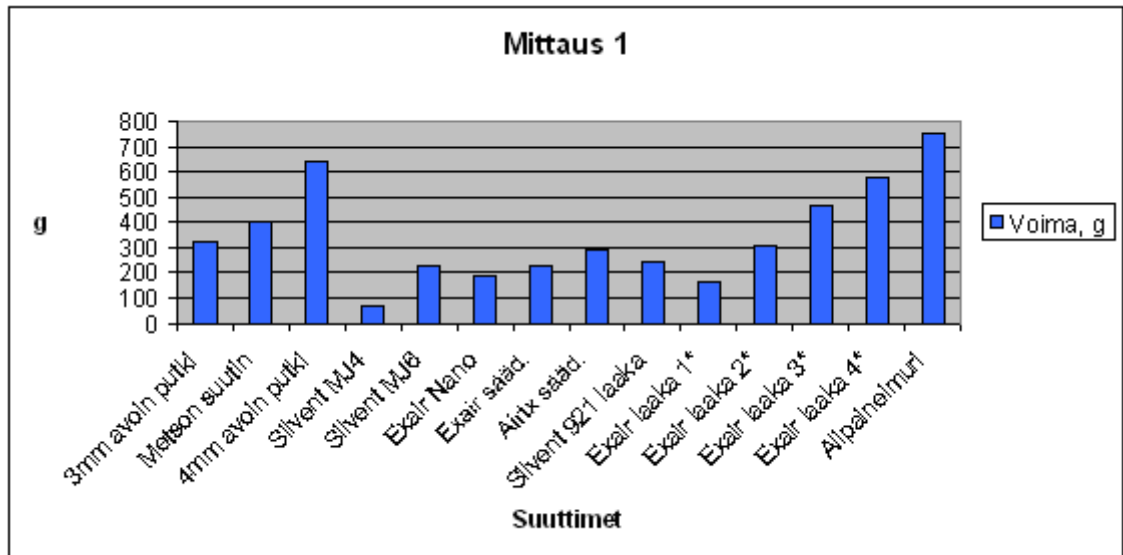
* 1 = 0,2 mm ilmarako, 2 = 0,3 mm, 3 = 0,5 mm, 4 = 0,6 mm

Mittaus 1

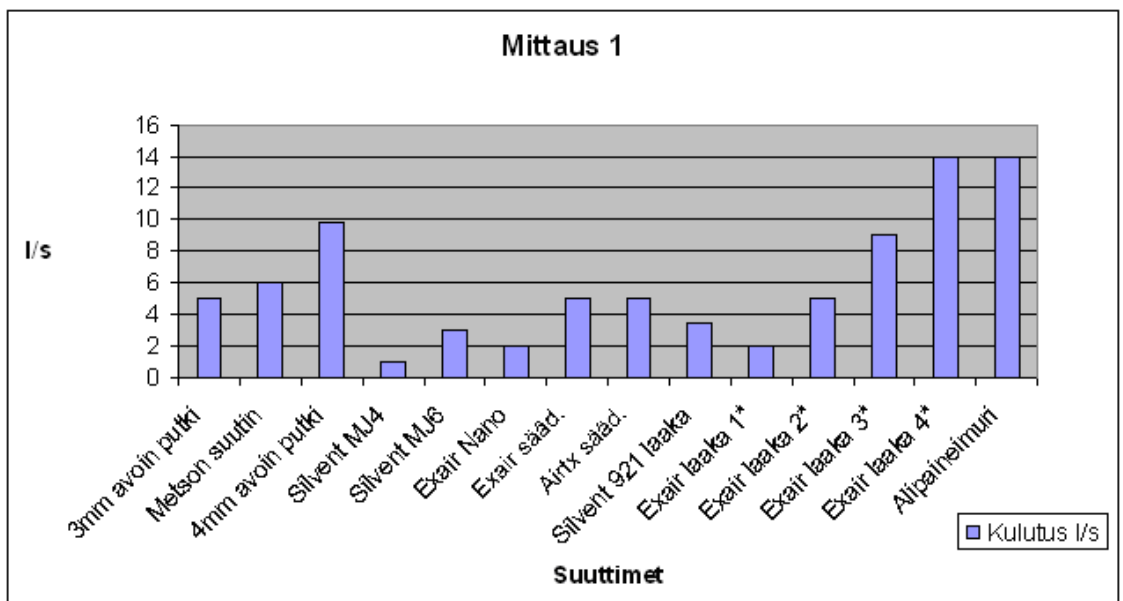
Taulukko 20. Mittaustulokset mittaus 1:stä

Suutin	Voima, g	Virtaus, l/s	Melu
3mm avoin putki	320	5	7
Metson suutin	400	6	9
4mm avoin putki	640	9,8	10
Silvent MJ4	70	1	2
Silvent MJ6	225	3	2
Exair Nano	190	2	1
Exair sääd.	230	5	5
Airtx sääd.	290	5	5
Silvent 921 laaka	240	3,5	2
Exair laaka 1*	160	2	1
Exair laaka 2*	310	5	1
Exair laaka 3*	470	9	4
Exair laaka 4*	580	14	6
Alipaineimuri	750	14	10

* 1 = 0,2 mm ilmarako, 2 = 0,3 mm, 3 = 0,5 mm, 4 = 0,6 mm



Kuva 21. Suuttinten työntövoimat 5 baarin vakiopaineessa.



Kuva 22. Ilmankulutus 5 baarin vakiopaineessa.

Tulosten tarkastelu

Taulukko 21. Voiman ja kulutuksen suhde

Suutin	Suhde
3mm avoin putki	64,0
Metson suutin	66,7
4mm avoin putki	64,0
Silvent MJ4	70,0
Silvent MJ6	75,0
Exair Nano	95,0
Exair sääd.	46,0
Airtx sääd.	58,0
Silvent 921 laaka	68,6
Exair laaka 1*	80,0
Exair laaka 2*	62,0
Exair laaka 3*	52,2
Exair laaka 4*	41,4
Alipaineimuri	53,6

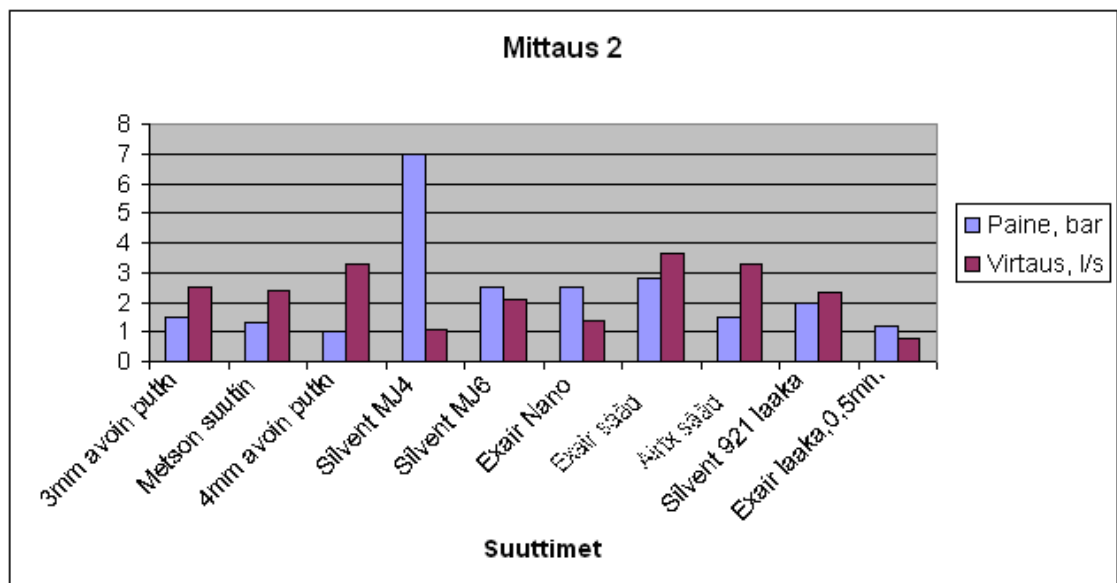
Taulukko 22. Uusien suuttimien muutos- % vanhaan verrattuna.

Suutin	Voiman muutos -%	Virtauksen muutos-%
Silvent MJ4	-82,5	-83,3
Silvent MJ6	-43,75	-50,0
Exair Nano	-52,5	-66,7
Exair sääd.	-42,5	-16,7
Airtx sääd.	-27,5	-16,7
Silvent 921 laaka	-40	-41,7
Exair laaka 1*	-60	-66,7
Exair laaka 2*	-22,5	-16,7
Exair laaka 3*	17,5	50,0
Exair laaka 4*	45	133,3
Alipaineimuri	87,5	133,3

Mittaus 2

Taulukko 23. Mittaustulokset mittaus 2:sta

Suutin	Paine, bar	Virtaus, l/s
3mm avoin putki	1,5	2,5
Metson suutin	1,3	2,4
4mm avoin putki	1	3,3
Silvent MJ4	7	1,06
Silvent MJ6	2,5	2,1
Exair Nano	2,5	1,4
Exair sääd.	2,8	3,65
Airtx sääd.	1,5	3,3
Silvent 921 laaka	2	2,31
Exair laaka,0,5mm	1,2	0,76



Kuva 23. Suutinten painevaatimukset ja ilmankulutus 100 g:n työntövoiman tuottoon

Tulosten tarkastelu

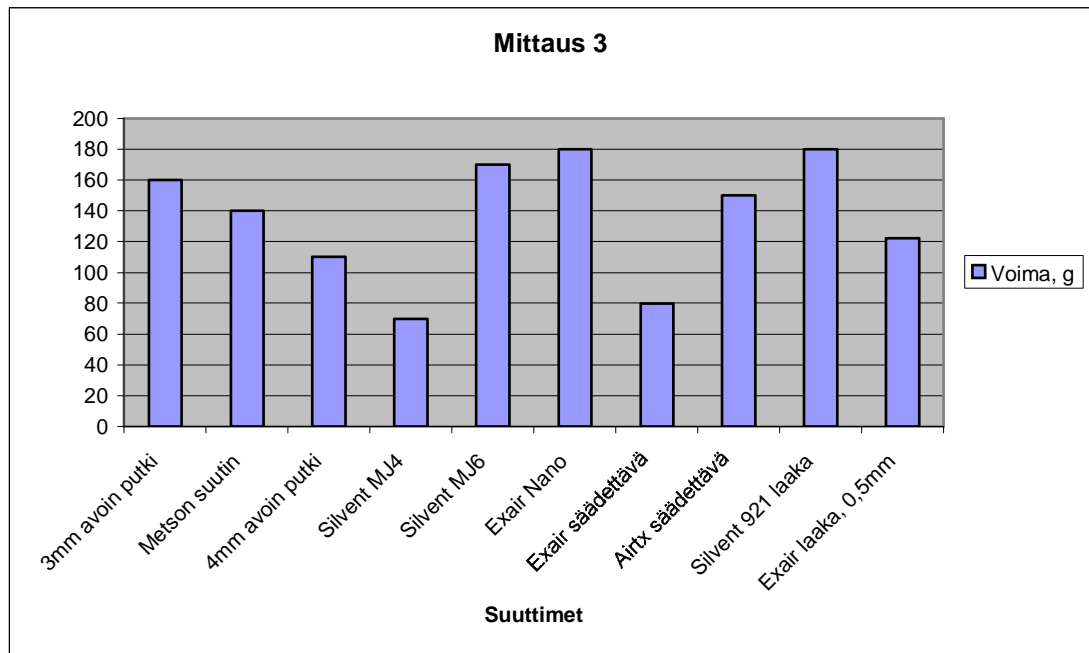
Taulukko 24. Uusien suuttimien muutos- % vanhaan verrattuna mittaus 2:ssa.

Suutin	Paineen muutos-%	Virtauksen muutos-%
Silvent MJ4	438,5	-83,3
Silvent MJ6	92,3	-50,0
Exair Nano	92,3	-66,7
Exair säädettävä	115,4	-16,7
Airtx säädettävä	15,4	-16,7
Silvent 921 laaka	53,8	-41,7
Exair laaka, 0,5mm	-7,7	-66,7

Mittaus 3

Taulukko 25. Mittaustulokset mittaus 3:sta

Suutin	Voima, g
3mm avoin putki	160
Metson suutin	140
4mm avoin putki	110
Silvent MJ4	70
Silvent MJ6	170
Exair Nano	180
Exair sääd.	80
Airtx sääd.	150
Silvent 921 laaka	180
Exair laaka,0,5mm	122



Kuva 24. Työntövoima vakiopaineella ja kulutuksella.

Mittaustulosten tarkastelu

Taulukko 26. Testattujen suuttimien työntövoiman muutos -%.

Suutin	Voiman muutos-%
Silvent MJ4	-50
Silvent MJ6	21,4
Exair Nano	28,6
Exair säädettävä	-42,9
Airtx säädettävä	7,1
Silvent 921 laaka	28,6
Exair laaka, 0,5mm	-12,9

LIITE 7: Virtausmittarien muunnostaulukot

Virtausmittari asteikolla 0-10 l/s:

Test Pressure bar	Correction Multiply By
2	0,66
4	0,85
6	1,00
8	1,13
10	1,25

Kuva25. Kulutusarvojen muunnostaulukko

Virtausmittari asteikolla 20-200 l/s:

CORRECTION FACTORS

To be applied where unit is used under conditions different from the calibration of 7 bar at 20°C

Pressure Correction Factor (f₁)

Actual Air Flow = Indicated Air Flow

$$f_1 \times f_2 \times f_3$$

OPERATING PRESSURE (BAR)

BAR	4	5	6	7	8	9	10
f ₁	1.264	1.154	1.069	1	0.943	0.894	0.854

$$f_1 = \frac{1}{1.013 + \frac{8.013}{\text{Operating Pressure (bar)}}}$$

Temperature Correction Factor (f₂)

$$f_2 = \sqrt{\frac{273 + \text{Operating temperature (°C)}}{293}}$$

OPERATING TEMPERATURE

°C	-40	-20	0	20	40	60	80
f ₂	0.894	0.927	0.964	1	1.034	1.068	1.095

Kuva26. Kulutusarvojen muunnostaulukko

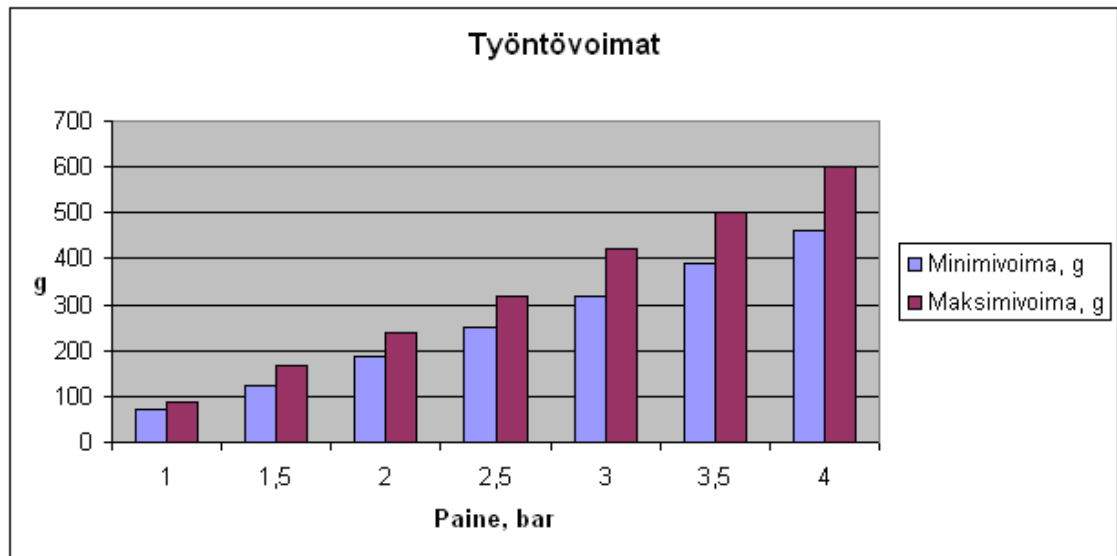
LIITE 8: Puhallusputkitestien mittaustulokset

Mittaus 1

1. Metson oma suutin

Taulukko 27. Mittaustulokset Metson suuttimella.

Paine bar	Virtaus l/s	Voima, g	
		min	max
1	5,0	70	86
1,5	10,1	125	168
2	13,5	185	240
2,5	17,2	250	320
3	21,2	320	423
3,5	26,3	390	500
4	31,6	460	600

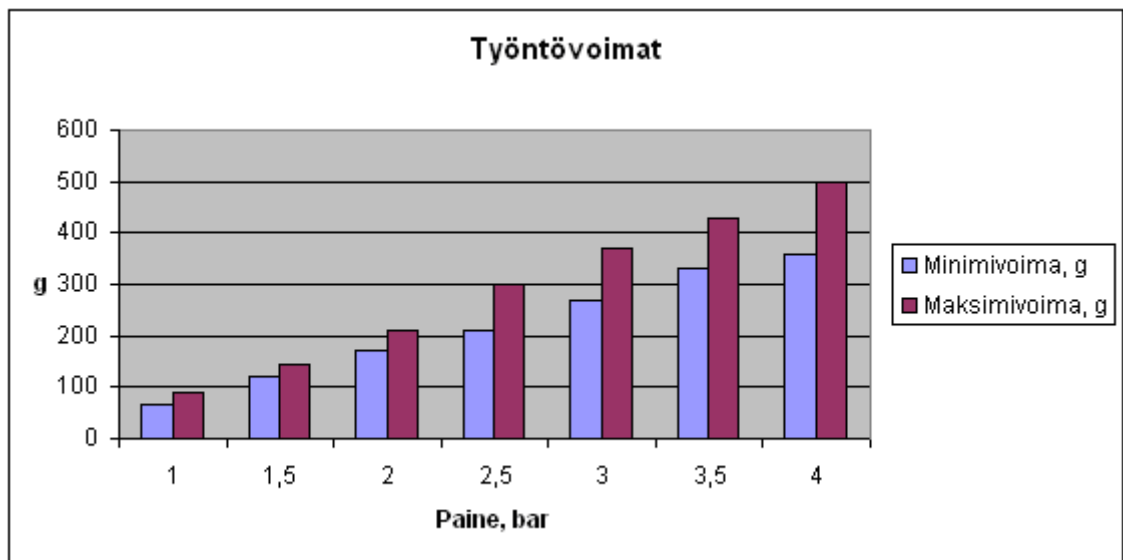


Kuva 27. Metson oman suuttimen työntövoiman kasvu paineen kasvaessa.

2. Silvent MJ6

Taulukko 28. Mittaustulokset Silvent MJ6 –suuttimella

Paine bar	Virtaus l/s	Voima, g	
		min	max
1	2,5	66	90
1,5	4,5	122	146
2	9,8	170	210
2,5	12,6	210	300
3	15,6	270	370
3,5	18,8	330	430
4	19,8	360	500

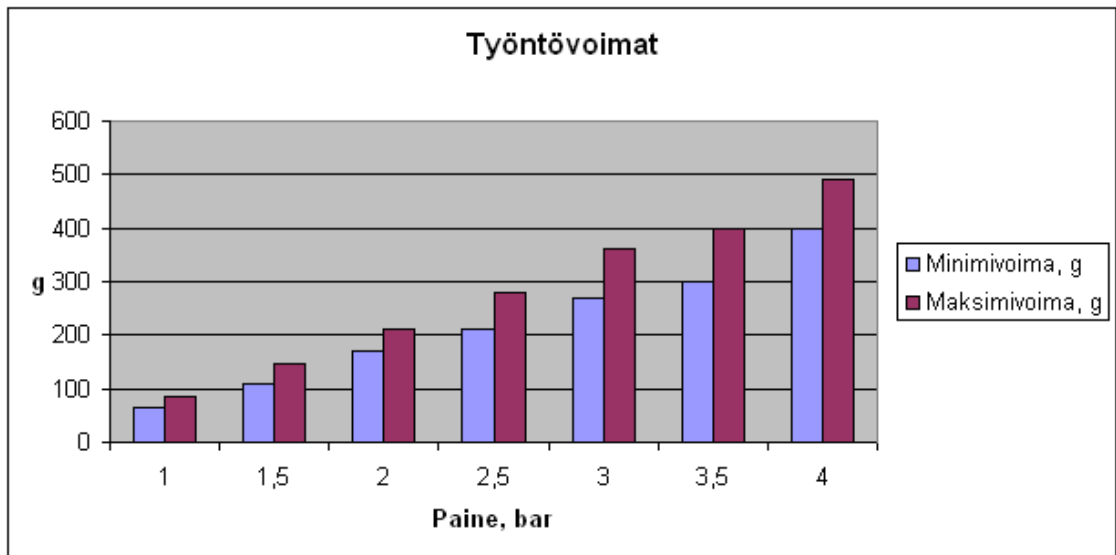


Kuva 28. Työntövoimat paineen kasvaessa.

3. Exair Nano

Taulukko 29. Mittaustulokset Exair Nano –suuttimella

Paine bar	Virtaus l/s	Voima, g	
		min	max
1	2,5	66	86
1,5	5,6	110	145
2	8,0	170	210
2,5	11,9	210	280
3	14,9	270	360
3,5	17,3	300	400
4	19,8	400	490

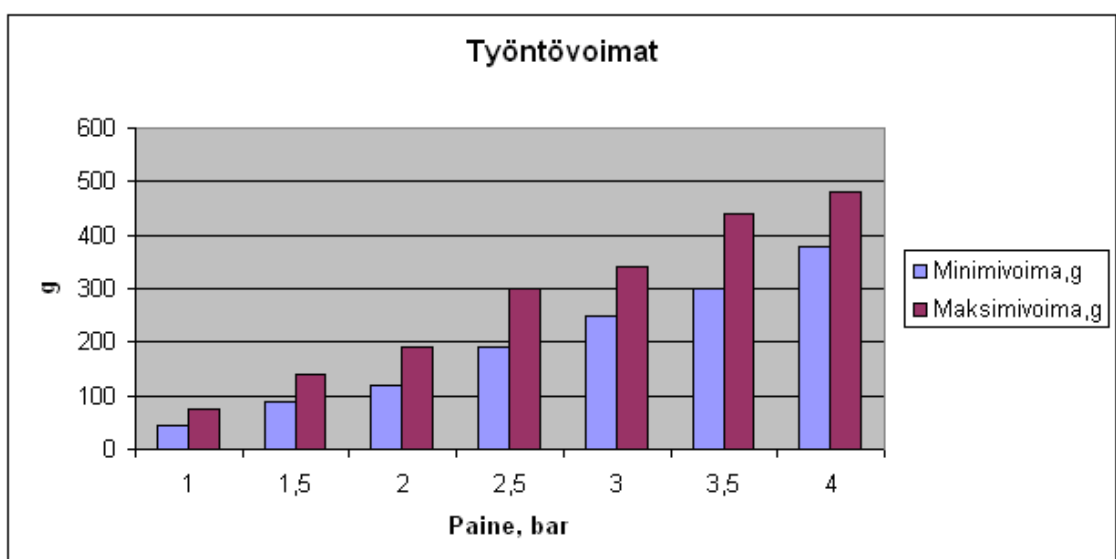


Kuva 29. Työntövoimat painen kasvaessa.

4. Airtx säädettävä suutin

Taulukko 30. Mittaustulokset Airtx säädettävällä suuttimella

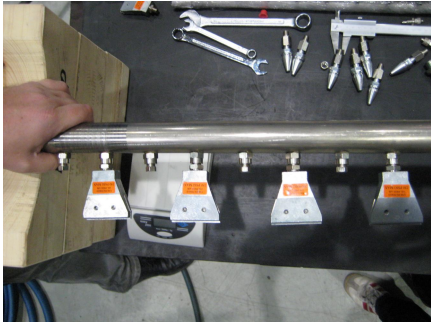
Paine bar	Virtaus l/s	Voima, g	
		min	max
1	5,0	45	75
1,5	11,2	90	140
2	15,3	120	190
2,5	18,5	190	300
3	22,6	250	340
3,5	27,8	300	440
4	30,1	380	480



Kuva 30. Työntövoimat paineen kasvaessa.

5. Exair-laakasuutin

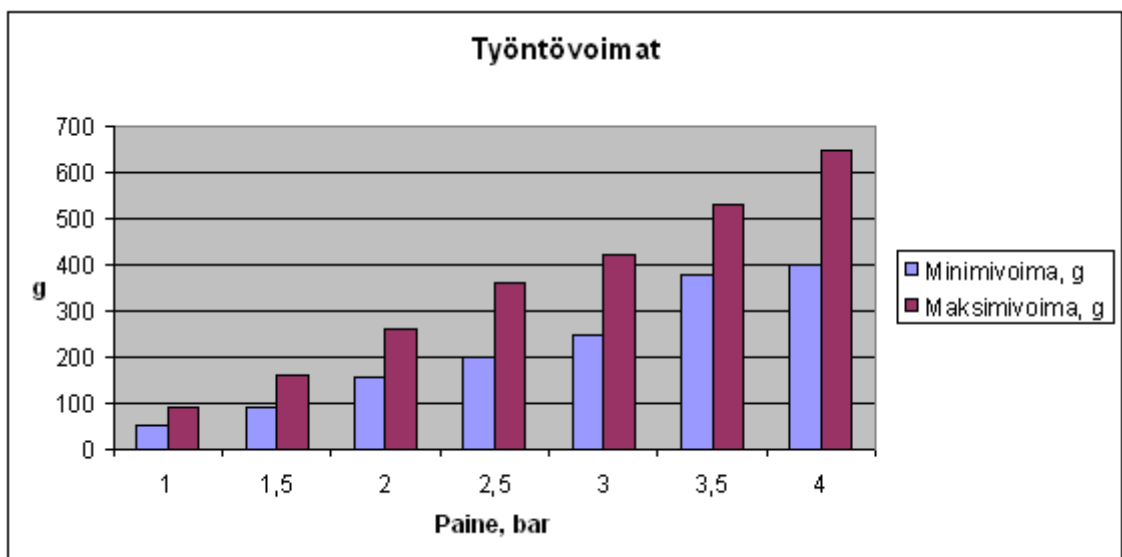
Exair laakasuuttimia tarvittiin vain neljä kappaletta laajemmalle ulottuvan puhalluksen takia.



Kuva 31. Laakasuuttimet

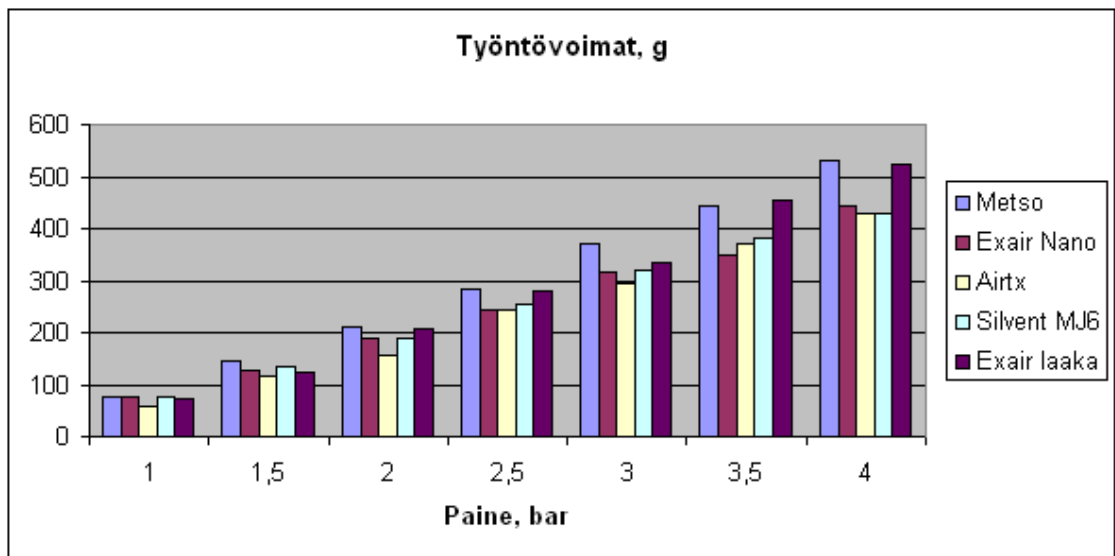
Taulukko 31. Mittaustulokset Exair-laakasuuttimella

Paine bar	Virtaus l/s	Voima, g	
		min	max
1	2,5	50	92
1,5	5,6	90	160
2	12,3	155	260
2,5	15,2	200	360
3	19,1	250	420
3,5	22,5	380	530
4	25,3	400	650

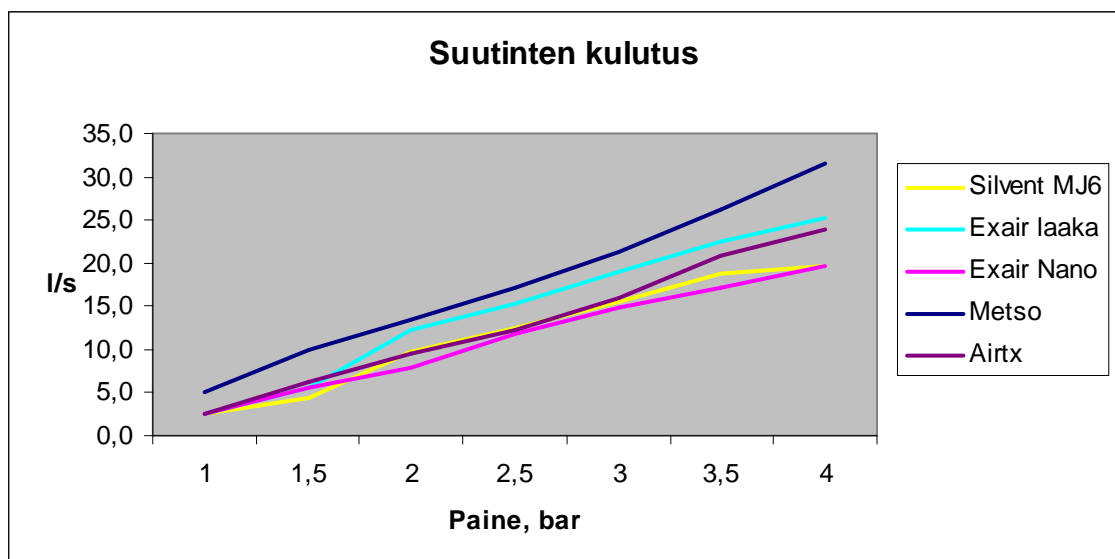


Kuva 32. Työntövoimat paineen kasvaessa

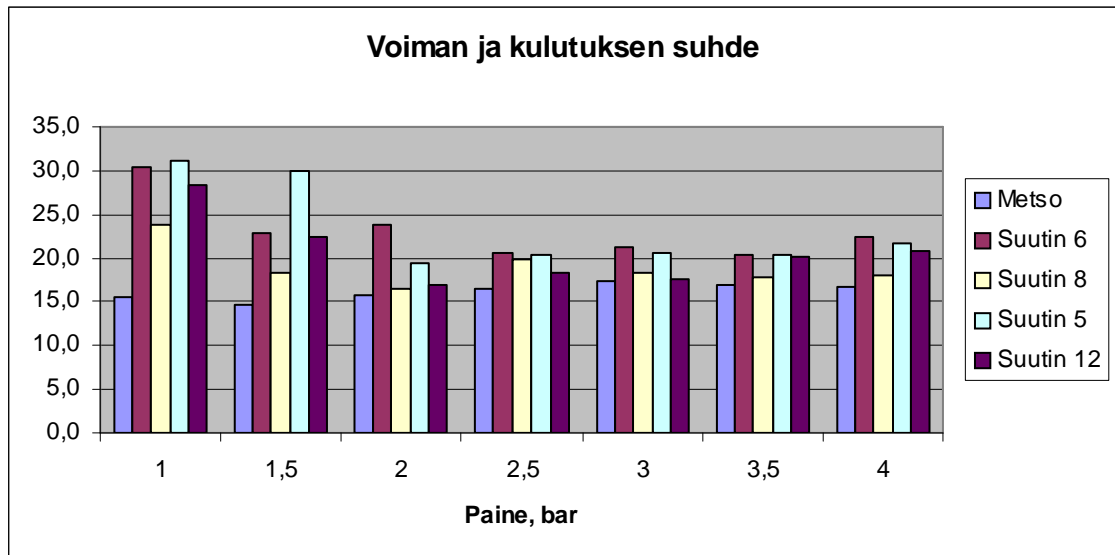
Mittaustulosten tarkastelu



Kuva 33. Kaikkien suutinten työntövoimat keskiarvoina ja toisiinsa verrattuina.



Kuva 34. Suutinten kulutus, puhallusputkimittaus 1.



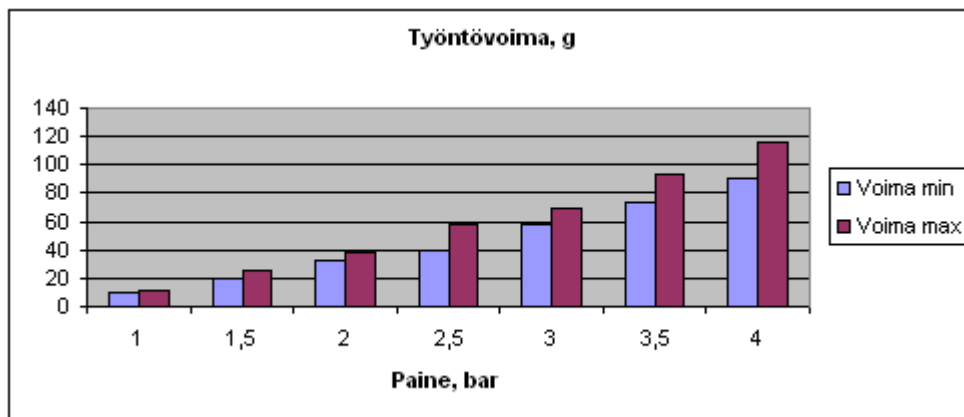
Kuva 35. Voiman ja kulutuksen suhde

Mittaus 2: Päänvientipuhallusputki, suuttimia 20 kpl.

1. Metson oma päänvientipuhallusputki

Taulukko 32. Metson päänvientipuhallusputken mittaustulokset

Paine bar	Virtaus l/s	Voima	
		min	max
1	5,0	10	12
1,5	12,9	20	26
2	19,6	32	38
2,5	23,2	40	58
3	26,9	58	70
3,5	30,0	73	94
4	34,0	90	116

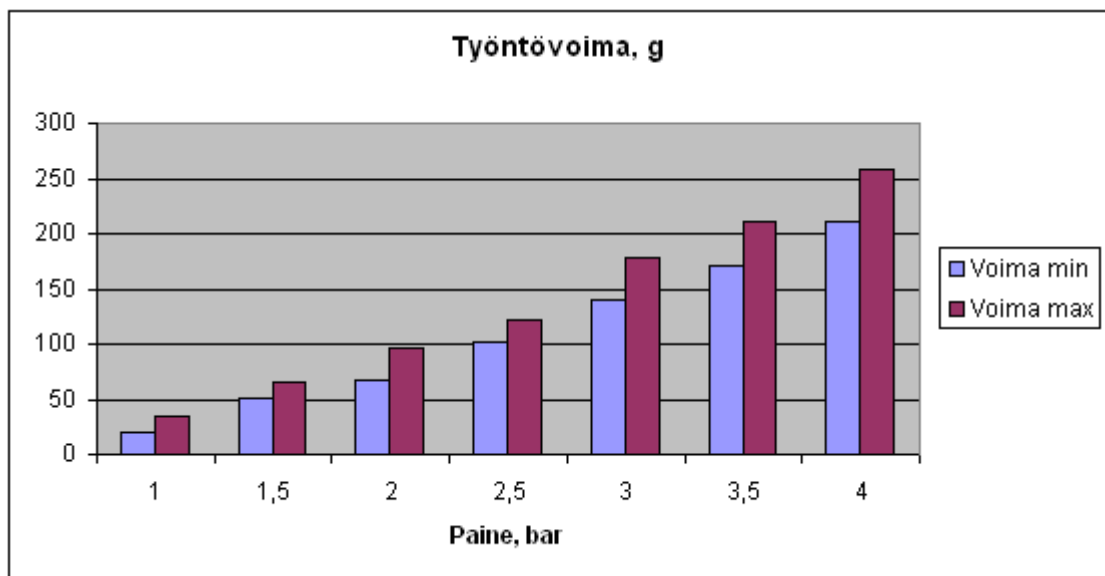


Kuva 36. Työntövoima paineen kasvaessa.

2. 20 kappaletta Exair Nano –suuttimia puhallusputkessa

Taulukko 33. Mittaustulokset Exair Nano –suuttimilla

Paine bar	Virtaus l/s	Voima	
		min	max
1	7,5	20	34
1,5	10,1	50	66
2	15,3	68	96
2,5	21,2	102	122
3	24,1	140	178
3,5	27,8	170	210
4	32,4	210	258



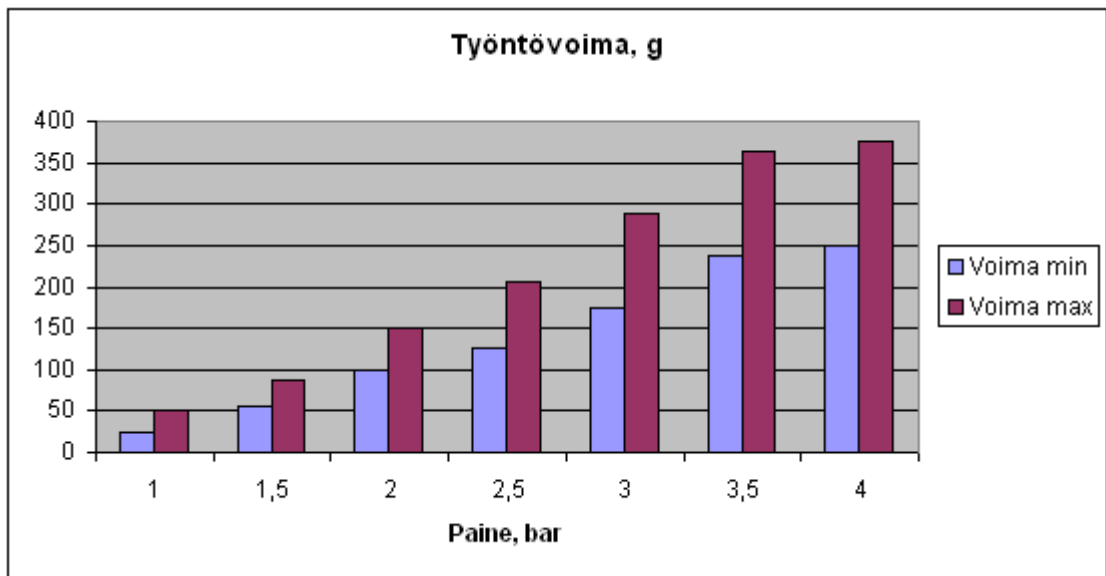
Kuva 37. Työntövoima paineen kasvaessa

3. 8 kappaletta Exair laakasuuttimia puhallusputkessa

Laakasuuttimia olisi tarvittu 10 kappaletta 1100 mm:n putken mitalle niiden laajemman puhalluksen ansioista, joten kahdeksalla suuttimella tehdyt mittaustulokset kerrottiin 10/8 :lla. Näin saadaan vertailukelpoiset tulokset muihin testeihin.

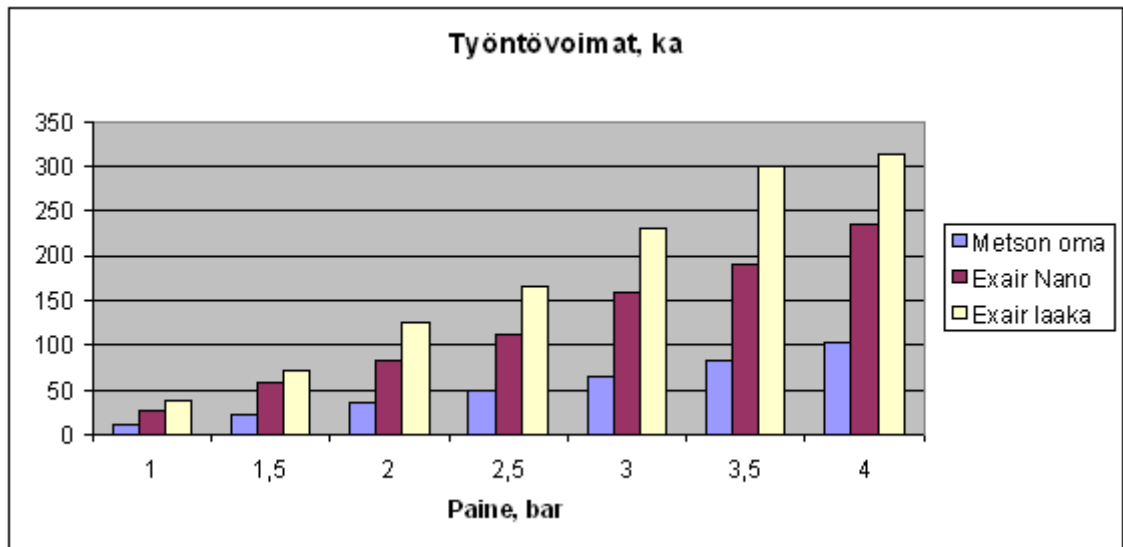
Taulukko 34. Mittaustulokset Exair laakasuuttimilla

Paine bar	Virtaus l/s	Voima	
		min	max
1	6,3	25	50
1,5	15,4	56,25	87,5
2	19,9	100	150
2,5	24,8	125	206,25
3	31,0	175	287,5
3,5	34,7	237,5	362,5
4	41,5	250	375

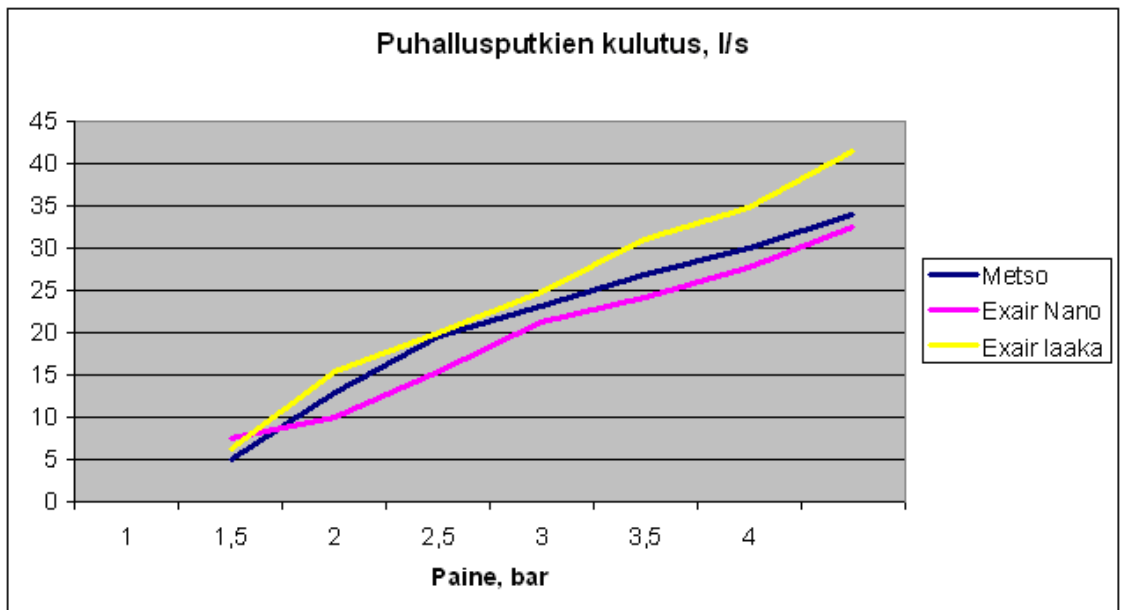


Kuva 38. Työntövoimat paineen kasvaessa.

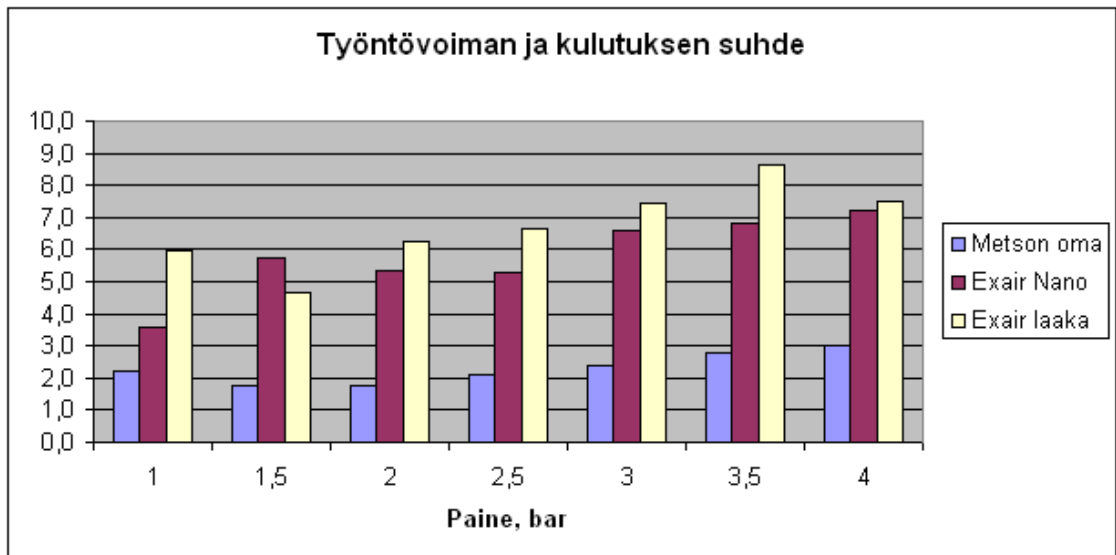
Mittaustulosten tarkastelu



Kuva 39. Työntövoimien keskiarvot toisiinsa verrattuna



Kuva 40. Puhallusputkien kulutus



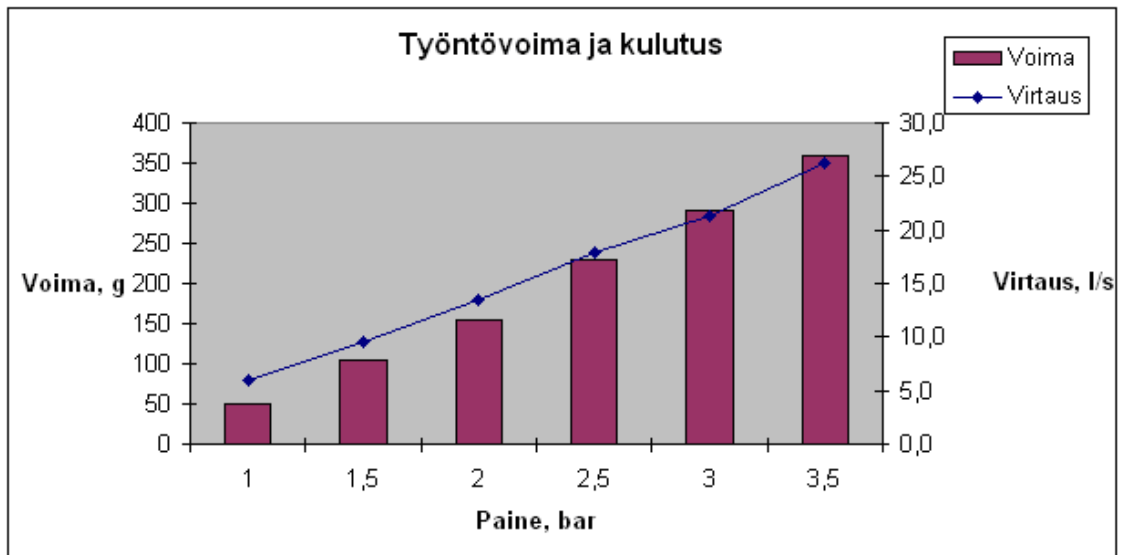
Kuva 41. Työntövoiman ja kulutuksen suhde paineasteittain.

Mittaus 3: Reunanauhatorvenpuhallus

1. Metson oma reunanauhatorven puhallusputki

Taulukko 35. Mittaustulokset

Paine bar	Virtaus l/s	Voima g
1	2,5	50
1,5	5,6	105
2	9,2	155
2,5	11,9	230
3	14,9	290
3,5	21,0	360

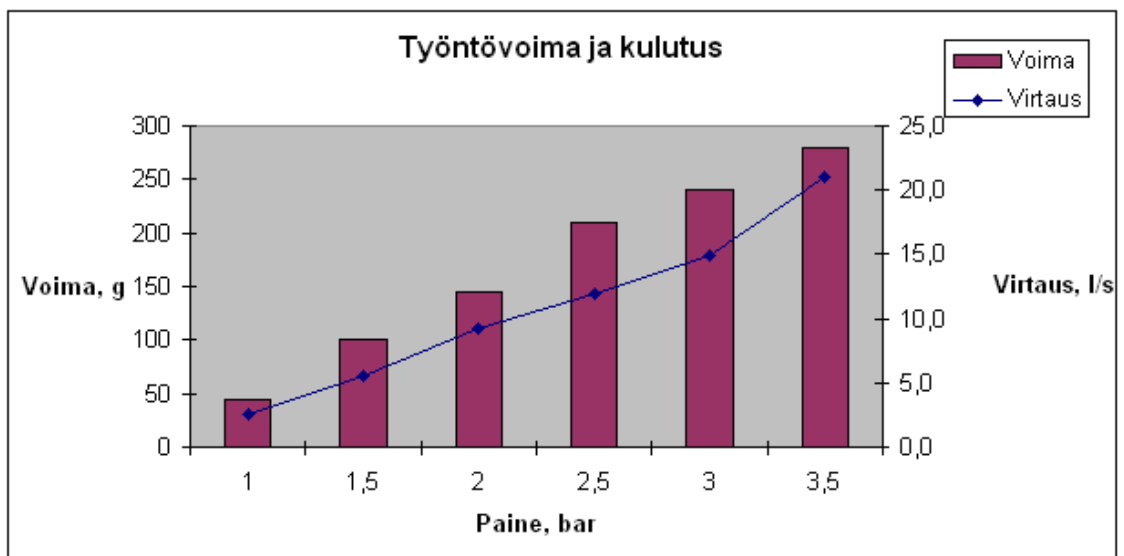


Kuva 42. Reunanauhatorven puhallusputken kulutus ja työntövoima paineen kasvaessa.

2. Reunanauhatorven puhallusputki Exair Nano –suuttimilla

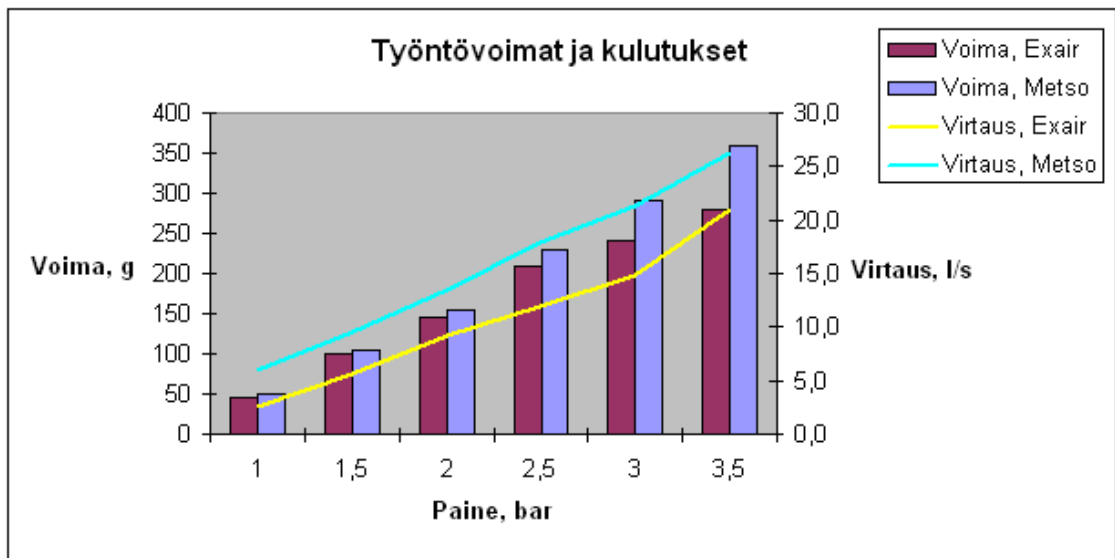
Taulukko 36. Mittaustulokset

Paine bar	Virtaus l/s	Voima g
1	6,0	45
1,5	9,5	100
2	13,5	145
2,5	17,9	210
3	21,2	240
3,5	26,3	280

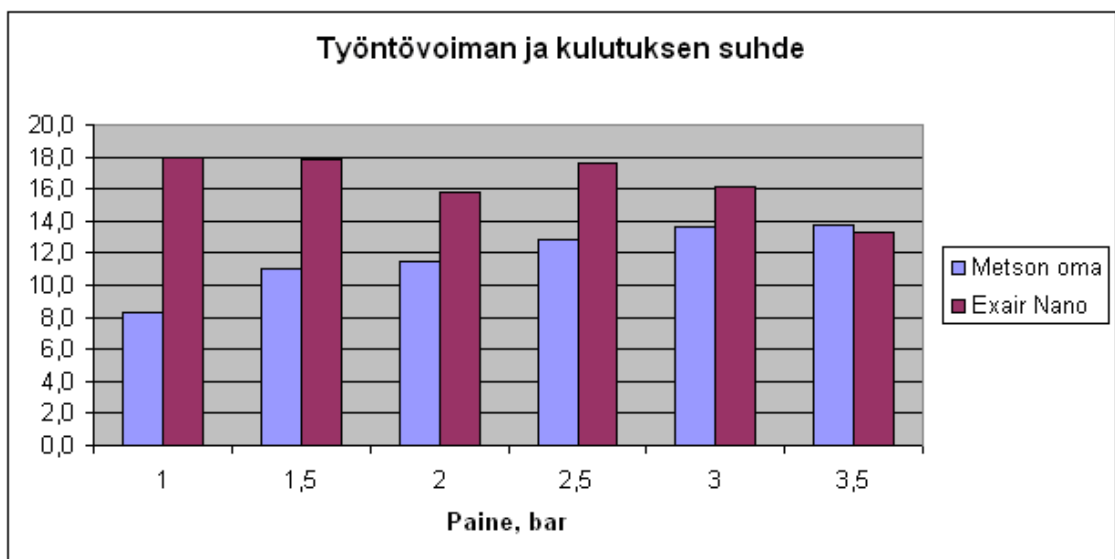


Kuva 43. Exair Nano –suuttimien kulutus ja työntövoima paineen kasvaessa.

Mittaustulosten tarkastelu



Kuva 44. Alkuperäisen puhallusputken ja suuttimilla varustetun puhallusputken ero.



Kuva 45. Työntövoiman ja kulutuksen suhde, mittaus 3.