

Harri Kinnunen

Bioliuotuskasojen ilmastupuhaltimien vertailu

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kevät 2014



Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä(t) Harri Kinnunen	
Työn nimi Bioliuotuskasojen ilmastuspuhaltimien vertailu	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Tietokoneavusteinen tuotanto ja kunnossapito	Ohjaaja(t) Eero Pikkarainen Toimeksiantaja Talvivaara Sotkamo Oy
Aika Kevät 2014	Sivumäärä ja liitteet 38+10
<p>Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj on jatkuvasti kasvava perusmetalleja tuottava yritys, joka on perustettu vuonna 2004. Yrityksen tärkeimpiä lopputuotteita ovat sulfidiset nikkeli ja sinkki. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Espoossa, ja varsinainen kaivos sijaitsee Sotkamossa. Tällä hetkellä yhtiö työllistää n. 550 henkilöä.</p> <p>Metallien irrottaminen malmista tapahtuu bioliuotusprosessin avulla. Suuriin aumoihin kasattua malmimurskettä kastellaan happamalla liuksella. Malmista luonnostaan elävä bakteeri irrottaa metallit, jotka liukenevat kasteliukseen. Bakteerien toimintaa tehostetaan säätämällä liuoksen pH sopivan alhaiseksi sekä puhaltamalla ilmaa malmikasioihin.</p> <p>Tässä insinööriyössä vertailtiin mittaustulosten pohjalta tehtyjen laskelmien perusteella bioliuotusprosessissa käytettävää kolmea erilaista teollisuuspuhallinta keskenään. Jokaista puhallinmallia on kolme kappaletta, joten vertailu koostuu kaikkiaan yhdeksästä puhaltimesta. Mitatut ominaisuudet olivat ilman tilavuusvirta, sähkövirta ja ilmanpaine. Mittausten perusteella puhaltimille laskettiin tunnusluvut sekä niiden käyrät piirrettiin kaavioihin. Lisäksi käyrien korrelointi eli yhtenevyyskerroin laskettiin. Työn tavoitteena oli tutkia ja selvittää puhaltimien ominaisuuksia sekä niiden keskinäisiä eroavaisuuksia. Lisäksi perehdytään puhallintekniikan perusteisiin sekä muutamien puhaltimissa ilmeneviin käytännön ongelmiin.</p> <p>Työn tuloksen perusteella puhaltimia on hankala laittaa tiettyyn paremmuusjärjestykseen kokonaisuutta tarkistellen, mutta paras ja huonoin puhallin voidaan nimetä. Puhaltimien paremmuutta vertailtaessa on mielekkäämpi tarkastella osa-alueittain yhtä arvoa kerrallaan.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Teollisuuspuhallin, biokasaliuotus, vertailu
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto



School School of Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author(s) Harri Kinnunen	
Title Comparison of Bio-Heap Leaching Air Blowers	
Optional Professional Studies Computer Aided Production and Maintenance	Instructor(s) Eero Pikkarainen
	Commissioned by Talvivaara Sotkamo Oy
Date Spring 2014	Total Number of Pages and Appendices 38+10
<p>Talvivaara Mining Company Plc is a continually growing company, founded in 2004. The company produces basic metals and the most important final products are nickel sulphite and zinc sulphite. The company's headquarters is located in Espoo, Finland and the actual mine in Sotkamo, Finland. At the moment the company employs about 550 people.</p> <p>Metals are separated from ore by using the bio-heap leaching technology. The crushed ore is stacked into big heaps, which are drenched with acid solution. The ore contains natural bacteria which separate metals from the ore. The metals are being leached into the solution. The bacteria activity is boosted by using two methods: by regulating the pH value of the solution for appropriately low and blowing air into the heaps.</p> <p>This Bachelor's thesis compares three different industrial air blowers used in the bio-heap leaching process. The comparison is based on the measurement calculations made with the air blowers, three of each type, nine in all. The measured features were volume of air flow, current and air pressure. Based on the measurements, key ratios of the blowers were calculated and their curves were drawn into diagrams. Also, correlations of the curves were calculated. The aim of the thesis was to investigate features and differences between the blowers. Also basics of air blower techniques and some practical problems are included.</p> <p>As a result of the thesis, the air blowers are hard to rank in any definite order when considering all their specifications, however, the best and the worst one can be chosen. A more meaningful way to find out their superiority is by taking into account single values at a time.</p>	
Language of Thesis	English
Keywords	Industrial air blower, bio-heap leaching, comparison
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö sai alkunsa kesällä 2011 ollessani kesätyössä Talvivaarassa bioliuotus ja vesienhallinta -osastolla. Työnjohtajan ominaisuudessa työnkuvaani kuului lukuisia erilaisia tehtäviä, kuten myös sekundääriliuotusalueen ilmastuspuhaltimien seuranta ja toiminnasta vastaaminen. Työn sisältö liittyy muiden puhaltimien lisäksi myös kyseisiin puhaltimiin.

Haluan kiittää työn aiheen löytymisestä Talvivaaran henkilökuntaa, varsinkin Pekka Moilasta, Pauliina Saarta ja Janne Tuomaa. Suuret kiitokset myös Janne Honkalalle, Vilho Shnorolle ja Eine Pölläselle, jotka olivat mukana avustamassa työn suunnittelua. Kajaanin ammattikorkeakoulun puolelta haluan kiittää työni valvojaa Eero Pikkaraista. Lisäksi haluan osoittaa suuret kiitokset kotiväelle tuesta ja kärsivällisyydestä.

Kajaanissa 18.4.2013

Harri Kinnunen

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
2 ILMAN OMINAISUUDET	2
2.1 Koostumus	2
2.2 Fysikaaliset ominaisuudet	2
3 PUHALLINTEKNIIKAN PERUSTEET	4
3.1 Yleistä	4
3.2 Keskipakoispuhaltimen rakenne	4
3.3 Keskipakoispuhaltimen käyttötavat	4
3.4 Ilmavirran tuottaminen	5
3.5 Siipipyörätyyppien ominaisuudet	6
3.6 Suunta- ja sijaintimääritelmiä	9
3.7 Puhaltimen säätäminen	10
3.8 Tärinä ja sen vaimentaminen	11
3.9 Melu ja sen vaimentaminen	12
4 MATEMAATTISTEN KÄSITTEIDEN TARKASTELO	13
4.1 Yleistä	13
4.2 Korrelaatio	13
4.3 Keskiarvo	14
4.4 Keskihajonta	15
4.5 Itseisarvo	15
5 TALVIVAARAN PUHALLINLAITTEISTO	16
5.1 Yleistä	16
5.2 Fläkt Woodsin puhaltimet	18
5.2.1 Primääriliuotuksen puhaltimet	18
5.2.2 Sekundääriliuotuksen puhaltimet	19
5.3 Kojan puhaltimet	20
6 PUHALTIMIEN VERTAILU	21
6.1 Yleistä	21
6.2 Fläkt Woods HAWK-3-47/1155	22

6.2.1 Kasan 1 puhallin 4	22
6.2.2 Kasan 3 puhallin 1	24
6.2.3 Kasan 3 puhallin 4	25
6.3 Fläkt Woods HAWK-56/1346	26
6.3.1 Kasan 1 puhallin 5	26
6.3.2 Kasan 1 puhallin 7	28
6.3.3 Kasan 1 puhallin 9	29
6.4 Koja ESKB-50-7	30
6.4.1 Kasan 1 puhallin 5	30
6.4.2 Kasan 3 puhallin 5	32
6.4.3 Kasan 4 puhallin 8	33
6.5 Tulosten tarkastelu	34
7 KÄYTÄNNÖN ONGELMIA	36
8 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Muutamassa vuodessa on Sotkamon syrjäseuduille noussut Euroopan suurin nikkeli-kaivos, Talvivaara Sotkamo Oy, joka on Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj:n tytäryhtiö. Yhtiöiden työllistävä vaikutus yhteensä on n. 550 henkilöä, josta n. 20 on Espoon pääkonttorissa. Kaivoksen tärkein tuote on sulfidinen nikkeli, jonka lisäksi toinen tuote on sulfidinen sinkki. Sulfidit kuljetetaan jatkojalostukseen Norilsk Nickel Harjavalta Oy:lle, joka jalostaa sulfidit metalleiksi. Talvivaaran kokonaismineraalivarannot olivat vuonna 2012 n. 2050 miljoonaa tonnia.[1],[2.]

Talvivaarassa metallit erotetaan malmista bioliuotusprosessin avulla. Malmikasoja kastellaan happamalla liuoksella, jolloin malmista luonnostaan elävät bakteerit irrottavat metallit kivesistä. Liuotusprosessissa on olennaista tehostaa bakteerien toimintaa puhaltamalla ilmaa malmikasoisiin.

Kaivoksella on käytössä kolmea erilaista puhallinta, joista yksi on Kojan valmistama ja kaksi erikokoista Fläkt Woodsin puhallinta. Kaikki puhallimet ovat toimintatyyppiltään keskipaikoispuhaltimia, joita työn sisältö enimmäkseen käsittelee, sivuuttaen muun, varsin laajan puhallintekniikan aihepiirin. Puhallinten ominaisuuksissa, kuten tilavuusvirran suhteessa kasan vastapaineeseen sekä energiankulutuksessa on luonnollisesti eroavaisuuksia.

Ollessani töissä Talvivaarassa seurasimme puhallinten toimintaa viikoittain mittaamalla niiden tilavuusvirran sekä vastapaineen. Lisäksi kirjassimme mittaushetkellä puhaltimien käyntitaajuuden sekä käytettävän sähkövirran määrän, jotka näkyivät toimiston tietokoneella. Koneelta pystyi katsomaan myös puhallinten tärinöitä, laakereiden ja käämien lämpötiloja sekä voiteluöljyn lämpötilan ja paineen.

Tämän insinöörityön tavoitteena oli vertailla puhaltimia ja tutkia niiden eroavaisuuksia tilavuusvirran, paineen ja sähkövirran mittausten perusteella tehdyillä laskelmilla. Tarkoituksena ei ole ollut laskea puhaltimille ominaisarvoja, vaan kyseessä on vertailu, joten laskelmat on tehty vertailun kannalta mahdollisimman helposti ymmärrettäviksi.

Tarkoitukseni oli löytää insinöörityön aihe, josta olisi mahdollisimman paljon hyötyä Talvivaaralle. Mielestäni oli myös erittäin tärkeää, että aihe liittyy oman osastoni bioliuotus ja vesienhallinta toimintaan.

2 ILMAN OMINAISUUDET

2.1 Koostumus

Ympäriämme oleva ilma koostuu pääasiassa kahdesta kaasusta, typestä ja hapesta, jotka muodostavat yhteensä yli 98 % maapallon ilmakehästä. Lisäksi ilmassa on pieniä määriä muita kaasuja, kuten argonia ja hiilidioksidia. Kaasujen lisäksi ilma sisältää olosuhteista riippuen 0-3 painoprosenttia vesihöyryä, jolla on oleellinen merkitys mm. ilmastointitekniikassa.[3.] Taulukossa 1 on esitetty ilman koostumus.

Taulukko 1. Ilman koostumus.[3.]

Kaasu	Kaava	Paino-%	Tilavuus-%
Happi	O ₂	23,01	20,93
Typpi	N ₂	75,51	78,10
Argon	Ar	1,286	0,9325
Hiilidioksidi	CO ₂	0,04	0,03
Vety	H ₂	0,001	0,01
Neon	Ne	0,0012	0,0018
Helium	He	0,00007	0,0005
Krypton	Kr	0,0003	0,0001
Xenon	Xe	0,00004	0,000009

2.2 Fysikaaliset ominaisuudet

Puhallintekniikan kannalta merkittävimpiä ilman ominaisuuksia ovat tiheys ja paine. Ilman standarditiheytenä pidetään yleisesti arvoa 1,20 kg/m³. Kyseinen arvo vastaa olosuhteita, joissa ilman lämpötila $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ilmanpaine $p_a = 1013\text{ mbar}$ ja suhteellinen kosteus $\varphi = 50\%$. Yllä oleva ilmanpaine on ns. normaalipaine, joka vallitsee merenpinnan tasolla. Korkeuden kasvaessa merenpinnasta ilmanpaine pienenee, kuten yleensä myös lämpötila. Muita ilman ominaisuuksia ovat ominaislämpökapasiteetti C_p , lämmönjohtavuus λ ja kinemaattinen viskositeetti ν . [3.] Taulukossa 2 on esitetty kuivan ilman ominaisuuksia lämpötilan funktiona, normaali-ilmanpaineessa.

Taulukko 2. Kuivan ilman ominaisuuksia lämpötilan funktiona.[3.]

Ilmanpaine = 1013 mbar

Lämpötila t °C	Tiheys kg/m ³	Ominais- lämpö c_p kJ/kgK	Lämmön- johta- vuus λ W/mK	Kinemaat- tinen vis- kositeetti $\nu \cdot 10^6$ m ² /s
- 50	1,534	1,005	0,0203	9,55
- 40	1,516	1,005	0,0211	10,20
- 30	1,453	1,005	0,0220	10,90
- 20	1,395	1,005	0,0228	11,70
- 10	1,3423	1,005	0,0235	12,50
0	1,2930	1,005	0,0243	13,30
10	1,2471	1,0055	0,0250	14,20
20	1,2045	1,006	0,0257	15,11
30	1,1647	1,0065	0,0264	16,05
40	1,1267	1,007	0,0271	16,97
50	1,0924	1,008	0,0278	17,80
60	1,0595	1,009	0,0285	18,90
70	1,0287	1,0095	0,0291	19,80
80	0,9998	1,010	0,0299	20,94
90	0,9719	1,011	0,0307	22,10
100	0,9458	1,012	0,0314	23,06

3 PUHALLINTEKNIIKAN PERUSTEET

3.1 Yleistä

Virtaavaa ilmaa tarvitsevia sovelluksia ja prosesseja on runsaasti jokapäiväisessä ympäristössä. Käytämme liikkuvaa ilmamassaa hyväksemme mm. teollisissa prosesseissa, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmissä ja lääketieteellisissä sovelluksissa. Kotonamme hyviä esimerkkejä ovat mm. tietokoneiden tuulettimet, pölynimurit sekä autojen jäähdyttimet ja puhaltimet.

3.2 Keskipakoispuhaltimen rakenne

Tyypillinen keskipakoispuhallin koostuu neljästä pääkomponentista: jalustasta, moottorista, voimansiirrosta ja siipipyörästä suojarakenteineen. On olemassa myös puhaltimia, joissa ei ole voimansiirtoa ollenkaan, vaan siipipyörä on kiinnitetty suoraan moottorin akseliin. Tässä tapauksessa vain moottorin alapuolella tarvitaan jalustaa.[3.]

Puhallin kiinnitetään yleensä tukevaan betoniseen jalustaan, jonka päällä puhallinlaitteisto lepää stabiilisti. Jalustan ja lattian väliin voi tarpeen vaatiessa laittaa tärinänvaimentimia. Moottori sijoittuu jalustalla joko siipipyörän viereen tai vastakkaiseen pätyyn, puhaltimen ja jalustan rakenteesta riippuen. Voimansiirto on tyypistä riippuen joko siipipyörän ja moottorin välissä tai siipipyörän vastakkaisessa päädyssä. Suojarakenteita tarvitaan siipipyörän ja voimansiirron ympärillä turvallisuussyistä. Siipipyörän suojakaapuun on liitetty samalla imu- ja paineaukot ilmavirtauksia varten.[3.] Liitteessä 1 on esitetty keskipakoispuhaltimen rakenteosien nimityksiä.

3.3 Keskipakoispuhaltimen käyttötavat

Puhaltimen voimansiirto voidaan toteuttaa useammalla eri tavalla. Näitä tapoja sanotaan käyttötavoiksi. Normaaleja käyttötapoja on neljä erilaista: siipipyörä moottorin akselilla, kytkinkäyttö, kiilahihnakäyttö ja käyttö välivaihteen välityksellä.

Siipipyörän ollessa suoraan moottorin akselilla käytetään korkeintaan 50 kW:n moottoria. Voimansiirtoa ei ole periaatteessa ollenkaan, jolloin myös voimansiirtohäviöt jäävät kokonaan pois. Näin ollen myös puhaltimen huoltotarve on vähäinen, sillä vain moottoria tarvitsee huoltaa. Siipipyörän pyörintänopeus on sama kuin moottorilla, mikä voi rajoittaa sopivan puhaltimen valintaa; tosin asian voi korjata kytkemällä moottoriin taajuusmuuttajan. Puhallettavan kaasun maksimilämpötila voi olla enintään n. 70°C , mikäli moottori on kaasun ulkopuolella, muussa tapauksessa vain n. 40°C .

Kytkeväkäyttöisessä puhaltimessa moottorin teho on yleensä suuri, yli 150 kW. Voimansiirtohäviötä aiheuttavat vain puhaltimen akselin pienet laakerikitkahäviöt. Huoltotarve on melko pieni, sillä moottorin lisäksi vain akselin laakerit tarvitsevat huoltoa. Myös kytkinkäyttö rajoittaa sopivan puhaltimen valintaa, johtuen moottorin ja siipipyörän samasta pyörintänopeudesta. Puhallettava kaasu voi olla hyvinkin kuumaa, n. 100°C ilman jäähdytyslaikkoja ja n. 350°C laikkojen kanssa.

Kiilahihnakäyttöisessä puhaltimessa moottorin teho on yleensä korkeintaan 150 kW. Voimansiirtohäviöt ovat käyttötapojen korkeimmat, laitteesta riippuen n. 3-8 %. Huollolle on enemmän tarvetta, varsinkin suuremmilla moottoritehoilla. Ainoa kiilahihnakäytön etu onkin moottorin ja siipipyörän vapaat pyörintänopeudet, joiden suhdetta voidaan vaihdella välitystä muuttamalla. Näin tietyille puhallinteholle voidaan valita suuremman nopeuden omaava, halvempi ja pienempi moottori. Kaasun lämpötilarajoitukset ovat samat kuin kytkinkäyttöisellä puhaltimella.

Välivaihteen välityksellä toimivassa puhaltimessa moottorin teho on yleensä vähintään 100 kW. Voimansiirtohäviöt ovat pienemmät, ja huollolle on vähemmän tarvetta kuin kiilahihnakäytöllä. Kiinteistä välityssuhteista johtuen siipipyörän ja moottorin pyörintänopeuden suhdetta ei voi muuttaa. Tosin nopeudet voivat olla erisuuria ja näin ollen mahdollistavat halvemmän moottorin käytön, kuten kiilahihnakäytölläkin.[3.]

3.4 Ilmavirran tuottaminen

Yleisin laite ilmavirtauksen aikaansaamiseksi on pyörivä siipipyörä, jonka voimanlähteenä käytetään moottoria. Siipipyörä koostuu kahdesta tai useammasta samalle akselille kiinnitystä siivestä. Siipipyörän pyöriessä siipien eri puolille syntyy paine-ero, jolloin ympärillä ole-

va ilmassa lähtee siirtymään pienemmän paineen suuntaan, muodostaen näin ilmavirtauksen.[2.] Siipien määrää, kokoa, muotoa ja kulmia muuttamalla voidaan vaikuttaa ilmavirtauksen ominaisuuksiin, kuten tilavuusvirtaan ja paineeseen. Kuvassa 1 on ebm-papst:n moottoroitu aksiaalipuhallin, jossa on viisilapainen, halkaisijaltaan 250 mm siipipyörä.



Kuva 1. Aksiaalipuhallin 250 mm ebm-papst.[4.]

3.5 Siipipyörätyyppien ominaisuudet

Keskipakoispuhallinta voidaan käyttää hyvin laajalla tilavuusvirta- ja painealueella pienimpiä paineita lukuun ottamatta. Tämän laajan käyttöskalan mahdollistaa siipipyörän siipien muotoilu, jonka perusteella siipipyörät voidaan jakaa neljään eri ryhmään: taaksepäin kaartuvat siivet, eteenpäin kaartuvat siivet, suorat säteensuuntaiset siivet ja rumpumalliset siivet.[3.] Alla on luetteloitu siipipyörätyyppien keskeisimmät ominaisuudet. Kuvassa 2 on esitetty eri siipipyörämallit, suoritusarvokäyrien muodot ja käyttöalueet.

Keskipakoispuhallin taaksepäin kaartuvin siivin:

- Hyötysuhde on keskipakoispuhalltimien paras.
- Ominaisäänitehotaso on pienempi kuin muilla puhalltimilla.
- Sopii ilmastointitarkoitukseen puhtaalle ilmalle.

Keskipakoispuhallin eteenpäin kaartuvin siivin:

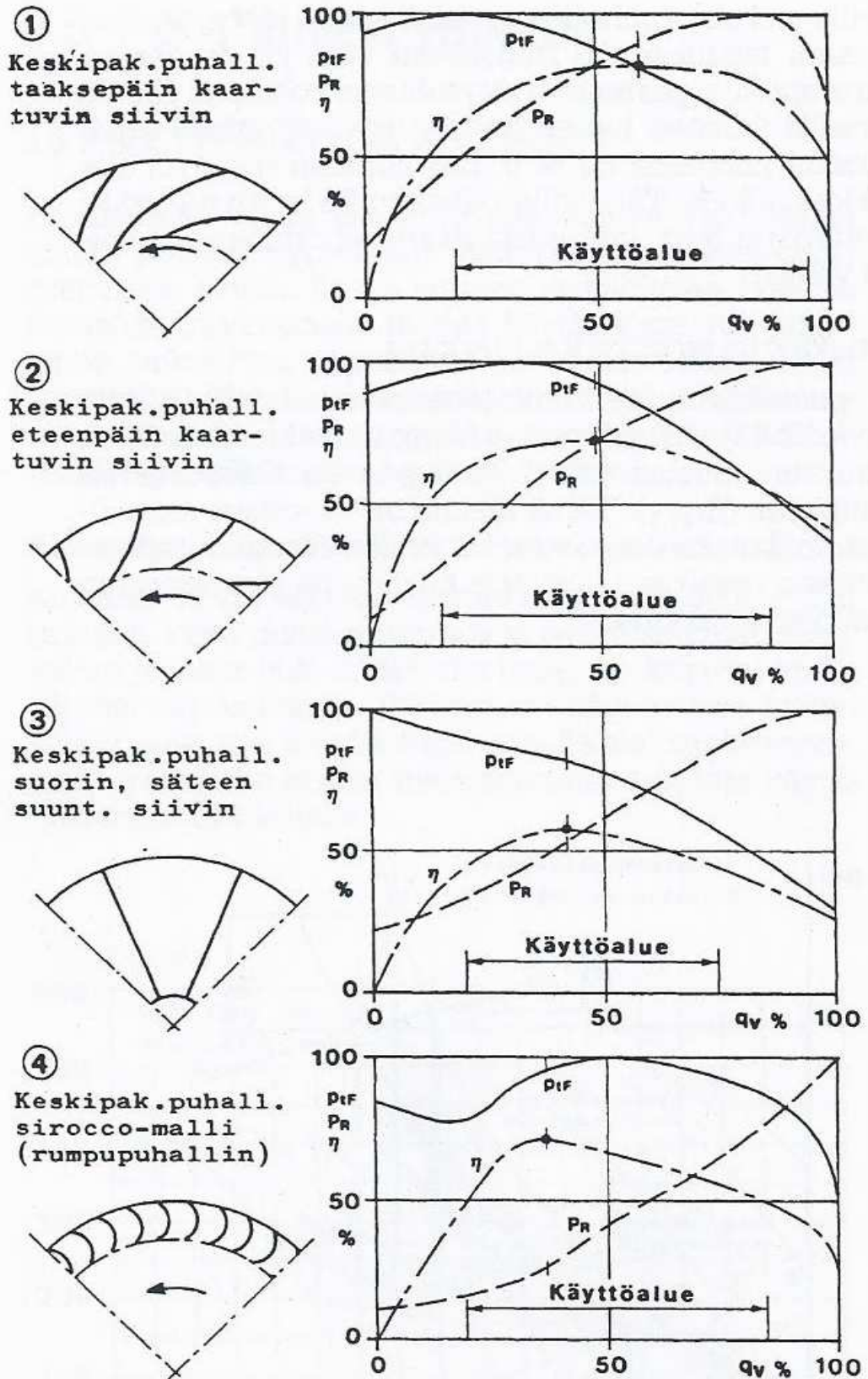
- Hyötysuhde on hieman huonompi edelliseen tyyppiin nähden.
- Ominaisäänitehotaso on hieman korkeampi edelliseen tyyppiin nähden.
- On ns. itsestään puhdistuva malli.
- Sopii savukaasupuhaltimeksi tai pölypitoisille kaasuille.

Keskipakoispuhallin suorin, säteensuuntaisin siivin:

- Hyötysuhde on huono.
- Ominaisäänitehotaso on korkea, äänekäs siipimalli.
- Rakenne on yksinkertainen, helpompi valmistaa.
- Sopii kiinteiden aineiden, kuten purun ja hakkeen kuljetukseen.

Keskipakoispuhallin rumpumallisin siivin:

- Hyötysuhde on melko huono.
- Ominaisäänitehotaso on melko korkea.
- Kokoonsa nähden suuri tilavuusvirta ja kokonaispaine.
- Vain pienet kehänopeudet ovat mahdollisia.
- Sopii ahtaisiin koteloihin ilmastointikojeissa.[3.]



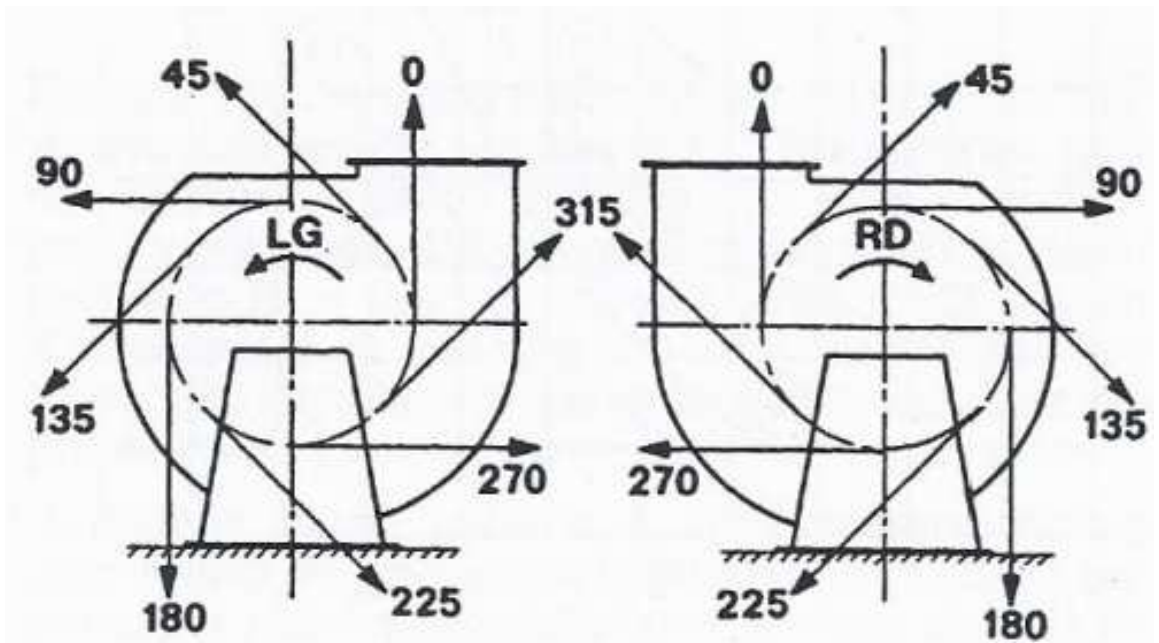
Kuva 2. Siipipyörämallit, suoritusarvokäyrien muodot ja käyttöalueet.[3.]

3.6 Suunta- ja sijaintimääritelmiä

Epäselyyksien välttämiseksi puhaltimelle on hyvä määritellä tiettyjä suunta- ja sijaintimääritelmiä, kuten siipipyörän pyörimissuunta, puhallussuunta ja tiettyjen rakenneosien sijainti. Seuraavaksi esitetyt määritelmät ovat standardin SFS 4535 mukaisia.

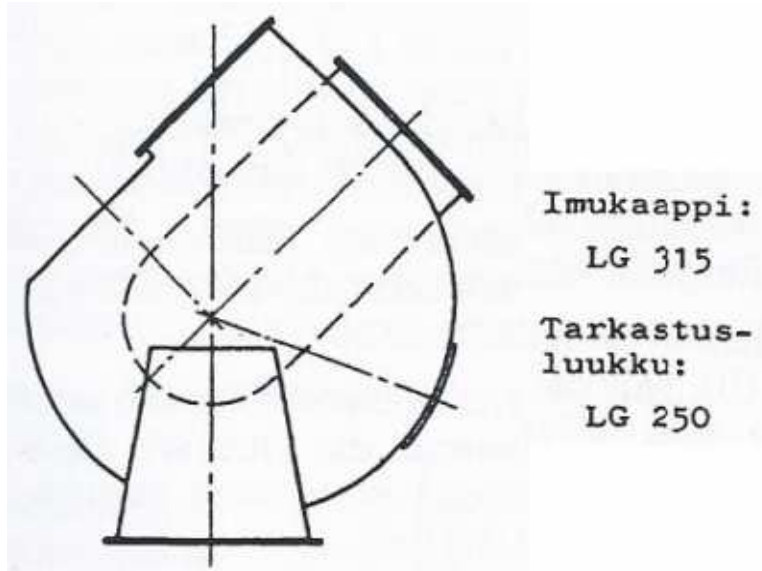
Siipipyörän pyörimissuunta määritetään katsomalla puhallinta akselin suuntaisesti imuaukon vastaiselta sivulta (eli ilman tulosuuntaa vastaan). Tunnukset ovat: RD = myötäpäivään pyörivä, LG = vastapäivään pyörivä.

Keskipakoispuhaltimen puhallussuunta määritellään pyörimissuunnan tunnuksella ja sen suuntaan peruslinjasta mitatulla kulmalukemalla asteina. Peruslinjalla tarkoitetaan puhaltimen akselin kautta kulkevaa suoraa, joka on kohtisuorassa kiinnitystasoa vastaan.[3.] Kuvassa 3 on esitetty keskipakoispuhaltimen pyörimis- ja puhallussuunnat.



Kuva 3. Keskipakoispuhaltimen pyörimis- ja puhallussuunnat.[3.]

Puhaltimen rakenneosien, kuten imukaapin ja tarkastusluukun sijainti määritellään samalla periaatteella kuin puhallussuunta, kulma lasketaan rakenneosan akselin mukaan.[3.] Kuvassa 4 on havainnollistettu tilannetta.



Kuva 4. Keskipakoispuhaltimen rakenneosien sijaintiesimerkkejä.[3.]

3.7 Puhaltimen säätäminen

Toiminnan optimoimiseksi keskipakoispuhallinta voidaan säätää käynnin aikana kolmella eri tavalla: kuristussäädöllä, johtosiipisäädöllä ja pyörimisnopeussäädöllä. Säätäminen on melko nopeaa ja vaivatonta, eikä puhallinta tarvitse pysäyttää säädön ajaksi, joten vaikutus on heti nähtävissä.

Kuristussäädöllä tarkoitetaan kaasun tilavuusvirran kuristamista eli pienentämistä. Kuristimena toimii yleensä puhaltimen painepuolen kanavaan asennettu sulkupelti. Kuristus aiheuttaa lisävastuksen, joka menee suoraan puhaltimen tehosta hukkaan. Säätölaite itsessään on halpa, mutta suuremmilla kuristuksilla tehonhukka on suuri.

Johtosiipisäädin on puhaltimen imuaukkoon asennettava laite, joka aiheuttaa puhaltimeen virtaavalle kaasulle siipipyörän pyörimissuunnan suuntaisen pyörimisliikkeen. Tilavuusvirta pienenee, mutta kaasun pyörimisliikkeen ansiosta tehohäviö on paljon pienempi kuin kuristussäädöllä. Johtosiipisäädin on suhteellisen halpa, joten se on yleisesti käytetty säätötapa.

Siipipyörän pyörimisnopeutta voidaan säätää sekä portaattaisesti että portaattomasti. Portaittainen säätö saadaan aikaan käyttämällä kaksi- tai useampinopeuksista moottoria tai välivaihdetta. Portaaton säätö tapahtuu käyttämällä joko hydraulista kytkintä tai tasavirtamoottoria,

jonka taajuutta muutetaan taajuusmuuttajan avulla. Pyörimisnopeuden säätö portaattomasti on ihanteellisin tapa, koska puhaltimen suoritusarvoille ei aiheudu lisähäviöitä. Toki säätölaitteessa itsessään syntyy pieniä häviöitä. Säätölaitteiden huonona puolena on niiden korkea hinta.[3.]

3.8 Tärinä ja sen vaimentaminen

Puhallin on suurella nopeudella pyörivä kone, joten aina käytettäessä sen luonteeseen kuuluu jonkinasteinen tärinä. Yleensä tärinä aiheutuu pyörivän kappaleen massan epätasapainosta. Puhaltimissa yleisin tärinän aiheuttaja on siipipyörä, jonka epäkeskeisestä massasta johtuva keskipakovoima siirtyy laakereiden kautta kiinnitysalustaan. Alustan värähtelyt voivat puolestaan ilmetä häiritsevänä äänenä kaukana puhaltimesta. Tärinää voidaan torjua siipipyörän riittävän hyvällä tasapainotuksella tai käyttämällä tärinänvaimentimia.

Siipipyörä on tehtaalla valmistuessaan lähes poikkeuksetta sekä staattisesti että dynaamisesti epätasapainossa, joten ennen asentamista joudutaan turvautumaan tasapainotuskoneeseen. Tasapainottaminen tapahtuu yleensä kahta tasapainotustasoa, esim. siipipyörän etu- ja takalevyn tasoa, käyttäen. Kun tasapainotuskoneeseen on asetettu tietyt etäisyysuhteet ja haluttu tasapainotussäde, se näyttää tarvittavan tasapainotusmassan ja oikean kulma-aseman molemmille tasoille. Tasapainotuskoneen rajallisesta herkkyydestä kuitenkin seuraa, että siipipyörä jää hieman epätasapainoiseksi, mutta käytännön kokemukset ovat osoittaneet tarkkuuden riittävän.

Toinen keino tärinän torjumiseksi ovat tärinänvaimentimet, jotka asennetaan puhaltimen alustan ja lattian väliin. Käyttömoottorin ja itse puhaltimen täytyy olla samalla kiinteällä alustalla, mikä on vaimennuksen välttämätön edellytys. Alusta valetaan yleensä betonista, jonka paksuus on vähintään 150 mm riittävän jäykkyyden takaamiseksi. Vaimentimet täytyy sijoittaa alustan alle niin, että kuormitus jakaantuu tasaisesti niiden kannettavaksi. Tämä edellyttää koko puhaltimen painopisteen määrittämistä. Tasainen kuormitus saadaan sijoittamalla vaimentimet symmetrisesti painopisteeseen nähden. Erilaisia vaimentimia ovat mm. teräs- jousivaimentimet, kumivaimentimet ja korkkimatot.[3.]

3.9 Melu ja sen vaimentaminen

Toiminnassa oleva puhallin on erittäin merkittävä melusaasteen lähde. Suurien puhaltimien kokonaisäänentaso voi olla koneen läheisyydessä jopa 140 dB, eli saman verran kuin suihkumoottorilentokoneella. Ihmiselle kuulovaurion aiheutumisen rajana pidetään jatkuvaa oleskelua 85 dB:n melussa. Kuulonmenetyksen voi aiheuttaa jo hetken oleskelu puhaltimen läheisyydessä, joten kuulosuojainten käyttö on pakollista. Lisäksi melusaaste voi kantautua häiritsevästi esim. lähistöllä olevaan asutukseen.

Ensimmäinen keino melun torjumiseksi on sijoittaa puhallin erilliseen, hyvin eristettyyn rakennukseen. Pienemmät puhaltimet voidaan sijoittaa myös esim. merikonttiin. Näin osa melusta saadaan vaimennettua rakennuksen sisälle. Mikäli puhallin on liitetty imu- tai paineaukostaan rakennuksen ulkopuolelle johtavaan putkistoon, osa melusta kuitenkin siirtyy putkia pitkin ulkopuolelle. Tarvittaessa ja tilanteen salliessa putkiston ympärille voidaan rakentaa ääntä eristävä vaippa.

Melua voidaan vähentää myös käyttämällä erilaisia äänenvaimentimia, jotka asennetaan puhaltimen imu- ja/tai painepuolen putkistoon. Varsinainen pää-äänenvaimennin tulisi sijoittaa painepuolelle mahdollisimman lähelle puhallinta, mutta kuitenkin niin, että paineaukosta tuleva epätasainen ilmavirtaus on ehtynyt tasaantua. Lisäksi vaimenninta ei pitäisi sijoittaa meluisaan puhallinrakennukseen, vaan sen ulkopuolelle. Puhaltimen imupuolelle voidaan asentaa vaimennin, yleensä suoraan puhallinrakennuksen seinään kiinni. Mikäli ympäristön melurajoitukset ovat tiukat, voidaan lisäksi puhaltimen paineputkiston loppupäähän asentaa vaimennin.[3.]

4 MATEMAATTISTEN KÄSITTEIDEN TARKASTELU

4.1 Yleistä

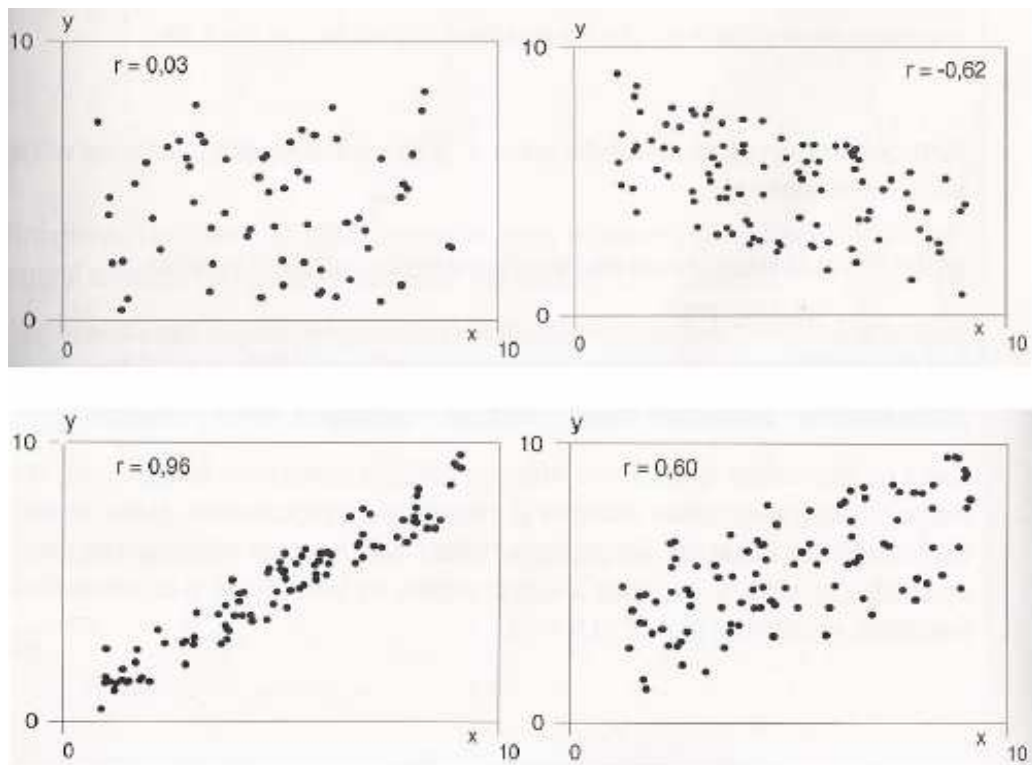
Puhaltimien vertailua varten on valittu seuraavat matemaattiset työkalut: korrelaatio, keskiarvo, keskihajonta ja itseisarvo. Korrelaation avulla on tutkittu puhallinkäyrien yhtenevyyttä, ts. ”kuinka paljon käyrät muistuttavat toisiaan”. Keskiarvoa käyttäen puhaltimille on saatu laskettua useamman mittauksen keskimääräinen arvo, jolloin tulos on luotettavampi kuin vain yhtä mittausta käytettäessä. Keskihajonnan avulla on selvitetty puhaltimien toiminnan tasaisuutta, ts. ”miten tasalaatuista työtä puhallin on tehnyt”. Itseisarvoa on tarvittu vain yhden puhaltimen kohdalla, jolloin korrelaation arvo oli negatiivinen. Itseisarvoa on käytetty apuna vertailtaessa negatiivista arvoa positiivisten arvojen kanssa. Ilman itseisarvon käyttöä negatiivista arvoa ei olisi voinut ottaa mukaan vertailuun.

4.2 Korrelaatio

Korrelaatio on matemaattinen työkalu, jonka avulla voidaan tutkia kahden muuttujan, esim. x ja y , välistä riippuvuuden määrää, eli minkä verran muuttujilla on yhteyksiä toisiinsa. Yleisin korrelaation mitta on ns. Pearsonin korrelaatiokerroin r , joka kuvaa muuttujien välistä lineaarisen yhteyden voimakkuutta. Kertoimen määritelmä on $r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}$.

Kertoimen arvot ovat aina välillä $[-1, +1]$. Kertoimen ollessa lähellä nollaa muuttujien välillä ei ole minkäänlaista yhteyttä. Mitä lähempänä kerroin on lukuja -1 tai 1 , sitä suurempi on muuttujien välinen yhteys. Jos kerroin on positiivinen, kyseessä on nouseva suora ja positiivinen riippuvuus. Mikäli kerroin on negatiivinen, kyseessä on laskeva suora ja negatiivinen riippuvuus.[5],[6] Kuvassa 5 on muutama esimerkki havainnollistamassa korrelaatiokerrointa. Esimerkiksi, mikäli kerroin $r = 0,03$, muuttujilla ei ole minkäänlaista yhteyttä toisiinsa joten muuttujien arvoja kuvaavat pisteet ovat sattumanvaraisessa järjestyksessä. Alemmassa kohdassa kerroin $r = 0,96$, joten riippuvuus on hyvin vahva ja yhteneväisyys on selvästi havaittavissa. Kerroin on positiivinen joten suora on nouseva. Kun kerroin $r = -0,62$, riippu-

vuus on keskinkertainen ja pisteet ovat levällään, kuitenkin yhteneväisyys on havaittavissa. Negatiivinen arvo näkyy laskevana suorana.



Kuva 5. Esimerkkejä korrelaatiokertoimista.[6.]

4.3 Keskiarvo

Keskiarvo voidaan laskea usealla eri tavalla, tarpeesta ja tilanteesta riippuen. Tässä työssä käytetään ns. aritmeettista keskiarvoa, jonka mukaan keskiarvo on lukujen summa jaettuna niiden lukumäärällä, eli $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$. [6.] Esimerkiksi lukujen 4, 7 ja 15 keskiarvo

$$\bar{x} = \frac{4 + 7 + 15}{3} = \frac{26}{3} = 8\frac{2}{3}.$$

4.4 Keskihajonta

Keskihajonnan avulla voidaan tutkia, kuinka paljon lukujen arvot keskimäärin poikkeavat keskiarvosta, ts. ”kuinka hajallaan luvut ovat”. Keskiarvon oikealla puolella (keskiarvoa suuremmat luvut) olevat luvut saavat positiiviset poikkeamat ja vasemmalla puolella (keskiarvoa pienemmät luvut) saavat negatiiviset poikkeamat. Näin ollen poikkeamien summa on nolla.

Keskiarvosta mitatut poikkeamat merkitään $x - \bar{x}$. Keskihajonta määritellään seuraavasti:

lukujen x_1, x_2, \dots, x_n keskihajonta $s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$. [6.] Esimerkiksi lukujen 4, 7 ja 15 keski-

$$\text{hajonta } s = \sqrt{\frac{\left(4 - 8\frac{2}{3}\right)^2 + \left(7 - 8\frac{2}{3}\right)^2 + \left(15 - 8\frac{2}{3}\right)^2}{3 - 1}} \approx 5,7$$

4.5 Itseisarvo

Luvun itseisarvo kertoo luvun etäisyyden nolasta lukusuoralla, ts. ”kuinka monen numeroyksikön päässä luku on nolasta”. Koska etäisyyttä ei voida mitata negatiivisilla luvuilla, täytyy itseisarvon olla aina positiivinen tai nolla. Itseisarvon merkitsemiseen käytetään merkkejä ’|’|. Kaikkien positiivisten lukujen ja luvun nolla itseisarvo on luku itse, esim. $|8| = 8$ ja $|0| = 0$. Negatiivisten lukujen itseisarvo on luvun vastaluku, esim. $|-5| = 5$. Negatiivisen luvun itseisarvo saadaan yksinkertaisimmillaan poistamalla miinus-merkki. Itseisarvo määritellään seuraavanlaisesti: reaalityön x itseisarvo $|x| = \begin{cases} -x, & \text{kun } x < 0 \\ x, & \text{kun } x \geq 0 \end{cases}$. [7.]

5 TALVIVAARAN PUHALLINLAITTEISTO

5.1 Yleistä

Talvivaaralla on tuotantokäytössä kolme erilaista puhallintyyppiä, joista yksi on Kojan valmistama ja kaksi erikokoista Fläkt Woodsin puhallinta. Kaikkiaan puhaltimia on toiminnassa tai seisonnassa n. 40 kappaletta. Primääriliuotusalueella on käytössä molempien valmistajien puhaltimia, jotka ovat siipipyöräteholtaan suunnilleen samankokoisia. Sekundääriliuotusalueella on käytössä teholtaan suurempia Fläkt Woodsin puhaltimia.

Kaikki puhaltimet ovat sijoitettuna omiin puhallinkoppeihinsa. Sekä puhaltimet että kopit on pultattu kiinni tukevaan betoniseen alustaan. Puhaltimet on liitetty ilmaputkiston runkoputkeen T-haaralla, joka on ankkuroitu betonilla. Itse runkoputkesta lähtevät pienet ilmaputket malmikasan alle. Puhaltimet voidaan erottaa runkoputkesta suuren levyluistiventtiilin avulla. Lisäksi jokainen kasan alle menevä ilmaputki on oman venttiilinsä takana, joten ilmastuksen määrää voidaan säätää tarpeen mukaan. Kuvat 6, 7 ja 8 havainnollistavat tilannetta.



Kuva 6. Puhallinkoppi betonisella alustallaan.



Kuva 7. Puhaltimen liittyminen runkoputkeen ja levyluistiventtiili.



Kuva 8. Malmikasan alle menevät ilmaputket.

5.2 Fläkt Woodsin puhaltimet

5.2.1 Primääriliuotuksen puhaltimet

Primääriliuotusalueella käytetään Fläkt Woodsin HAWK-3-47/1155-mallisia puhaltimia. Puhaltimen siipipyörateho on n. 370 kW, ja rakenteeltaan siipipyörä on jäykkä ja kokonaan hitsattu. Siipipyörä on halkaisijaltaan 1155 mm. Voimanlähteenä toimii ABB:n 450 kW:n sähkömoottori, joka on yhdistetty puhaltimeen kytkimen välityksellä. Moottorin pyörintänopeutta voidaan säätää taajuusmuuttajan avulla sopivaksi tilanteen mukaan. Puhaltimen keskimääräinen ilmantuotto on n. $10\text{ m}^3/\text{s}$. Puhaltimella on oma erillinen öljykoneikko, joka huolehtii riittävästä voimansiirron voitelusta.[8.] Kuvassa 9 on esitetty kyseinen puhallin.



Kuva 9. HAWK-3-47/1155.

5.2.2 Sekundääriliuotuksen puhaltimet

Sekundääriliuotusalueella on käytössä Fläkt Woodsin HAWK-56/1346-mallisia puhaltimia. Puhaltimen siipipyöräteho on n. 670 kW, ja siipipyörä on rakenteeltaan jäykkä ja kokonaan hitsattu. Halkaisijaltaan siipipyörä on 1346 mm. Voimanlähteenä käytetään ABB:n 900 kW:n sähkömoottoria, joka on yhdistetty puhaltimeen kytkimen välityksellä. Moottorin pyörintänopeus on säädettävissä taajuusmuuttajan avulla. Puhaltimen keskimääräinen ilmantuotto on n. $20 \text{ m}^3 / \text{s}$. Puhallin on varustettu omalla öljykoneikolla.[9.] Kuva 10 esittää kyseistä puhallinta moottoreineen.



Kuva 10. HAWK-56/1346 moottoreineen.

5.3 Kojan puhaltimet

Primääriliuotusalueella käytetään myös Kojan valmistamia puhaltimia, jotka ovat mallia ESKB-50-7. Puhallin on siipipyöräteholtaan n. 390 kW, ja siipipyörä on jäykkärakenteinen. Siipipyörän halkaisija on 1315 mm. Voimanlähteenä käytetään ABB:n 450 kW:n sähkömoottoria kytkimen välityksellä. Moottori on kytketty taajuusmuuttajaan, joten pyörintänopeus on säädettävissä. Puhaltimen keskimääräinen ilmantuotto on n. $10\text{ m}^3/\text{s}$. Puhallimella ei ole omaa öljykoneikkoa, vaan voimansiirron voitelu tapahtuu säiliössä öljykylvyin avulla.[10.],[2.]
Kuva 11 esittää kyseistä puhallinta moottoreineen.



Kuva 11. Kojan ESKB-50-7 moottoreineen.

6 PUHALTIMIEN VERTAILU

6.1 Yleistä

Puhaltimia vertaillaan keskenään mittaustulosten pohjalta tehtyjen laskelmien perusteella. Mittaukset on tehty 19.12.2011 - 17.7.2012, joten mittausolosuhteet ovat vaihdelleet erittäin paljon, paukkupakkasista kesähelteisiin. Mittaajina ovat toimineet Talvivaaran asentajat ja mittaukset on tehty osana normaalia työrutiinia, eli työtä varten erillisiä mittauksia ei ole tehty. Mittaukset on tehty pääsääntöisesti viikoittain, mutta huoltoseisokkien ym. käytännön seikkojen vuoksi eräät puhaltimet ovat olleet mittaushetkellä kiinni, jolloin mittausten välillä voi olla useampikin viikko. Kyseisissä tapauksissa kiinniolo näkyy kaavioissa käyrän katkeamisena.

Mitattuja ominaisuuksia ovat tilavuusvirta q_v (l/s), ilmanpaine p (bar) ja virranotto I (A), joille on laskettu keskiarvot $\bar{x}(q_v)$, $\bar{x}(p)$ ja $\bar{x}(I)$ sekä keskihajonnat $s(q_v)$, $s(p)$, ja $s(I)$. Keskihajonnan avulla on pyritty selvittämään puhaltimien toiminnan tasaisuutta, eli mitä pienempi keskihajontaluku, sitä parempi. Mittausten perusteella puhaltimille on laskettu tunnusluvut $\frac{q_v}{I}$ ja $\frac{q_v}{p}$, joiden käyrät on piirretty kaavioihin. $\frac{q_v}{p}$ - arvot on jaettu luvulla 100 000, jotta tulos olisi mielekkäämmässä muodossa.

Tunnusluvut on suunniteltu kertomaan puhaltimen toiminnasta mahdollisimman yksinkertaisesti: mitä suurempi luku, sitä parempi. Näin ollen mitatut ominaisuudet on sen mukaisesti jaettu keskenään. $\frac{q_v}{I}$ - arvo kertoo yhdellä ampeerilla tuotetun tilavuusvirran l/s, joten

energiataloutta ajatellen suurempi arvo on pienempää parempi. $\frac{q_v}{p}$ - arvo puolestaan kertoo

tuotetun tilavuusvirran vallitsevaa vastapainetta vastaan. Koska puhaltimet ovat tilavuusvirran, eivät paineen kehittäjiä, ajatuksena on ”mitä suurempi tilavuusvirta pienemmällä vastapaineella, sen parempi”. Lisäksi tutkimuksessa on laskettu sekä tunnuslukujen keskiarvot että lukujen välinen korrelaatio, jonka avulla on pyritty selvittämään puhaltimissa mahdollisesti ilmenevien häiriötekijöiden voimakkuutta. Kaikki mittaukset päivämäärineen ja laskelmat löytyvät työn lopussa olevasta liitteestä 2.

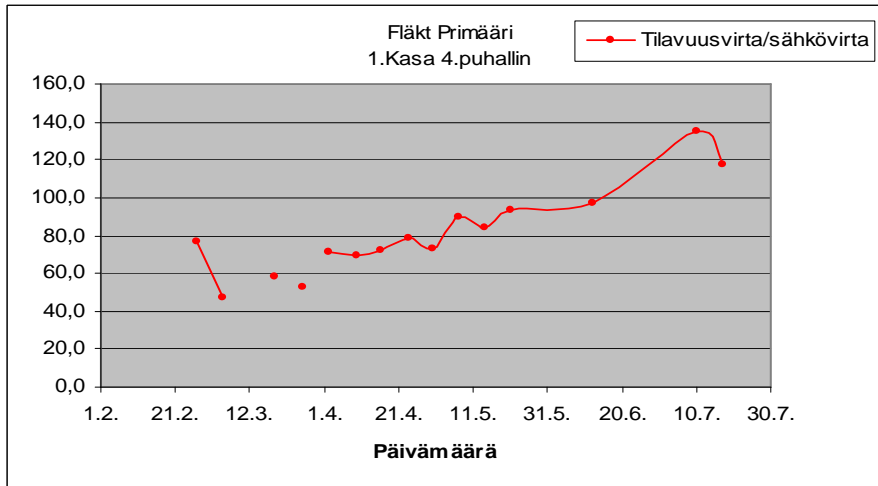
Tutkimus koostuu seuraavasti: puhaltimien jokaista kolmea ominaisuutta on mitattu 15 kertaa, eli yhteensä 45 mittausta/puhallin. Puhaltimien suuren määrän vuoksi kaikkia ei voi ottaa vertailuun mukaan, vaan jokaista kolmea puhallintyyppiä on kolme kappaletta, eli yhteensä yhdeksän puhallinta. Näin ollen vertailu on tehty kaikkiaan n. 400 mittauksen pohjalta. Vertailussa mukana olevat puhaltimet on valittu Talvivaaran toimesta.

6.2 Fläkt Woods HAWK-3-47/1155

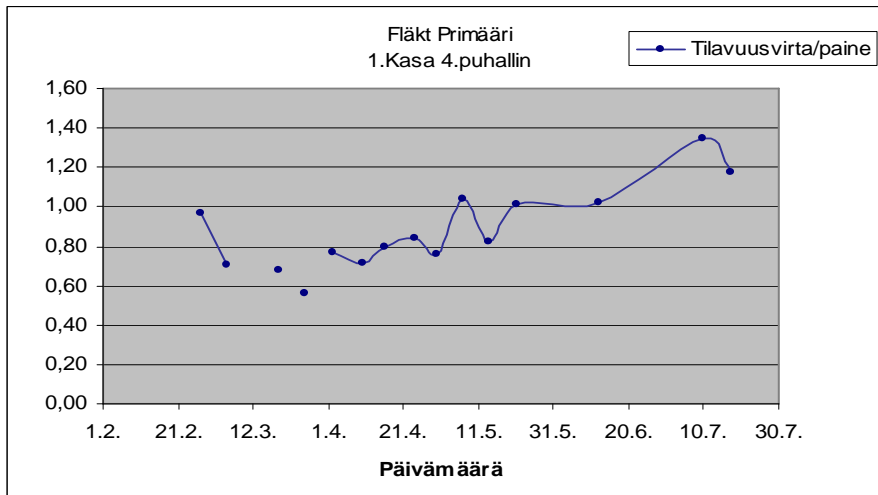
Primääriliuotusalueen Fläkt Woodsin puhaltimista vertailussa ovat mukana kasan 1 puhallin 4, kasan 3 puhallin 1 ja kasan 3 puhallin 4. Tutkimuksen perusteella kyseiset puhaltimet toimivat pääsääntöisesti melko hyvin, ja yksi puhallin voidaan jopa nimetä koko vertailun parhaaksi. Mittausten aikaan puhaltimet ovat olleet toiminnassa melko satunnaisesti, joten käytkin ovat katkonaisia.

6.2.1 Kasan 1 puhallin 4

Mittausten ja laskelmien perusteella tämä puhallin näyttäisi toimivan erittäin hyvin, kaikista vertailun puhaltimista parhaiten. On kuitenkin huomattavaa, että mittausten keskimääräinen tilavuusvirrantuotto on erittäin korkea, 25 286 l/s. Kyseisen puhallinmallin keskimääräinen tuotto on 10 000 l/s ja hyvissä oloissa tuotto voi olla 15 000 l/s, joten mittauksessa on täytyntulla virhe. Vaikuttaa siltä, että mitatut arvot on vahingossa merkitty kaksinkertaisina, sillä mittaukset tehdään runkoputkesta puhaltimen kahdelta puolelta. Näin ollen tilavuusvirran mittausten tuloksiin kannattaa suhtautua kriittisesti. Keskihajonnat ovat $s(q_v) = 3899$ l/s, $s(p) = 0,04$ bar ja $s(I) = 48$ A. Tunnuslukujen keskiarvot ovat $\frac{q_v}{I} = 81,0$ ja $\frac{q_v}{p} = 0,88$. Tunnuslukujen korrelaatio on korkea, $r = 0,95$, joten käyrät käyttäytyvät lähestulkoon yhdenlaisesti toistensa kanssa. Alla olevia kuvia 12 ja 13 tarkasteltaessa voidaan todeta käyrien yhteneväisyys. Mittaukset ja laskelmat löytyvät liitteen 2 sivulta 1 taulukoista 1 ja 2.



Kuva 12. Kasan 1 puhaltimen 4 tilavuusvirta/sähkövirta.

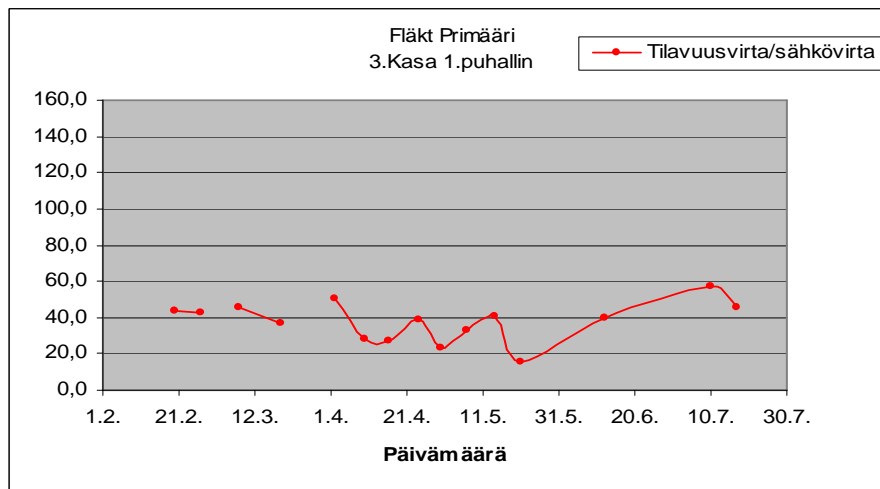


Kuva 13. Kasan 1 puhaltimen 4 tilavuusvirta/paine.

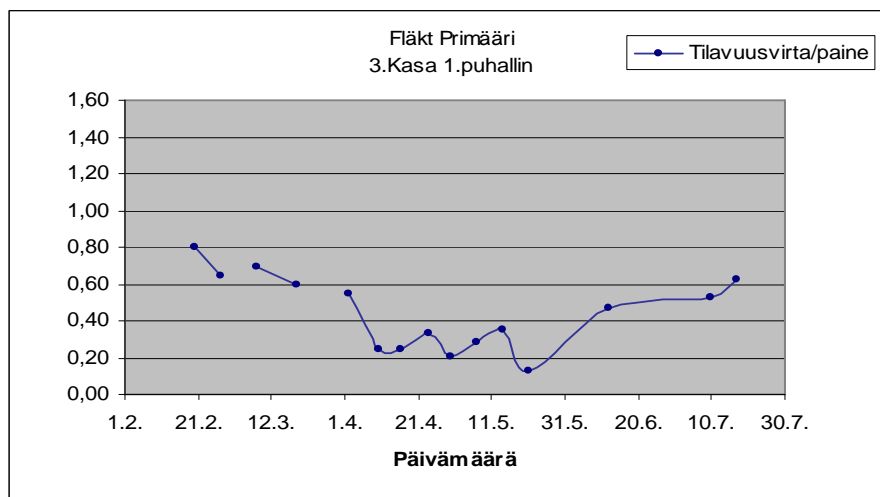
6.2.2 Kasan 3 puhallin 1

Kyseisen puhaltimen keskihajonnat ovat $s(q_v)=3982$ l/s, $s(p)=0,08$ bar ja $s(I)=77$ A.

Keskiarvot ovat $\frac{q_v}{I}=37,9$ ja $\frac{q_v}{p}=0,45$. Korrelaatio $r=0,77$, joten käyrät ovat vielä kohtalaisesti toistensa kaltaisia. Kaaviot käyrineen on esitetty alla olevissa kuvissa 14 ja 15. Mittaukset ja laskelmat löytyvät liitteen 2 sivulta 2 taulukoista 3 ja 4.



Kuva 14. Kasan 3 puhaltimen 1 tilavuusvirta/sähkövirta.



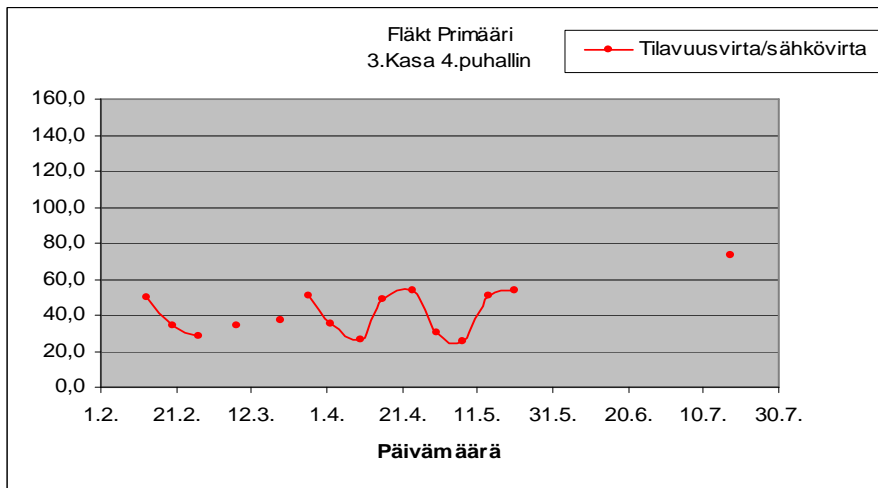
Kuva 15. Kasan 3 puhaltimen 1 tilavuusvirta/paine.

6.2.3 Kasan 3 puhallin 4

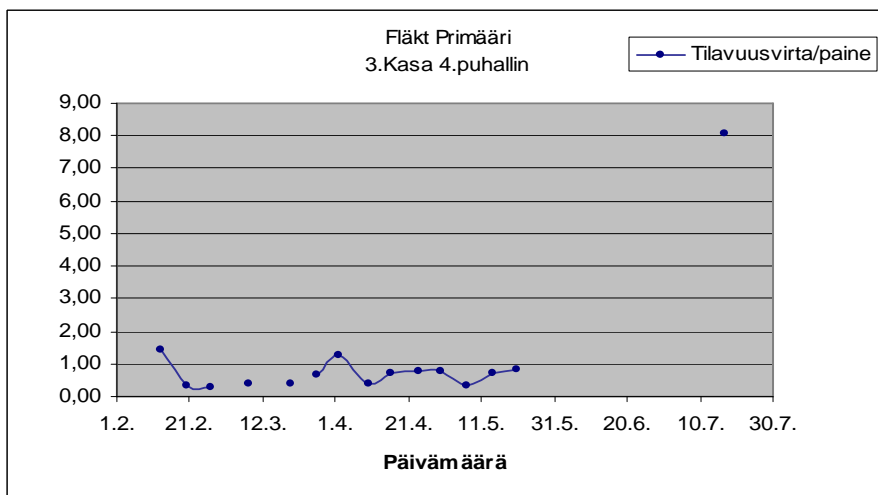
Tämän puhaltimen keskihajonnat ovat $s(q_v)=3547$ l/s, $s(p)=0,11$ bar ja $s(I)=104$ A.

Tunnusluvut ovat $\frac{q_v}{I}=39,9$, $\frac{q_v}{p}=1,16$ ja korrelaatio $r=0,70$. Huomattavaa on, että $\frac{q_v}{p}$:n

kaaviossa oleva viimeisin arvo on poikkeuksellisen paljon korkeampi kuin muilla, mikä johtuu ilmeisesti virheellisestä paineen mittauksesta. Tästä johtuen kaaviossa on erilainen skaalaus. Kaaviot on esitetty alla olevissa kuvissa 16 ja 17. Mittaukset ja laskelmat löytyvät liitteen 2 sivulta 3 taulukoista 5 ja 6.



Kuva 16. Kasan 3 puhaltimen 4 tilavuusvirta/sähkövirta.



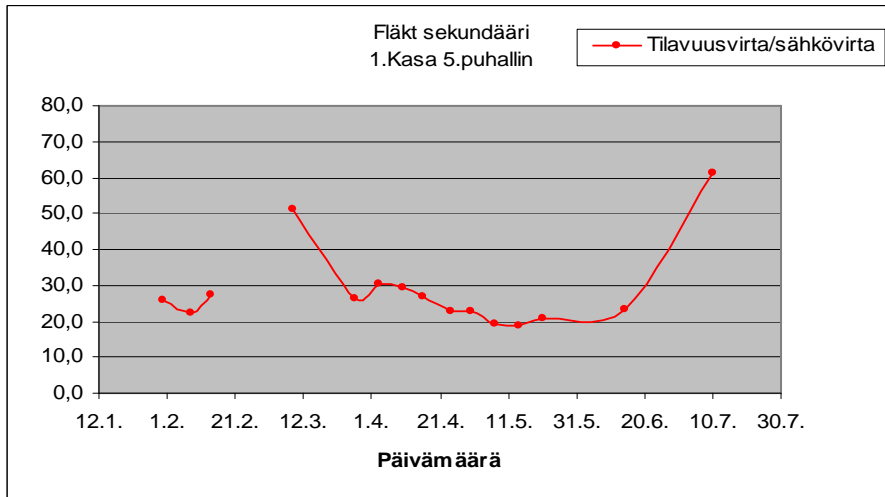
Kuva 17. Kasan 3 puhaltimen 4 tilavuusvirta/paine.

6.3 Fläkt Woods HAWK-56/1346

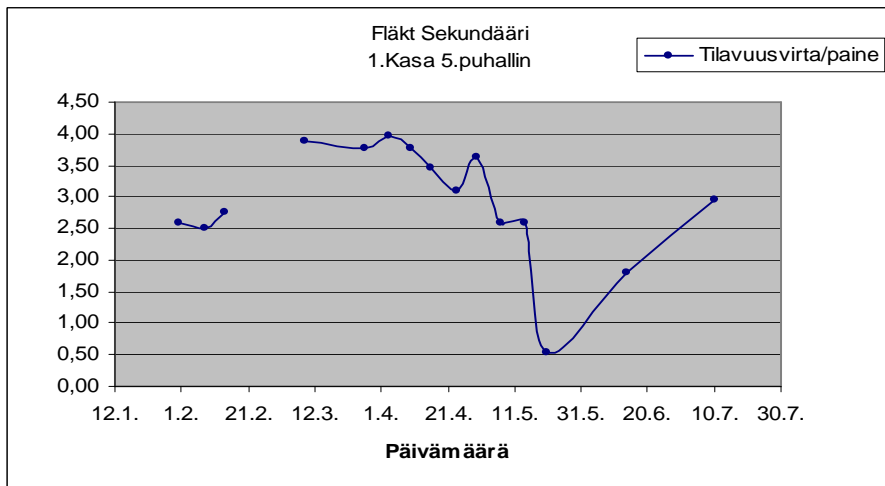
Sekundääriliuotusalueen suurista Fläkt Woodsin puhaltimista vertailuun on valittu kasan 1 puhallin 5, kasan 1 puhallin 7 ja kasan 1 puhallin 9. Yleisenä huomiona mainittakoon, että keskihajontaluvuista ja tunnusluvuista löytyy useita ääriarvoja koko vertailussa. Tunnusluvuista $\frac{q_v}{I}$ -arvot ovat koko vertailun heikoimpia ja $\frac{q_v}{p}$ -arvot ovat parhaimpia. Eroa on kertynyt pieniin puhaltimiin verrattuna niin paljon, että kaaviot on jouduttu tekemään erilaisella skaalauksella, koska muuten käyrien luettavuus olisi kärsinyt. Puhaltimien korrelaatioiden arvot ovat heikompia, joten käyrät eivät ole niin yhteneviä kuin pienillä puhaltimilla. Lisäksi kyseiset puhaltimet ovat olleet mittausten aikaan lähes aina toiminnassa, joten katkoksia on vähän.

6.3.1 Kasan 1 puhallin 5

Puhaltimen keskihajonnat ovat $s(q_v) = 1872$ l/s, $s(p) = 0,07$ bar ja $s(I) = 175$ A. Mielenkiintoinen havainto keskihajontalukujen suhteen on se, että kyseisellä puhaltimella on koko vertailun ylivoimaisesti tasaisin tilavuusvirran tuotto, kun taas sähkövirran kulutus on kaikkein epätasaisin. Tosin sähkövirran suuri hajonta johtuu kahdesta huomattavan pienestä arvosta, joten lieneekö mittauksessa tullut virhe kyseisillä kerroilla. Paineen hajonta on puhaltimien keskimääräistä tasoa. Tunnusluvut ovat $\frac{q_v}{I} = 28,5$ ja $\frac{q_v}{p} = 2,93$. Korrelaation arvo $r = 0,34$, joten käyrät käyttäytyvät vain vähän toistensa kaltaisesti. Kaaviot on esitetty alla olevissa kuvissa 18 ja 19. Mittaukset ja laskelmat löytyvät liitteen 2 sivulta 7 taulukoista 13 ja 14.



Kuva 18. Kasan 1 puhaltimen 5 tilavuusvirta/sähkövirta.



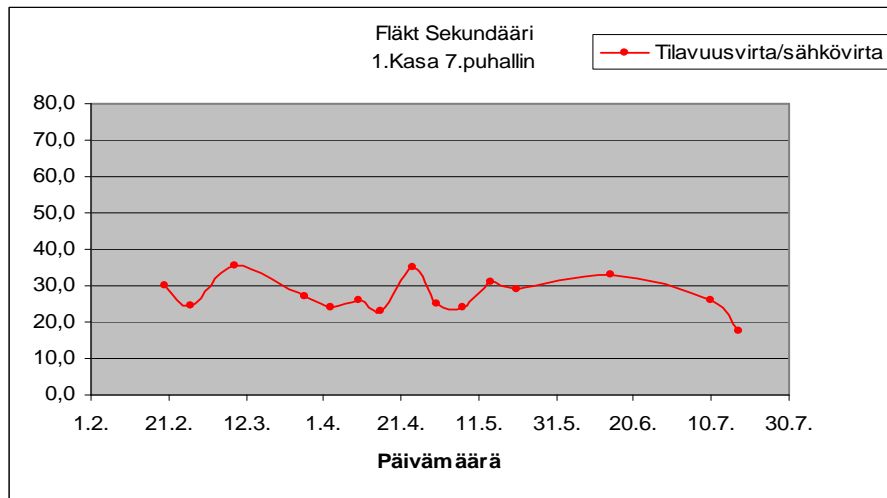
Kuva 19. Kasan 1 puhaltimen 5 tilavuusvirta/paine.

6.3.2 Kasan 1 puhallin 7

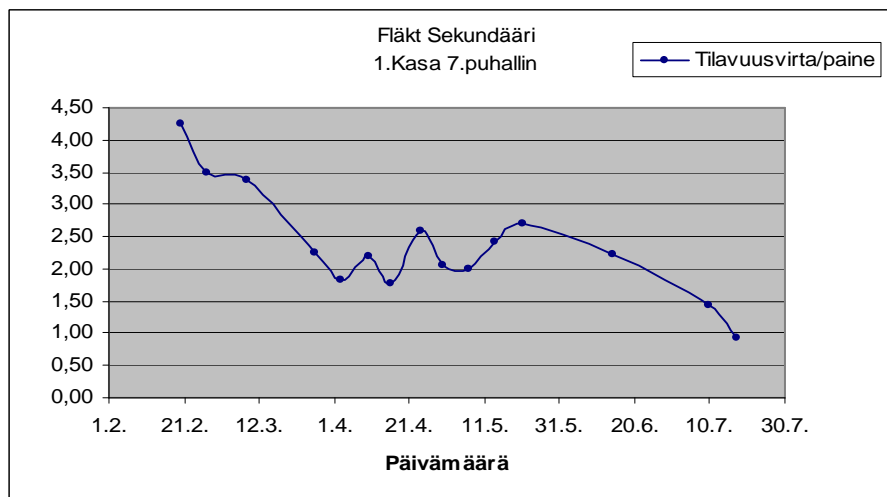
Kyseisen puhaltimen keskihajonnat ovat $s(q_v)=3320$ l/s, $s(p)=0,02$ bar ja $s(I)=22$ A.

Tunnusluvut ovat $\frac{q_v}{I}=27,4$ ja $\frac{q_v}{p}=2,37$. Korrelaatio $r=0,58$, joten käyrät käyttäytyvät jon-

kin verran samantapaisesti. Kaaviot on esitetty alla olevissa kuvissa 20 ja 21. Mittaukset ja laskelmat löytyvät liitteen 2 sivulta 8 taulukoista 15 ja 16.



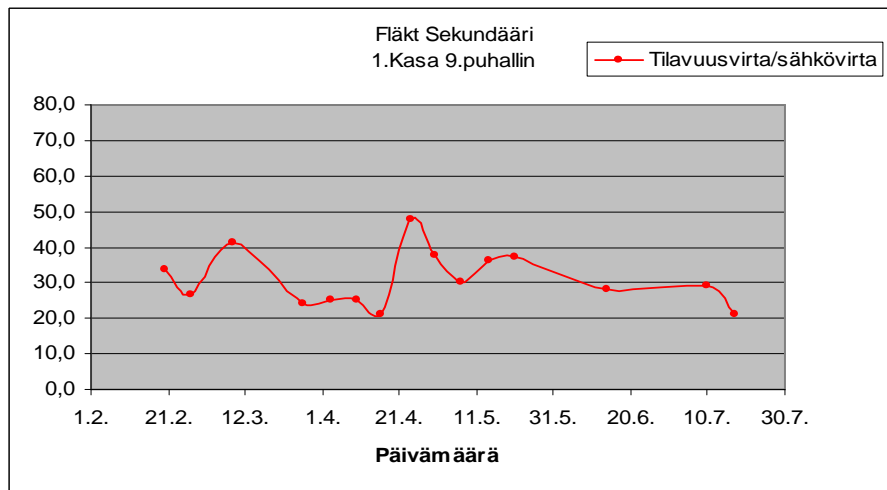
Kuva 20 Kasan 1 puhaltimen 7 tilavuusvirta/sähkövirta.



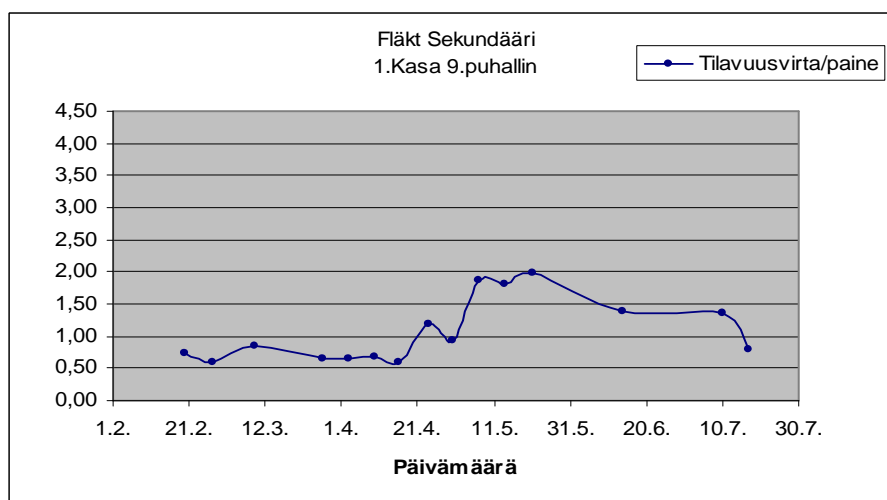
Kuva 21. Kasan 1 puhaltimen 7 tilavuusvirta/paine.

6.3.3 Kasan 1 puhallin 9

Puhaltimen keskihajonnat ovat $s(q_v)=4938$ l/s, $s(p)=0,07$ bar ja $s(I)=51$ A. Erikoista tässä puhaltimessa on vertailun suurin tilavuusvirran hajonta, kun vastaavasti sähkövirran käyttö on ollut melko tasaista. Tilanne on juuri päinvastainen kuin aiemmin esitetyllä 1.kasan 5.puhaltimella. Tunnusluvut ovat $\frac{q_v}{I}=31,0$ ja $\frac{q_v}{p}=1,07$. Korrelaatio $r=0,43$, joten käyrillä on vähänlaisesti yhtenäisyyksiä. Kaaviot on esitetty alla olevissa kuvissa 22 ja 23. Mittaukset ja laskelmat löytyvät liitteen 2 sivulta 9 taulukoista 17 ja 18.



Kuva 22. Kasan 1 puhaltimen 9 tilavuusvirta/sähkövirta.



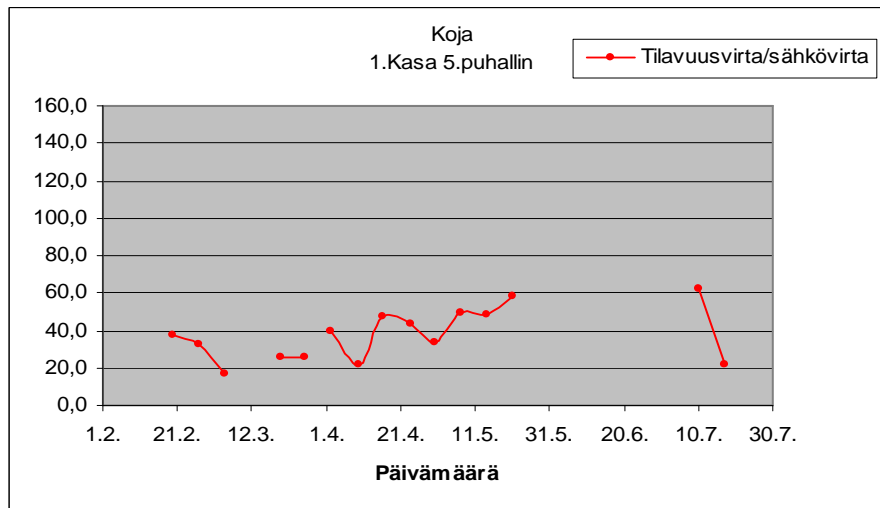
Kuva 23. Kasan 1 puhaltimen 9 tilavuusvirta/paine.

6.4 Koja ESKB-50-7

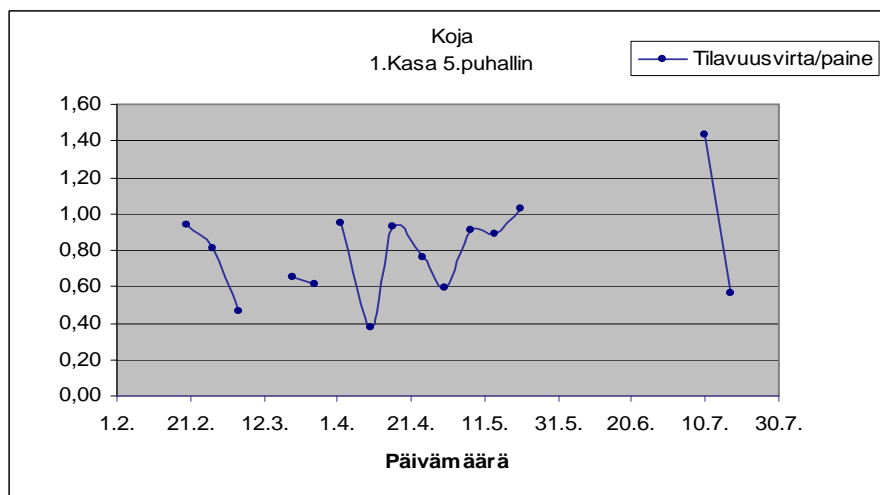
Primääriliuotusalueen Kojan puhaltimista vertailussa ovat mukana kasan 1 puhallin 5, kasan 3 puhallin 5 ja kasan 4 puhallin 8. Mittausten perusteella puhaltimien arvot ja tunnusluvut ovat hieman heikkommat kuin Fläkt Woodsin vastaavilla puhaltimilla. Erikoisena havaintona voidaan mainita yhden puhaltimen korrelaation negatiivinen arvo. Lisäksi Kojan puhaltimet ovat olleet mittausten aikaan toiminnassa melko rikkonaisesti, mikä seuraavista kaavioista voidaan nähdä käyrien katkomisena.

6.4.1 Kasan 1 puhallin 5

Puhaltimen keskihajonnat ovat $s(q_v)=4818$ l/s, $s(p)=0,03$ bar ja $s(I)=18$ A. Mielenkiintoista keskihajontojen suhteen on koko vertailun tasaisin sähkövirran kulutus, kun taas tilavuusvirran tuotto on ollut toiseksi epätasaisin. Paineen hajonta on koko vertailun toiseksi pienin. Tunnusluvut ovat $\frac{q_v}{I}=37,7$ ja $\frac{q_v}{p}=0,79$. Korrelaatio $r=0,90$, joten käyrät käyttäytyvät hyvin samantapaisesti. Kaaviot on esitetty alla olevissa kuvissa 24 ja 25. Mittaukset ja laskelmat löytyvät liitteen 2 sivulta 4 taulukoista 7 ja 8.



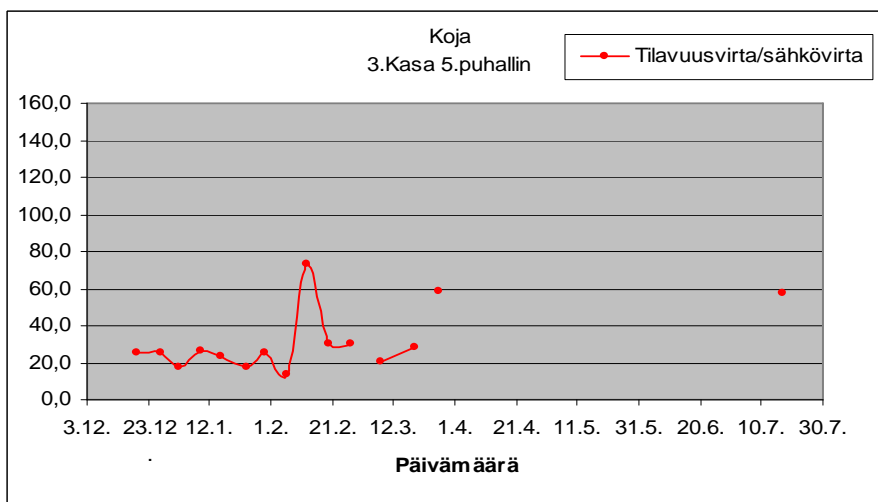
Kuva 24. Kasan 1 puhaltimen 5 tilavuusvirta/sähkövirta.



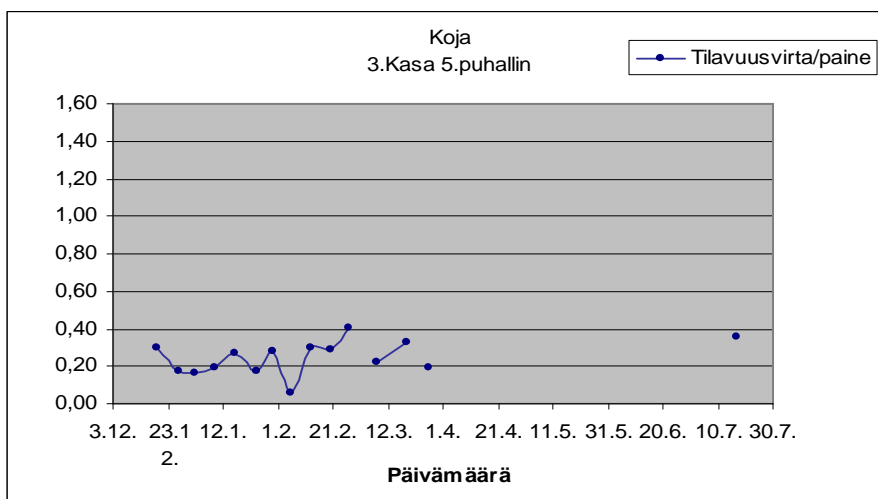
Kuva 25. Kasan 1 puhaltimen 5 tilavuusvirta/paine.

6.4.2 Kasan 3 puhallin 5

Puhaltimen keskihajonnat ovat $s(q_v) = 2737 \text{ l/s}$, $s(p) = 0,04 \text{ bar}$ ja $s(I) = 98 \text{ A}$. Tunnusluvut ovat $\frac{q_v}{I} = 31,5$ ja $\frac{q_v}{p} = 0,25$. Korrelaatio $r = 0,41$, joten käyrillä on vähänlaisesti yhteistä käyttäytymistä. Tällä puhaltimella on ollut koko vertailun pisin seisokkiaika, mikä näkyy erittäin pitkänä käyrän puuttumisena. Kaaviot on esitetty alla olevissa kuvissa 26 ja 27. Mittaukset ja laskelmat löytyvät liitteen 2 sivulta 5 taulukoista 9 ja 10.



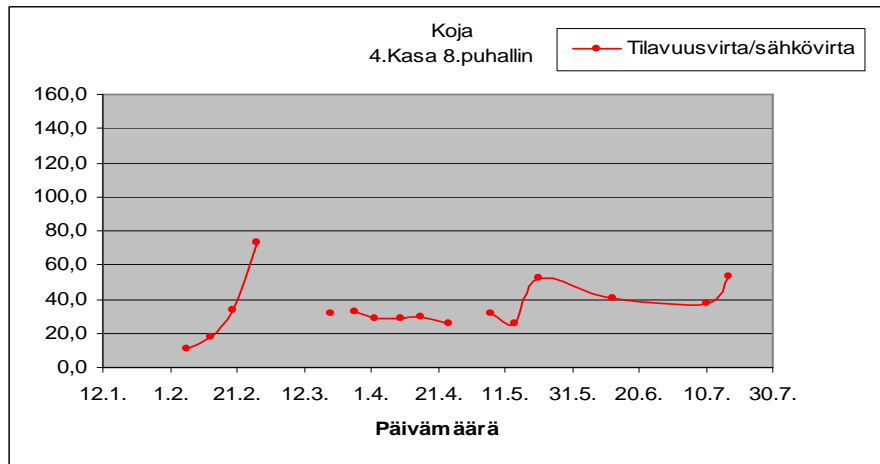
Kuva 26. Kasan 3 puhaltimen 5 tilavuusvirta/sähkövirta.



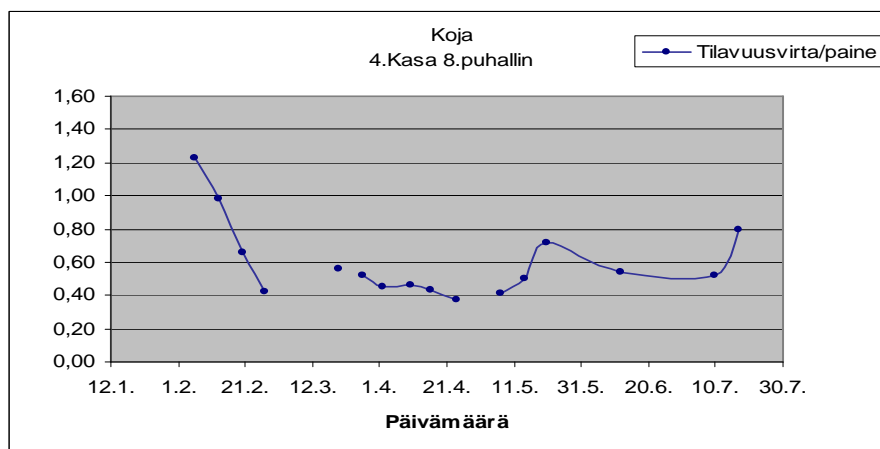
Kuva 27. Kasan 3 puhaltimen 5 tilavuusvirta/paine.

6.4.3 Kasan 4 puhallin 8

Puhaltimen keskihajonnat ovat $s(q_v) = 3721$ l/s, $s(p) = 0,09$ bar ja $s(I) = 111$ A. Tunnusluvut ovat $\frac{q_v}{I} = 34,6$ ja $\frac{q_v}{p} = 0,60$. Korrelaatio $r = -0,33$. Erikoista korrelaation arvossa on negatiivisuus, sillä kaikilla muilla puhaltimilla korrelaatio on positiivinen. Kyseisen puhaltimen käyrät siis käyttäytyvät keskenään päinvastaisesti, kuitenkin melko vähän. Kuten kaavioista nähdään, ensimmäisten mittausten aikana tilanne on ollut poikkeava, ilmeisesti puhallin ei ole ollut ns. alueellaan, eli suositusarvojen mukaisesti. Lisäksi korrelaation itseisarvo on kaikista puhaltimista pienin. Kaaviot on esitetty alla olevissa kuvissa 28 ja 29. Mittaukset ja laskelmat löytyvät liitteestä 2 sivulta 6 taulukoista 11 ja 12.



Kuva 28. Kasan 4 puhaltimen 8 tilavuusvirta/sähkövirta.



Kuva 29. Kasan 4 puhaltimen 8 tilavuusvirta/paine.

6.5 Tulosten tarkastelu

Tuloksia tarkasteltaessa voidaan puhaltimista tehdä monenlaisia havaintoja. Samanmallisten puhaltimien väliltä löytyi yllättävän suuria eroavaisuuksia kaikissa ryhmissä. Tästä voidaan päätellä, että kaikki puhaltimet toiminta-alueineen ovat yksilöllisiä. Erimallisten puhaltimien välillä myös esiintyy eroavaisuuksia, mikä tietysti on luonnollista. Puhaltimien tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa 3.

Taulukko 3. Puhaltimien tulokset.

Puhallin	Keskihajontaluvut			Tunnusluvut ja korrelaatio		
	$s(q_v)$	$s(p)$	$s(I)$	$\frac{q_v}{I}$	$\frac{q_v}{p}$	r
Fläkt primääri 1.4.	3899	0,04	48	81,0	0,88	0,95
Fläkt primääri 3.1.	3982	0,08	77	37,9	0,45	0,77
Fläkt primääri 3.4.	3547	0,11	104	39,9	1,16	0,70
Koja primääri 1.5.	4818	0,03	18	37,7	0,79	0,90
Koja primääri 3.5.	2737	0,04	98	31,5	0,25	0,41
Koja primääri 4.8.	3721	0,09	111	34,6	0,60	-0,33
Fläkt sekundääri 1.5.	1872	0,07	175	28,5	2,93	0,34
Fläkt sekundääri 1.7.	3320	0,02	22	27,4	2,37	0,58
Fläkt sekundääri 1.9.	4938	0,07	51	31,0	1,07	0,43

Kuten yllä olevasta taulukosta keskihajontalukuja tarkasteltaessa nähdään, tasaisimman tilavuusvirran on tuottanut ”Fläkt sekundääri 1.5.” ja epätasaisimman ”Fläkt sekundääri 1.9.” Ero on huomattava, yli 2,6-kertainen. Tasaisin vastapaine on ollut puhaltimella ”Fläkt sekundääri 1.7.” ja epätasaisin ”Fläkt primääri 3.4.” Ero on suuri, 5,5-kertainen. Tasaisin sähkövirran kulutus on ollut puhaltimella ”Koja primääri 1.5.” ja epätasaisin ”Fläkt sekundääri 1.5.” Ero on erittäin suuri, lähes 10-kertainen.

Siirryttäessä tunnuslukujen ja korrelaation puolelle parhaimman tilavuusvirta/sähkövirta – arvon sai ”Fläkt primääri 1.4.” ja huonoimman sai ”Fläkt sekundääri 1.7.” Eroa on lähes 3-kertaisesti. Parhaimman tilavuusvirta/paine-arvon sai ”Fläkt sekundääri 1.5.” ja huonoimman sai ”Koja primääri 3.5.” Eroa on kertynyt valtavasti, lähes 12-kertaisesti. Korrelaation arvossa parhaiten menestyi ”Fläkt primääri 1.4.” ja huonoimman arvon, joka on muista poiketen negatiivinen, sai ”Koja primääri 4.8.” Negatiivisesta arvosta johtuen voidaan päätellä, että puhallin ei ole kaikkina mittaushetkinä toiminut ns. alueellaan, eli suositusarvojen mukaisesti.

Laitteiden valmistajien välisestä erosta mainittakoon sen verran, että Fläkt Woods hallitsee molempia ääripäitä, ollen useimmiten sekä paras että huonoin, kun taas Koja näyttää olevan enemmän ”keskitien” kulkija.

Tutkittaessa aiemmin esiteltyjä kaavioita huomataan, että vuodenaikojen ja sitä kautta olosuhteiden vaihtelulla ei ole havaittavissa merkittävän suurta vaikutusta puhallinten arvoihin, vaikka näin luulisi olevan. Ilmeisesti tarvittaisiin pitempiäaikainen mittausjakso vuodenaikojen mahdollisten selkeämpien vaikutusten selvittämiseen.

Tutkimuksen perusteella kaikkia puhaltimia on hankala laittaa tiettyyn paremmuusjärjestykseen, mutta taulukkoa ja kaavioita luettaessa voidaan nimetä paras ja huonoin puhallin. Tilavuusvirran mittauksen virheestä huolimatta parhaiten selvisi ”Fläkt primääri 1.4.”, koska keskihajontaluvut ovat suhteellisen matalia, $\frac{q_v}{I}$ - arvo paras (edelleen paras, 40,5, vaikka arvo jaetaan kahdella) ja korrelaation arvo korkein. Kaavioita tarkasteltaessa nähdään, kuinka käyrät ovat lähestulkoon toistensa kaltaisia. Tilavuusvirran virhe ei vaikuta korrelaation arvoon, sillä tilavuusvirta on sama molemmissa korreloinnin osapuolissa. $\frac{q_v}{p}$ – arvo putoaa puoleen aiemmin lasketusta, ollen 0,44. Lisäksi virhe vaikuttaa tilavuusvirran keskihajonnan arvoon kaksinkertaistamalla sen, eli todellinen hajonta 1950 l/s on puolet pienempi puolitetuilla arvoilla laskettaessa. Huonoimmaksi puhaltimeksi voidaan nimetä ”Koja primääri 4.8.”, koska keskihajontaluvut ovat suhteellisen suuria ja negatiivinen korrelaatio kertoo puhaltimen olleen toiminta-alueensa ulkopuolella.

7 KÄYTÄNNÖN ONGELMIA

Kuten yleensä, koneiden ja laitteiden hyvien ominaisuuksien lisäksi niihin liittyy monenlaisia ongelmia, eivätkä puhaltimet tee tässä asiassa poikkeusta. Talvivaarassa puhaltimet tekevät työtä erittäin haastavissa olosuhteissa, mikä osaltaan sekä lisää ongelmia että lyhentää koneiden käyttöikä. Ulkolämpötilan suuri vaihtelu jopa $+35^{\circ}\text{C}$:n ja -40°C :n välillä rasittaa sekä puhallinten rakenneosia että ilmastusputkistoa. Lämpölaajeneminen voi olla runkoputkessa niin voimakasta, että putken T-haara siirtyy puhaltimeen nähden, aiheuttaen repeämisen joko putkessa tai puhaltimen ja putken välisessä liitoksessa. Lisäksi liuotuskasan hapan ympäristö aiheuttaa pinnallisia syöpymisiä ja hienojakoinen kivipöly tunkeutuu joka paikkaan, aiheuttaen mm. liikkuvien osien nopeampaa kulumista.

Kesäisten hellejaksojen aikana varsinkin sekundäärin puhaltimet kärsivät öljyjen lämpötilan noususta, johtaen ”lämpöhalvaukseen”, jolloin automatiikka sammuttaa puhaltimen. Sammutusrajaksi on asetettu öljyn lämpötilan noustessa $+70^{\circ}\text{C}$:seen. Kyseinen ongelma korjautuisi mahdollisesti erillisellä öljynlauhdutinyksiköllä. Lisäksi kesäisin esiintyvät ukkoset voivat vaurioittaa puhaltimien sähköisiä laitteita, aiheuttaen jopa useamman päivän seisokin.

Talvivaarassa malmikasojen ilmastukseen liittyvät ongelmat ovat varsin haasteellisia. Erittäin yleinen ongelma on kasojen kovettuminen kivikovaksi, jonka seurauksena ilma ei pääse kunnolla vaikuttamaan koko kasaan, heikentäen näin liuotuksen tulosta. Kyseisen ongelman ratkaisemiseksi voisi kokeilla ajoittain tehtävää kasan kuohkeuttamista erillisen paineilma-venttiilin avulla. Lisäksi melko yleinen vaiva on malmikasojen alla olevien ilmastusputkien täyttyminen kasteluliuksella, joka aiheuttaa puhaltimien ”humppaamista”, eli pyörimisnopeus ei olekaan tasainen vaan muuttuu vaihtelevaksi. Samalla myös malmikasaan menevä ilmastus heikkenee. Tähän ongelmaan voitaisiin kokeilla ratkaisuksi sitä, että suojataan ilmaputket sopivalla katerakennelmalla. Kyseiset ongelmat eivät suoranaisesti johdu puhaltimista, vaan itse prosessista.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla Talvivaaran bioliuotusprosessissa käytettäviä puhaltimia. Vertailu tehtiin mittausten perusteella, jotka kuuluvat Talvivaaran normaaleihin työruutiineihin, eli työtä varten ei ole tehty erillisiä mittauksia. Vertailussa ei huomioida laitteiden rakenteiden, tekniikoiden tai materiaalien välisiä eroja, eikä fyysistä kokoa, vain mitattuja arvoja on käytetty. Kaiken kaikkiaan puhaltimien vertailu on erittäin haastavaa, sillä muuttuvia ja vaikuttavia tekijöitä on paljon. Vertailussa mukana olevat puhaltimet on valittu Talvivaaran toimesta.

Työn tuloksen perusteella puhaltimia on hankala laittaa tiettyyn paremmuusjärjestykseen kaikkia arvoja tarkasteltaessa, koska monella puhaltimella on ”jotain hyvää ja jotain huonoa”. Tarkka paremmuus saataisiin mahdollisesti selville painottamalla arvoja. Puhaltimia vertaillessa onkin mielekkäämpää tarkastella yhtä arvoa kerrallaan. Tuloksista kuitenkin saadaan selville sekä paras että huonoin puhallin. Lisäksi työssä laskettujen arvojen perusteella voidaan selvästi havaita puhallin, joka ei toimi alueellaan, eli valmistajan suositusarvojen mukaisesti.

Mittaustulosten joukossa oli ”Fläkt primääri 1.4.” virheellisten tilavuusvirran arvojen lisäksi muutamia virheellisiltä vaikuttavia arvoja, jotka kuitenkin on otettu vertailuun mukaan, koska näin on haluttu välttää spekulointi siitä, mikä on ”oikealta vaikuttava” tulos ja mikä ei. Muussa tapauksessa olisi tullut hankaluuksia valita ”oikeita tuloksia” vertailuun mukaan. Alkuperäinen suunnitelma oli yksinkertaisesti ja rehellisesti ottaa 15 tuoreinta mittausta, ja mikäli niiden joukossa on virheellisiä arvoja, ne ovat mukana vertailussa. Samalla myös saadaan hieman käsitystä mittauskertojen onnistumisesta ja luotettavuudesta. Tulosten luotettavuuden parantamiseksi voitaisiin perehtyä syvällisemmin mittareiden käyttämiseen ja toimintaan. Mittauksia voitaisiin tehdä esim. kahdella erimerkkisellä mittarilla tulosten poikkeamien havaitsemiseksi. Lisäksi mittaaajien huolellisuus on tärkeää luotettavien tulosten saamiseksi.

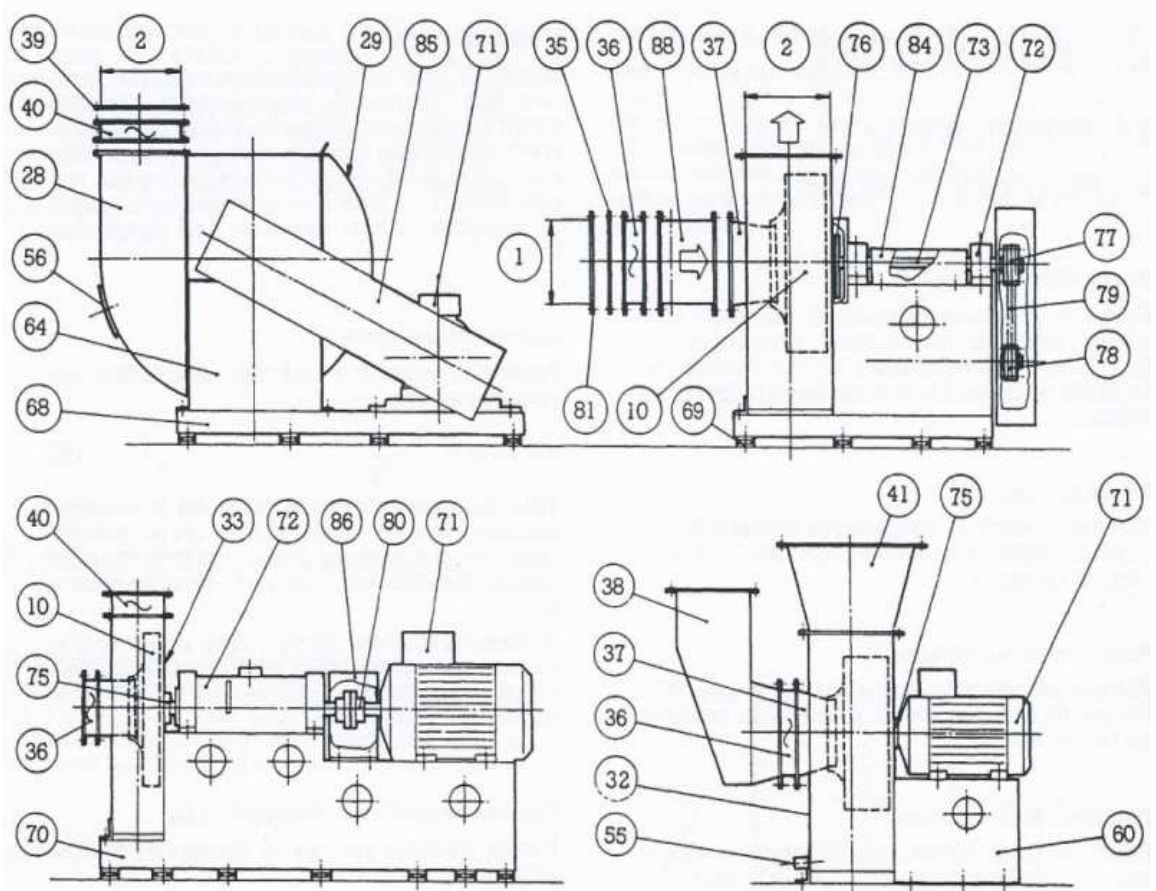
LÄHTEET

1. Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj:n nettisivut. Luettu 15.04.2013. [www-sivusto] www.talvivaara.com
2. Talvivaaran henkilökunta.
3. Fläkt Woods Puhallintekninen käsikirja. Luettu 2.12.2011.
4. Kuva: 250mm. siipipyörä. Luettu 13.02.2013. [www-sivusto] <http://www.ebmpapst.fi/fi/tuotteet/Aksiaalipuhaltimet/Aksiaalipuhaltimet/A4E250AA0401>
5. Mikko Mäkelä, Lauri Soininen, Seppo Tuomola, Juhani Öistämö ja Marko Kulmala. Tekniikan Kaavasto. ISBN 952-5491-08-0. Luettu 20.03.2013.
6. Hilikka Wuolijoki ja Pekka Norlamo. Tutkivaa matematiikkaa 1: Tilastot ja todennäköisyys. ISBN 951-0-22604-1. Luettu 18.03.2013.
7. Pekka Kontkanen, Riitta Liira, Kerkko Luosto, Juha Nurmi, Riikka Nurmiainen, Anja Ronkainen ja Sisko Savolainen. Pyramidi 1: matematiikan tietokirja. ISBN 951-26-4303-0. Luettu 31.03.2013.
8. Fandata HAWK_47_3_1155.pdf. Luettu 17.02.2013. [PDF-tiedosto]
9. HAWK_56_fandata and curve.pdf. Luettu 16.02.2013. [PDF-tiedosto]
10. Talvivaara_ilmastuspuhallin_mitoituspisteet_18-01-08.pdf. Luettu 15.02.2013. [PDF-tiedosto]

LIITTEET

- LIITE 1 Keskipakoispuhaltimen rakenneosien nimityksiä
- LIITE 2 Mittaukset ja laskelmat

KESKIPAKOISPUHALTIMEN RAKENNEOSIEN NIMITYKSIÄ[3.]

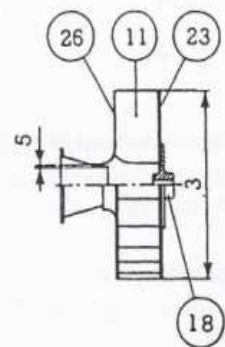
**Mitat:**

- 1 Imuaukko
2 Paineaukko
3 Siipipyörän halkaisija
5 Siipipyörävällys

Rakennneosat:

- 10 Siipipyörä
11 Siivet
18 Napa
23 Siipipyörän takalevy
26 Siipipyörän etulevy
28 Kaapu
29 Kaavun vaippa
32 Kaavun etulevy
33 Kaavun takalevy
35 Imuaukon laippa
36 Imupuolen liitin
37 Imuosa (-kartio, -lieriö)
38 Imulaatikko
39 Paineaukon laippa
40 Painepuolen liitin
41 Painepuolen muuntoliitin

- 55 Nesteenpoistoyhde
56 Tarkastusluukku
60 Moottorin jalusta
64 Laakeroinnin jalusta
68 Alusta
69 Tärinänvaimennin
70 Moottorin ja laakeroinnin jalusta
71 Sähkomoottori tai muu käyttölaite
72 Laakerit
73 Akseli
75 Akselin läpivientikohdan tiiviste
76 Jäähdytyskiekko
77 Puhaltimen hihnapyörä
78 Moottorin hihnapyörä
79 Käyttöhihnat
80 Kytkin
81 Imupuolen suojaverkko
84 Akselin suojus
85 Hihnakäytön suojus
86 Kytkimen suojus
88 Johtosiipisäädin



MITTAUKSET JA LASKELMAT

Fläkt, primääripuhaltimet.

Taulukko 1. Kasan 1 puhaltimen 4 mittaukset.

pvm	sähkövirta A	paine bar	tilavuusvirta l/s
27.2.2012	379	0,3	29021
5.3.2012	391	0,26	18356
8.3.2012			
19.3.2012	346	0,3	20278
20.3.2012			
26.3.2012	353	0,33	18537
27.3.2012			
2.4.2012	345	0,32	24610
10.4.2012	340	0,33	23547
16.4.2012	330	0,3	23739
24.4.2012	323	0,3	25266
30.4.2012	333	0,32	24440
7.5.2012	336	0,29	30039
14.5.2012	325	0,33	27279
21.5.2012	315	0,29	29417
12.6.2012	304	0,29	29632
10.7.2012	200	0,2	26962
17.7.2012	240	0,24	28173
Keskiarvo	324	0,29	25286
Keskihajonta	48	0,04	3899

Taulukko 2. Kasan 1 puhaltimen 4 tunnusluvut ja korrelaatio.

Tilavuusvirta/sähkövirta	Tilavuusvirta/paine/100000
76,6	0,97
46,9	0,71
58,6	0,68
52,5	0,56
71,3	0,77
69,3	0,71
71,9	0,79
78,2	0,84
73,4	0,76
89,4	1,04
83,9	0,83
93,4	1,01
97,5	1,02
134,8	1,35
117,4	1,17
Tunnuslukujen korrelaatio	0,95
Keskiarvo	81,0
	0,88

Fläkt, primääripuhaltimet.

Taulukko 3. Kasan 3 puhaltimen 1 mittaukset.

pvm	sähkövirta A	paine bar	tilavuusvirta l/s
20.2.2012	350	0,19	15117
27.2.2012	391	0,26	16852
5.3.2012			
8.3.2012	366	0,24	16648
19.3.2012	359	0,22	13092
20.3.2012			
26.3.2012			
27.3.2012			
2.4.2012	150	0,14	7585
10.4.2012	290	0,34	8282
16.4.2012	300	0,33	8039
24.4.2012	289	0,33	11107
30.4.2012	293	0,33	6816
7.5.2012	282	0,33	9406
14.5.2012	282	0,33	11468
21.5.2012	270	0,33	4079
12.6.2012	317	0,27	12596
10.7.2012	220	0,24	12661
17.7.2012	110	0,08	5018
Keskiarvo	285	0,26	10585
Keskihajonta	77	0,08	3982

Taulukko 4. Kasan 3 puhaltimen 1 tunnusluvut ja korrelaatio.

Tilavuusvirta/sähkövirta	Tilavuusvirta/paine/100000
43,2	0,80
43,1	0,65
45,5	0,69
36,5	0,60
50,6	0,54
28,6	0,24
26,8	0,24
38,4	0,34
23,3	0,21
33,4	0,29
40,7	0,35
15,1	0,12
39,7	0,47
57,6	0,53
45,6	0,63
Tunnuslukujen korrelaatio	0,77
Keskiarvo	37,9
	0,45

Fläkt, primääripuhaltimet.

Taulukko 5. Kasan 3 puhaltimen 4 mittaukset.

pvm	sähkövirta A	paine bar	tilavuusvirta l/s
13.2.2012	290	0,1	14393
20.2.2012	325	0,31	11018
27.2.2012	342	0,34	9671
5.3.2012			
8.3.2012	384	0,32	13031
19.3.2012			
20.3.2012	273	0,27	10237
26.3.2012			
27.3.2012	107	0,08	5480
2.4.2012	105	0,03	3733
10.4.2012	115	0,08	2983
16.4.2012	115	0,08	5634
24.4.2012	115	0,08	6161
30.4.2012	195	0,08	5988
7.5.2012	114	0,08	2852
14.5.2012	115	0,08	5807
21.5.2012	110	0,07	5892
12.6.2012			
10.7.2012			
17.7.2012	110	0,01	8051
Keskiarvo	188	0,13	7395
Keskihajonta	104	0,11	3547

Taulukko 6. Kasan 3 puhaltimen 4 tunnusluvut ja korrelaatio.

Tilavuusvirta/sähkövirta	Tilavuusvirta/paine/100000
49,6	1,44
33,9	0,36
28,3	0,28
33,9	0,41
37,5	0,38
51,2	0,69
35,6	1,24
25,9	0,37
49,0	0,70
53,6	0,77
30,7	0,75
25,0	0,36
50,5	0,73
53,6	0,84
73,2	8,05
Tunnuslukujen korrelaatio	0,70
Keskiarvo	39,9
	1,16

Koja, primääripuhaltimet.

Taulukko 7. Kasan 1 puhaltimen 5 mittaukset.

pvm	sähkövirta A	paine bar	tilavuusvirta l/s
20.2.2012	400	0,16	15008
27.2.2012	407	0,165	13379
5.3.2012	404	0,15	6967
8.3.2012			
19.3.2012			
20.3.2012	404	0,16	10439
26.3.2012	401	0,17	10428
27.3.2012			
2.4.2012	404	0,17	16150
10.4.2012	380	0,22	8267
16.4.2012	390	0,2	18593
24.4.2012	389	0,22	16806
30.4.2012	370	0,21	12350
7.5.2012	365	0,2	18118
14.5.2012	367	0,2	17700
21.5.2012	350	0,2	20516
12.6.2012			
10.7.2012	370	0,16	22846
17.7.2012	390	0,15	8471
Keskiarvo	386	0,18	14403
Keskihajonta	18	0,03	4818

Taulukko 8. Kasan 1 puhaltimen 5 tunnusluvut ja korrelaatio.

Tilavuusvirta/sähkövirta	Tilavuusvirta/paine/100000
37,5	0,94
32,9	0,81
17,2	0,46
25,8	0,65
26,0	0,61
40,0	0,95
21,8	0,38
47,7	0,93
43,2	0,76
33,4	0,59
49,6	0,91
48,2	0,88
58,6	1,03
61,7	1,43
21,7	0,56
Tunnuslukujen korrelaatio	0,90
Keskiarvo	37,7
	0,79

Koja, primääripuhaltimet.

Taulukko 9. Kasan 3 puhaltimen 5 mittaukset.

pvm	sähkövirta A	paine bar	tilavuusvirta l/s
19.12.2011	250	0,21	6277
27.12.2011	235	0,34	5873
2.1.2012	317	0,34	5703
9.1.2012	250	0,34	6550
16.1.2012	397	0,34	9229
24.1.2012	348	0,34	5954
30.1.2012	380	0,34	9617
6.2.2012	146	0,34	1967
13.2.2012	140	0,34	10248
20.2.2012	320	0,34	9733
27.2.2012	360	0,27	10830
5.3.2012			
8.3.2012	370	0,34	7443
19.3.2012	393	0,34	11003
20.3.2012			
26.3.2012			
27.3.2012	110	0,34	6442
2.4.2012			
10.4.2012			
16.4.2012			
24.4.2012			
30.4.2012			
7.5.2012			
14.5.2012			
21.5.2012			
12.6.2012			
10.7.2012			
17.7.2012	210	0,34	12184
Keskiarvo	282	0,33	7937
Keskihajonta	98	0,04	2737

Taulukko 10. Kasan 3 puhaltimen 5 tunnusluvut ja korrelaatio.

Tilavuusvirta/sähkövirta	Tilavuusvirta/paine/100000
25,1	0,30
25,0	0,17
18,0	0,17
26,2	0,19
23,2	0,27
17,1	0,18
25,3	0,28
13,5	0,06
73,2	0,30
30,4	0,29
30,1	0,40
20,1	0,22
28,0	0,32
58,6	0,19
58,0	0,36
Tunnuslukujen korrelaatio	0,41
Keskiarvo	31,5
	0,25

Koja, primääripuhaltimet.

Taulukko 11. Kasan 4 puhaltimen 8 mittaukset.

pvm	sähkövirta A	paine bar	tilavuusvirta l/s
6.2.2012	111	0,01	1224
13.2.2012	112	0,02	1959
20.2.2012	175	0,09	5888
27.2.2012	156	0,27	11457
5.3.2012			
8.3.2012			
19.3.2012			
20.3.2012	372	0,21	11769
26.3.2012			
27.3.2012	383	0,24	12442
2.4.2012	401	0,26	11622
10.4.2012	390	0,24	11076
16.4.2012	330	0,23	9910
24.4.2012	403	0,27	10179
30.4.2012			
7.5.2012	312	0,24	10006
14.5.2012	368	0,19	9429
21.5.2012	260	0,19	13531
12.6.2012	253	0,19	10322
10.7.2012	390	0,28	14459
17.7.2012	150	0,1	7959
Keskiarvo	285	0,19	9577
Keskihajonta	111	0,09	3721

Taulukko 12. Kasan 4 puhaltimen 8 tunnusluvut ja korrelaatio.

Tilavuusvirta/sähkövirta	Tilavuusvirta/paine/100000
11,0	1,22
17,5	0,98
33,6	0,65
73,4	0,42
31,6	0,56
32,5	0,52
29,0	0,45
28,4	0,46
30,0	0,43
25,3	0,38
32,1	0,42
25,6	0,50
52,0	0,71
40,8	0,54
37,1	0,52
53,1	0,80
Tunnuslukujen korrelaatio	-0,33
Keskiarvo	34,6
	0,60

Fläkt, sekundääripuhaltimet.

Taulukko 13. Kasan 1 puhaltimen 5 mittaukset.

pvm	sähkövirta A	paine bar	tilavuusvirta l/s
31.1.2012	810	0,08	20 810
8.2.2012	780	0,07	17 530
14.2.2012	797	0,08	21 952
20.2.2012			
27.2.2012			
9.3.2012	305	0,04	15 540
27.3.2012	716	0,05	18 910
3.4.2012	653	0,05	19 849
10.4.2012	640	0,05	18 819
16.4.2012	650	0,05	17 349
24.4.2012	818	0,06	18 548
30.4.2012	803	0,05	18 186
7.5.2012	815	0,06	15 607
14.5.2012	823	0,06	15 596
21.5.2012	800	0,31	16 546
14.6.2012	775	0,1	17 937
10.7.2012	290	0,06	17 756
Keskiarvo	698	0,08	18 062
Keskihajonta	175	0,07	1872

Taulukko 14. Kasan 1 puhaltimen 5 tunnusluvut ja korrelaatio.

Tilavuusvirta/sähkövirta	Tilavuusvirta/paine/100000
25,7	2,60
22,5	2,50
27,5	2,74
50,9	3,88
26,4	3,78
30,4	3,97
29,4	3,76
26,7	3,47
22,7	3,09
22,6	3,64
19,2	2,60
19,0	2,60
20,7	0,53
23,1	1,79
61,2	2,96
Tunnuslukujen korrelaatio	0,34
Keskiarvo	28,5
	2,93

Fläkt, sekundääripuhaltimet.

Taulukko 15. Kasan 1 puhaltimen 7 mittaukset.

pvm	sähkövirta A	paine bar	tilavuusvirta l/s
20.2.2012	642	0,045	19113
27.2.2012	637	0,045	15709
9.3.2012	667	0,07	23717
27.3.2012	670	0,08	18062
3.4.2012	682	0,09	16399
10.4.2012	670	0,08	17575
16.4.2012	685	0,09	15856
24.4.2012	664	0,09	23377
30.4.2012	655	0,08	16535
7.5.2012	663	0,08	16060
14.5.2012	667	0,085	20561
21.5.2012	650	0,07	18887
14.6.2012	672	0,1	22280
10.7.2012	720	0,13	18661
17.7.2012	630	0,12	11084
Keskiarvo	665	0,08	18258
Keskihajonta	22	0,02	3320

Taulukko 16. Kasan 1 puhaltimen 7 tunnusluvut ja korrelaatio.

Tilavuusvirta/sähkövirta	Tilavuusvirta/paine/100000
29,8	4,25
24,7	3,49
35,6	3,39
27,0	2,26
24,0	1,82
26,2	2,20
23,1	1,76
35,2	2,60
25,2	2,07
24,2	2,01
30,8	2,42
29,1	2,70
33,2	2,23
25,9	1,44
17,6	0,92
Tunnuslukujen korrelaatio	0,58
Keskiarvo	27,4
	2,37

Fläkt, sekundääripuhaltimet.

Taulukko 17. Kasan 1 puhaltimen 9 mittaukset.

pvm	sähkövirta A	paine bar	tilavuusvirta l/s
20.2.2012	614	0,275	20 584
27.2.2012	626	0,28	16704
9.3.2012	630	0,3	25 888
27.3.2012	792	0,29	19023
3.4.2012	707	0,28	17926
10.4.2012	740	0,28	18638
16.4.2012	715	0,26	15246
24.4.2012	671	0,27	32007
30.4.2012	666	0,27	25175
7.5.2012	746	0,12	22529
14.5.2012	707	0,14	25492
21.5.2012	685	0,13	25605
14.6.2012	656	0,135	18571
10.7.2012	650	0,14	19113
17.7.2012	640	0,17	13572
Keskiarvo	683	0,22	21 072
Keskihajonta	51	0,07	4938

Taulukko 18. Kasan 1 puhaltimen 9 tunnusluvut ja korrelaatio.

Tilavuusvirta/sähkövirta	Tilavuusvirta/paine/100000
33,5	0,75
26,7	0,60
41,1	0,86
24,0	0,66
25,4	0,64
25,2	0,67
21,3	0,59
47,7	1,19
37,8	0,93
30,2	1,88
36,1	1,82
37,4	1,97
28,3	1,38
29,4	1,37
21,2	0,80
Tunnuslukujen korrelaatio	0,43
Keskiarvo	31,0
	1,07