



Timo Suorsa

**PROSESSIHÖYRYN KÄYTTÖTUTKIMUS
OULUN KESKUSPESULASSA**

**PROSESSIHÖYRYN KÄYTTÖTUTKIMUS
OULUN KESKUSPESULASSA**

Timo Suorsa
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, energiatekniikka

Tekijä: Timo Suorsa

Opinnäytetyön nimi: Prosessihöyryn käyttötutkimus Oulun Keskuspesulassa

Työn ohjaajat: Seppo Hannula, Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2013

Sivumäärä: 44 + 6 liitettä

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia Oulun Keskuspesulan prosessihöyryn käyttöä pyykin pesuprosessissa. Tutkimus keskittyi tekstiilien kuivaamiseen eli rumpukuivaajiin ja mankeleihin. Tavoitteena oli löytää sellaiset koneet, jotka kuluttavat energiaa eniten. Toinen tavoite oli löytää ratkaisuja energiankulutuksen pienentämiseen edellä mainituissa koneissa.

Tutkimusta varten hankittiin kaksi TVA-höyrymittaria. Mittarit asennettiin höyrynsyöttöputkiin. Höyryputkiin jouduttiin tekemään hitsaustöitä, jotta mittari saatiin asennettua aina haluttuun kohtaan. Höyryllä lämmitetään rumpukuivaajissa kuivausrummun sisällä kiertävää ilmaa. Ilma kiertää lämmönsiirtimen kautta kuivausrumpuun. Mankeleissa höyryllä lämmitetään kourua. Kourua vasten pyörii tela, ja mankeloitavat tekstiilit kulkevat kourun ja telan välissä.

Mittauksien perusteella yksi mankeli kuluttaa höyryä paljon enemmän kuin kaksi muuta mankeliä. Rumpukuivaajissa ei ollut suuria eroja höyrynkulutuksessa verrattaessa niitä saman kuivauslinjan kuivaajiin. Verrattaessa kahden eri kuivauslinjan välillä oli suurempi ero rumpukuivaajissa. Uuteen samantyyppiseen rumpukuivaajaan verrattaessa löytyi höyrynkulutuksessa isompi ero.

Vanha mankeli, jonka höyrynkulutus on suuri, kannattaa poistaa käytöstä kokonaan ja hankkia tilalle uusi mankeli. Uusi mankeli kannattaa ottaa käyttöön sellaiselle mankelilinjalle, jossa sillä ajetaan mahdollisimman paljon tekstiilejä. Kannattaa myös harkita rumpukuivaajien uusimista sekä isompien puristimien hankkimista. Isompien puristimien avulla saadaan tekstiileistä puristettua kosteutta enemmän pois ennen kuin tekstiilit siirtyvät rumpukuivaajiin. Mekaaninen kosteuden poisto on halvempaa kuin höyryn avulla tapahtuva kuivaaminen. Näillä keinoilla saadaan pienennettyä höyrynkulutusta kuivausprosessin aikana.

Asiasanat: höyryn mittaus, entalpia, energiankulutus, rumpukuivaaja, mankeli

ALKULAUSE

Opinnäytetyö tehtiin Oulun Keskuspesula Oy:lle. Toivon, että työstä on hyötyä pesulalle tulevaisuudessa uusia laitehankintoja suunniteltaessa. Esitän kiitokseni kunnossapito-osastolle ja muulle organisaatiolle kiinnostavasta opinnäytetyöstä, jonka ansiosta sain tutustua ja oppia pesulan toiminnasta.

Haluan kiittää kunnossapidon henkilökuntaa ja muuta pesulan henkilöstöä avusta, neuvoista ja tiedoista, joita olen saanut työhön. Erityiset kiitokset haluan osoittaa huoltopäällikkö Seppo Hannulalle ja lehtori Jukka Ylikunnarille.

Oulussa 8.5.2013

Timo Suorsa

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Oulun Keskuspesula Oy	7
1.2 Työn tavoite	7
2 HÖYRYN KÄYTTÖ PESU- JA KUIVAUSPROSESSISSA	8
2.1 Kuivaaja Lavatec TT 735	8
2.1.1 Kuivaajan toimintaperiaate	11
2.1.2 Lämpöpatteri	12
2.2 Passat 253 -rumpukuivaaja	13
2.3 Tunnelikuivaaja Jenform Omega plus IV	13
2.4 Mankelit	16
2.4.1 Jenroll EX 1200	17
2.4.2 Em D’Hooge Addironer 4R 33 L 3250	18
3 HÖYRYN TERMODYNAMIIKKA	19
3.1 Termodynamiikan 1. pääsääntö	19
3.2 Termodynamiikan 2. pääsääntö	20
3.3 Entalpia	21
3.4 Entropia	22
3.5 Lämmönsiirrin	24
4 MITTALAITE JA MITTARIN ASENNUS	26
4.1 TVA-höyrymittari	26
4.2 Mittarin asennus	27
5 MITTAUSTULOKSET	29
5.1 Lavatec TT 735	29
5.2 Passat 253	31
5.3 Jenform Omega plus IV	32
5.4 Mankelit	32
6 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI JA LASKELMAT	35
6.1 Lavatec TT735 -rumpukuivaajat	35

6.2 Passat 253 -rumpukuivaajat	36
6.3 Tunnelikuivaaja Jenform Omega plus IV	37
6.4 Mankelit	37
7 HÖYRYN KÄYTÖN PARANNUSEHDOTUS	39
8 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	43
LIITTEET	44

1 JOHDANTO

1.1 Oulun Keskuspesula Oy

Oulun Keskuspesula Oy on tekstiilihuoltopalveluja tarjoava yritys, ja se on yksi suurimmista alan yrityksistä Suomessa. Yritys työllistää noin 100 työntekijää. Päivittäin yritys toimittaa noin 25 000 tekstiiliä asiakkailleen. (1.)

Yritys sijaitsee lähellä Oulun keskustaa, Oulun yliopistollisen sairaalan vieressä. Yrityksen omistaa Oulun kaupunki ja Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri. Yrityksen arvoja ovat turvallisuus, täsmällisyys ja tehokkuus. (1.)

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyössä tutkitaan höyryn kulutusta tekstiilien kuivausprosessissa. Höyryä käytetään pesulassa pesuveden lämmittämiseen, tekstiilien kuivaamiseen kuivaajissa ja mankeleissa.

Tavoitteena on löytää ratkaisuja höyryn kulutuksen pienentämiseen kuivausprosessin aikana. Mittauksien avulla on tarkoitus selvittää eri koneiden höyryn kulutusta ja löytää sellaiset koneet, jotka kuluttavat höyryä eniten.

Tutkimus keskittyy kuivureihin ja mankeleihin. Nämä laitteet kuluttavat eniten höyryä pesuprosessissa. Yrityksellä on tarkoitus mahdollisesti uudistaa kuivureita ja mankeleita, jos mittauksien aikana ilmenee suuria höyryn kulutuksen eroja verrattuna uusiin koneisiin.

2 HÖYRYN KÄYTTÖ PESU- JA KUIVAUSPROSESSISSA

Pesulan pyykinpesuprosessi alkaa pyykinlajittelulla. Siinä samanlaiset tekstiilit lajitellaan omiin säkkeihin. Yhteen säkkiin lajitellaan 50 kg pyykkiä. Säkit siirtyvät odottamaan pesukoneeseen pääsyä. Pesukoneina käytetään putkipesukoneita ja pienempiä teollisuuspyykinpesukoneita. Pesuaineet annostellaan automaattisesti pestävän pyykin mukaan.

Pesun jälkeen pyykit siirtyvät puristimen kautta kuivaajaan. Puristimessa puristetaan osa tekstiilien sisältämästä vedestä pois. Näin saadaan kuivausta nopeutettua. Puristimelta tekstiilit siirtyvät kuivaajaan. Kuivaajassa on kuivausohjelmat tekstiilien mukaan.

Kuivaajalta täyskuivat tekstiilit siirtyvät viikkaukseen ja lähetettäväksi eteenpäin asiakkaalle. Puoliksi kuivat tekstiilit siirtyvät mankelointiin. Mankeloinnissa tekstiilit kuivataan täysin kuivaksi. Mankeloinnin jälkeen tekstiilit viikataan ja ne ovat valmiita lähetettäväksi eteenpäin asiakkaalle.

2.1 Kuivaaja Lavatec TT 735

Oulun Keskuspesulalla on käytössään 12 Lavatec TT 735 -kuivaajaa (kuva 1). Niiden lämmitys tapahtuu höyryllä. Yhden kuivaajan kapasiteetti on 75 kg tekstiilejä kerrallaan. Kuivaaja on rakennettu useasta yksiköstä. Pääosat ovat jalusta, rumpuyksikkö ja puhallinjärjestelmä. Puhallin sijaitsee kuivaajan yläosassa. Puhallinjärjestelmään kuuluu lämpöpatterit. Yhden lämpöpatterin tilavuus on 32 litraa.



KUVA 1. Lavatec TT 735 -kuivaaja

Kuivaaja täytetään etuseinässä olevasta paineilmatoimisesta täyttöovesta. Tyhjennys tapahtuu takaseinässä olevasta tyhjennysovesta, joka myös toimii paineilmalla. Kuivaajat ovat kippaavia malleja. Kuivaaja tyhjennetään kippaamalla kuivatut tekstiilit liukuhihnalle.

Kuivausrumpu (kuva 2) on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Rummussa on erikoismuotoillut reiät mahdollisimman suuren ilman läpivirtauksen vuoksi. Rumpu on varustettu nostokynsillä, jotka pitävät pyykin jatkuvassa liikkeessä kuivauksen aikana.



KUVA 2. Kuivausrumpu

Kuivaaja on varustettu säädettävällä termostaattilämpötilaohjauksella, johon kuuluvat höyryventtiili ja ylikuumenemissuoja. Kuivaajassa on myös aikaohjattu jäähdytys, automaattinen nukanpoisto, lauhteenpoistin ja lämpöpatteri.

Kuivaajan tuleva höyryputki on kooltaan DN 40, ja kuivaajalta lähtevä lauhdeputki on kooltaan DN 25. Molemmissa putkissa on omat sulkuventtiilit. Lisäksi tuleva höyryputki on eristetty lämpöhäviöiden vuoksi. Kuvassa 3 näkyy oikeassa reunassa höyrinsyöttöputki lämpöpattereille ja vasemmassa alakulmassa näkyy lauhteenpoistoputki lämpöpattereilta.



KUVA 3. Kuivaajan yläosa

2.1.1 Kuivaajan toimintaperiaate

Kuivaajassa puhallin imee alipaineen kuivaajan sisälle. Kuivaajan sisälle menevä ilma menee lämpöpattereille. Lämpöpatterit lämmittävät ilman haluttuun lämpötilaan. Lämmitetty ilma kiertää sen jälkeen kuivausrumpuun. Kuivausrummusta poistuvasta ilmasta osa menee lämpöpatterien kautta takaisin kuivausrumpuun ja loput ilmasta poistuu kuivaajasta ulos. Kuvassa 3 näkyy poistoilmaputki vasemmassa yläkulmassa.

Kuivaukseen kuuluu myös jäähdytys joihinkin kuivausohjelmiin. Tällöin kuivaajaan imetään huoneilmaa suoraan, ilman että se kiertää lämpöpatterien kautta.

2.1.2 Lämpöpatteri

Kuivaajassa on kaksi lämpöpatteria. Lämpöpatteri on 4-rivinen ja lämpöpatterit ovat päällekkäin. Kuvassa 4 on lämpöpatteri. Ilma kiertää patterissa kuvassa 4 näkyvien alumiiniripojen välissä.



KUVA 4. Kuivaajan lämpöpatteri

2.2 Passat 253 -rumpukuivaaja

Passat 253 -rumpukuivaajaan mahtuu kerrallaan 100 kg tekstiilejä. Kuivaajassa on teräksiset höyrypatterit. Kaksi patteria on päällekkäin. Höyrypatterin maksimi höyryn syöttöpaine on 15 bar ja maksimi lämpötila 200 °C. Lämpöpatterit ja puhallin sijaitsevat kuivaajan katolla. Lämpöpattereihin liittyvät höyrynsyöttöputki ja lauhteenpoistoputki.

Ilman lämmittäminen ja kierto on samanlainen kuin Lavatec-rumpukuivaajissa. Kuivausrumpu on ruostumatonta terästä ja rei'itetty, jotta ilma kulkee rummun lävitse.



KUVA 5. Passat 235 -rumpukuivaaja

Pesulassa on käytössä kaksi Passat 253 -rumpukuivaajaa. Kuivausaika valitaan käsin kuivattavien tekstiilien mukaan. Kuivausajat vaihtelevat muutamasta minuutista useampaan kymmeneen minuuttiin.

2.3 Tunnelikuivaaja Jenform Omega plus IV

Pesulalla on käytössään myös yksi tunnelikuivaaja. Siinä tekstiilit kulkevat hengareihin ripustettuina kuljettimen avulla tunnelikuivaajan läpi. Tunnelin alkuosassa tekstiilit höyrytetään höyryn avulla. Tekstiilien rypyt poistuvat tällä

toimenpiteellä. Loppuosa tunnelista käytetään tekstiilien kuivaamiseen. Kuvassa 6 on tunnelikuivaaja.



KUVA 6. Jenform Omega plus IV

Kuivaajassa on neljä lämpöpatteria. Jokainen patteri lämmittää ilmaa omaan kuivauslohkoon. Lohkojen maksimi lämpötila saadaan säädettyä haluttuun arvoon. Kuivaajan nopeus voidaan säätää haluttuun arvoon. Siinä määritellään, kuinka monta tekstiiliä kulkee tunnissa kuivaajan lävitse.

Pesulassa on tunnelin nopeudeksi säädetty 1 100 kpl/h ja kuivauslohkojen maksimi lämpötilat on asetettu seuraaviin arvoihin: lohko 1 160 °C, lohko 2 ja lohko 3 molemmat 155 °C sekä lohko 4 150 °C.

Tunnelikuivaajan maksimi höyrynkäyttöpaine on 11 bar. Maksimi höyrynkulutukseksi ilmoitetaan neljälle lämpöpatterille 920 kg/h ja höyrynsuihkutukselle 210 kg/h, kun nopeus on 1 600 kpl/h.

Kuvassa 7 näkyy tunnelikuivaajan yhden lohkon lämpöpatterit. Ylhäältä tulee höyrynsyöttöputki ja alhaalla keskellä näkyy lauhdeputki. Kuvassa 8 näkyvät höyrynsuihkutusputket, jotka sijaitsevat tunnelin alkupäässä.



KUVA 7. Tunnelikuivaajan lämpöpatteri



KUVA 8. Höyryn suihkutusputkisto

2.4 Mankelit

Pesulassa on käytössä kolme isoa mankelia. Kaksi näistä mankeleista on Jenroll EX1200 -tyyppisiä ja yksi on Em D'Hooge Addironer 4R 33 L 3250. Mankeleissa tekstiilit kulkevat höyryllä lämmitettävien kourujen kautta. Kuvassa 9 on lämmitettävä mankelin kouru. Mankeleissa tekstiilit kuivuvat ja tekstiileistä tulee sileitä.



KUVA 9. Mankelin kouru (4)

Teloja painetaan paineilman avulla kourua vasten halutulla voimalla. Teloat ovat huovalla päällystettyjä, ja teloissa on pieniä reikiä. Telojen sisältä imetään ilmaa pois. Tämä ilma on kosteaa ilmaa ja kosteus on peräisin mankeloitavista tekstiileistä. Kuvassa 10 on mankelin tela.



KUVA 10. Mankelin tela (4)

Höyryä käytetään mankeleissa kourujen lämmittämiseen. Höyry syötetään kourun kourun päästä ja lauhteen poisto on kourujen alapinnassa. Höyrynsyöttö

putkessa ja lauhteenpoistoputkessa on molemmissa sulkuventtiilit. Kuvassa 11 näkyy 2 kpl mankelin teloja ja telojen välissä näkyy osa höyryllä lämmitettävästä kourusta.



KUVA 11. Mankelin tela ja mankelin kouru

2.4.1 Jenroll EX 1200

Jenroll 1200 EX -mankelissa on kolme telaa. Telat pyörivät ja niiden nopeutta voidaan säätää. Mankelin maksimi käyttöpaine höyrylle on 14 bar. Höyryn kulu-
tusta ei ole ilmoitettu. Mankelissa on kolme telaa ja lämmitettävää kourua. Ku-
vassa 12 on Jenroll 1200 EX -mankeli.



KUVA 12. Jenroll 1200 EX -mankeli

2.4.2 Em D'Hooge Addironer 4R 33 L 3250

Mankelin maksimi käyttöpaine höyrylle on 13 bar. Ilmoitettu höyryn kulutus on 885 kg/h. Mankelin telojen lukumäärä on 4, joten siinä on yhtä monta lämmitettävää kouruakin.



KUVA 13. Em D'Hooge addironer

3 HÖYRYN TERMODYNAMIIKKA

Höyryä tuotetaan höyrykattilassa. Höyrykattilassa kiertää vesi, joka syötetään kattilaan syöttöpumpun avulla. Vesi kiertää höyrystimen ja tulistimen lävitse. Näissä vesi lämpenee ja muuttuu höyryksi. Höyry johdetaan kattilasta höyryyhteen kautta prosessiin. Prosessi voi olla turbiinilla tuotettava sähköprosessi tai lauhduttimilla tuotettava lämpöprosessi. Höyryn avulla siirretään energiaa paikasta toiseen.

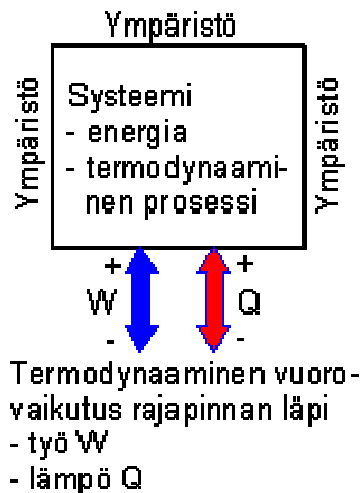
Höyrykattilan tulipesässä poltettavan polttoaineen kemiallinen energia muuttuu palamisprosessissa savukaasun entalpiaksi. Osa savukaasun entalpiasta siirtyy lämpönä tulipesästä teräseinämän erottamaan paineistettuun kiertoveteen. Kiertoveden entalpia kasvaa tämän seurauksena.

3.1 Termodynamiikan 1. pääsääntö

Termodynamiikan 1. pääsäännön eli energiaperiaatteen mukaan energiaa ei voi syntyä tyhjästä eikä energiaa voi kadota jäljettömiin. Systeemin energian lisäys täytyy olla peräisin jostakin, eli lisäys on peräisin systeemin ulkopuolelta. Systeemin energian vähentymisen täytyy päätyä jonnekin, eli energia päättyy systeemin ulkopuolelle. (2, s. 9.)

Systeemillä tarkoitetaan rajattua kohdetta, jonka toimintaa tarkastellaan ja jossa tapahtuu termodynaaminen eli energiatapahtumia sisältävä prosessi. Rajattu kohde voi olla laitos, laitteisto, laite, kone tai näiden jokin osa. Systeemin ulkopuolista maailmaa kutsutaan ympäristöksi. (2, s. 9.)

Systeemin energian muuttuessa syntyy energialiikennettä systeemin ja ympäristön välille. Energialiikenne systeemin seinämien läpi voi olla kahdenlaista. Energialiikenne voi olla joko mekaanisessa muodossa eli työnä tai se voi olla termisessä muodossa eli lämpönä. Kuvassa 14 on esitetty energialiikenne systeemin ja ympäristön välillä. Termodynamiikan 1. pääsäännön keskeinen tilasuure on entalpia. (2, s. 9.)



KUVA 14. Energialiikenne.(2, s. 9.)

3.2 Termodynamiikan 2. pääsääntö

Termodynamiikan 2. pääsäännön yksi oleellinen sisältö on se, mihin suuntaan prosessi luonnostaan tapahtuu ilman, että prosessia pakotetaan tiettyyn suuntaan. Prosessi pyrkii luonnostaan kohti sisäistä tai ulkoista tasapainotilaa. Sisäinen tasapainotila vallitsee systeemin sisällä, ja ulkoinen tasapainotila vallitsee ympäristön ja systeemin välillä. (2, s. 58.)

Terminen tasapainotila on varsinainen termodynaaminen tasapainotila. Tässä tilassa ei ole lämpötilaeroja ollenkaan. Luonnollisessa lämmön siirtymisessä eli itsestään tapahtuvassa lämmön siirtymisessä on kaksi keskeistä asiaa. Tarvitaan lämpötilaero lämmön siirtymiseksi, ja lämpö voi siirtyä vain suuremmasta lämpötilasta pienempään lämpötilaan luonnollisessa lämmön siirtymisessä. (2, s. 58.)

Mekaanisen ja termisen energian muunnettavuus sisältyy myös 2. pääsääntöön. Mekaaninen energia voidaan muuttaa täysin termiseksi energiaksi, kun termistä energiaa ei voida muuttaa täysin mekaaniseksi energiaksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että lämpövoimaprozessista tai lämpövoimakoneesta saadaan käyttöön mekaanista energiaa vähemmän kuin mitä siihen on syötetty termistä energiaa eli lämpöä. Terminen energia syötetään esimerkiksi polttoai-

neen avulla. Tästä johtuen koneen tai prosessin terminen hyötysuhde on pienempi kuin 1. (2.s.58.)

Laitoksissa tai laitteissa joissa on kiertoprosessi käytössä, osa systeemiin syötetystä lämmöstä joudutaan poistamaan lämpönä pois systeemistä. Tätä poistettua lämpöä ei voida hyödyntää työnä vaan se menee hukkaan. (2, s. 58.)

Lämpötila-asteikko on termisen energian arvoasteikko. Lämpötilan kasvaessa myös energian arvo kasvaa, eli mitä suurempi on lämpötila, sen arvokkaampaa on energia. Käytännössä ympäristön lämpötilassa oleva terminen energia arvontonta, koska sillä ei ole lämpötilaeroa, joten se ei voi siirtyä mihinkään. Ympäristössä olevaa termistä energiaa voidaan siirtää lämpöpumpun avulla suurempaan lämpötilaan. Termodynamiikan 2. pääsäännön keskeinen tilasuure on entropia. (2, s. 59.)

3.3 Entalpia

Entalpia (H) määritellään termodynamiikassa sisäenergian (U) ja virtaustyön ($p \cdot V$) summana. Entalpia on energiaa ilmaiseva suure. (2, s. 29.)

$$H = U + p \cdot V \quad \text{KAAVA 1}$$

H = entalpia (J)

U = sisäenergia (J)

p = paine (bar)

V = tilavuus (m^3)

Ominaisentalpia (h) on aineen tai systeemin entalpia massayksikköä kohti. (2, s. 31)

$$h = u + \frac{p}{\rho} \quad \text{KAAVA 2}$$

h = ominaisentalpia (kJ/kg)

u = terminen sisäenergia (J/kg)

p = paine (bar)

ρ = tiheys (kg/m^3)

Entalpia ja ominaisentalpia ovat aineen tai systeemin tilasuureita eli niiden arvo riippuu vain aineen tilasta. Arvoon ei vaikuta prosessi, jolla kyseinen tila on saavutettu. (2, s. 31.)

Ominaisentalpian tilamuuttujat eli suureet ovat paine ja lämpötila. Näiden avulla ilmaistaan aineen tila. Näin ollen ominaisentalpia on paineen ja lämpötilan funktio. Ominaisentalpian todellista arvoa ei pystytä määrittämään, eli joudutaan valitsemaan nollakohta, josta lähtien se pystytään laskemaan. Tästä ei ole kuitenkaan haittaa, koska termodynaamisissa prosesseissa tarvitaan vain ominaisentalpiamuutoksia. (2, s. 31.)

Ominaisentalpia riippuu tilamuuttujien lisäksi myös olomuodosta. Esimerkiksi samassa paineessa ja samassa lämpötilassa olevilla kylläisellä höyryllä ja kyläisellä nesteellä on erisuuruiset ominaisentalpiat. Ominaisentalpian SI-laadut ovat J/kg, kJ/kg ja MJ/kg. (2, s. 31.)

3.4 Entropia

Käsitteenä entropia ilmaisee systeemin järjestäytyneisyys astetta, eli mitä parempi systeemin järjestäytyneisyys on, sitä pienempi on entropia. Entropia kasvaa, kun epäjärjestys systeemissä kasvaa. Järjestäytyneisyyden väheneminen systeemissä tarkoittaa sen sisäisten erojen pientymistä kuten lämpötila-, paine ja pitoisuuserojen pientymistä. Luonnon tasapainotilassa entropia on suurimmillaan, koska edellä mainitut erot pyrkivät poistumaan luonnossa. (2, s. 59.)

Lämpötilalle ja paineelle, jotka ovat termodynamiikan keskeisiä muuttujia, epäjärjestäytyneisyys tarkoittaa sitä, että lämpötilan kasvaessa entropia kasvaa ja paineen kasvaessa entropia pienenee. Entropia on termodynamiikan 2. pääsääntöön liittyvä aineen eli systeemin tilasuure. Tilasuureena entropian arvo riippuu tilasta ja tilamuuttujista eli olomuodosta ja lämpötilasta ja paineesta. Sen arvoon ei vaikuta tilaa edeltävä historia tai, se miten systeemi on tullut kyseiseen tilaan. (2, s. 59.)

Entropian todellista arvoa ei pystytä mittaamaan tai laskemaan. Tästä ei ole mitään haittaa, koska prosesseissa tarvitaan vain entropiaerotuksia. Entropian nollakohta voidaan valita vapaasti. (2, s. 59.)

Entropia voi muuttua systeemissä kahdella eri tavalla. Muutos voi tapahtua palautuvasti eli reversiibelisti tai palautumattomasti eli irreversiibelisti. Palautuva muutos on kaksisuuntaista, eli entropia voi sekä kasvaa että pienentyä. Palautumaton muutos on yksi suuntaista eli entropia ainoastaan kasvaa silloin. Molemmilla tavoilla systeemin entropia muuttuu systeemin termisen sisäenergian muuttumisen seurauksena. (2, s. 59.)

Palautuvassa entropian muutoksessa lämpöä siirtyy ympäristön ja systeemin välillä ilman lämpötilaeroja. Tämä tilanne on täysin teoreettinen, koska 2. pääsäännön mukaan lämpöä siirtyy vain, kun on lämpötilaero systeemin ja ympäristön välillä. Kun ympäristön ja systeemin välillä vallitsee lämpötilaero, syntyy yksisuuntaista eli palautumatonta entropiaa. Tämä palautumaton entropia kasvat-
taa systeemin ja ympäristön yhteistä entropiaa. (2, s. 60.)

Palautuva entropian muutos määritellään kaavan 3 mukaisesti systeemin luovuttaman tai vastaanottaman lämpömäärän (Q) ja lämpötilan (T) osamääränä. Lämpötila (T) ilmaistaan termodynaamisena lämpötilana eli absoluuttisena lämpötilana. (2, s. 60.)

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

KAAVA 3

ΔS = entropian muutos (J/K)

Q = lämpömäärä (J)

T = lämpötila (K)

Ominaisentropia (s) saadaan, kun systeemin entropia jaetaan systeemin massalla ($s = S/m$). Ominaisentropianmuutos (Δs) saadaan laskettua kaavan 4 mukaisesti, missä $q = Q/m$. (2, s. 60.)

$$\Delta s = \frac{q}{T}$$

KAAVA 4

Δs = ominaisentropian muutos (J/kgK)

q = ominaislämpömäärä (J/kg)

T = lämpötila (K)

3.5 Lämmönsiirrin

Lämmönsiirtimellä tarkoitetaan sellaista laitetta, jossa energiaa siirtyy termisessä muodossa laitteen sisällä ainevirrasta toiseen. Termisessä siirtymisessä lämpö siirtyy eri aineiden välillä. Lämmönsiirtimen sisällä on sisäinen lämpövirta ja lämpövirta on lämmönsiirtimen teho. Lämmönsiirtopinta-ala on myös keskeinen mitoitus suure tehon ohella. Lämmönsiirrin on yleinen energiatekniikan laite. Lämmönsiirrintä nimitetään käytännössä käyttötarkoituksen perusteella lämmityspatteriksi, jäähdytyspatteriksi, höyrytimeksi, lauhduttimeksi, tulistimeksi ja ekonomaisereksi. (2, s. 38.)

Termodynamiikan 2. pääsäännön perusteella lämpö siirtyy itsestään vain suuremmasta lämpötilasta pienempään lämpötilaan, joten ainevirtojen välillä täytyy vallita lämpötilaero. Lämmönsiirtimessä lämpöä luovuttavan aineen ominaisentalpia pienenee, ja tämän seurauksena lämmitettävän aineen ominaisentalpia kasvaa. (2, s. 38.)

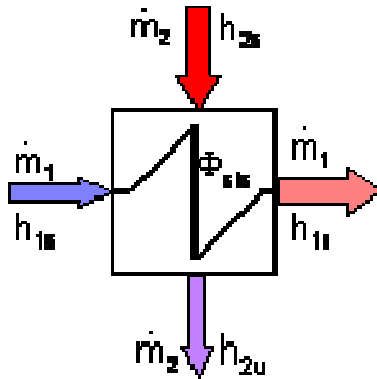
Lämmönsiirtimet voidaan jakaa toimintatavan perusteella regeneraattoreihin ja rekuperaattoreihin. Regeneraattorissa on kiinteä varaava massa, jonka välityksellä lämpö siirtyy. Kiinteää massaa lämmitetään lämmittävällä ainevirralla ja jäähdytetään lämmitettävällä ainevirralla. Massa voi olla joko liikkumaton tai pyörivä. (2, s. 38.)

Rekuperattorissa ainevirtoja erottaa toisistaan kiinteä seinä, jonka lävitse lämpö siirtyy. Seinämän tulee olla ohut rakenteeltaan ja hyvin lämpöä johtavaa materiaalia. Tällöin lämpö siirtyy hyvin seinän lävitse. (2, s. 38.)

Lämmönsiirtimessä ainevirrat voivat käyttäytyä eri tavalla. Ainevirrat voivat säilyttää olomuotonsa, eli ne voivat pysyä joko kaasuna tai nesteinä. Lämmittävä ainevirta voi tiivistyä höyrystä nesteeksi eli se silloin lauhtuu. Kosteasta kaasumaisesta lämmittävästä ainevirrasta voi tiivistyä kosteutta eli kondenssia. Lämmitettävässä ainevirrassa neste voi höyrystyä joko kokonaan tai vain osittain. (2, s. 38.)

Kuvassa 15 on esitetty lämmönsiirtimen periaatekaavio. Lämmitettävä ainevirta on piirretty kulkemaan "Z":n lävitse. Kuvassa se siis kulkee vasemmalta oikeal-

le. Lämmittävä ja lämmitettävä ainevirta eivät pääse sekoittumaan keskenään, joten vakio-tilassa sisään menee yhtä suuri massavirta kuin tulee uloskin. (2, s. 38.)



KUVA 15. Lämmönsiirtimen kaaviokuva (2, s. 38.)

Lämmönsiirrin on termodynaamisesti ottaen avoin systeemi. Lämmönsiirtimessä on kaksi kohtaa mistä ainevirrat virtaavat sisään ja kaksi kohtaa, mistä ainevirrat virtaavat ulos. Lämmönsiirtimen toimiessa vakio-tilassa energiaperiaate toteutuu siten, että sisään menevät energiavirrat ovat yhtä suuret kuin ulos tulevat energiavirrat. (2, s. 39.)

4 MITTALAITE JA MITTARIN ASENNUS

Mittalaitteena käytetään kahta Spirax Sarcon toimittamaa tiheyskompensoitua TVA-höyrymittaria. Toisen mittarin putkikoko on DN 50 ja toisen DN 100. Paine-luokka on molemmissa mittareissa PN 40. Mittarit ovat laippa-asennettavia eli mittari asennetaan kahden laipan väliin. Kuvassa 16 on putkikoolle DN 50 tar-koitettu mittari.



KUVA 16. TVA-höyrymittari

4.1 TVA-höyrymittari

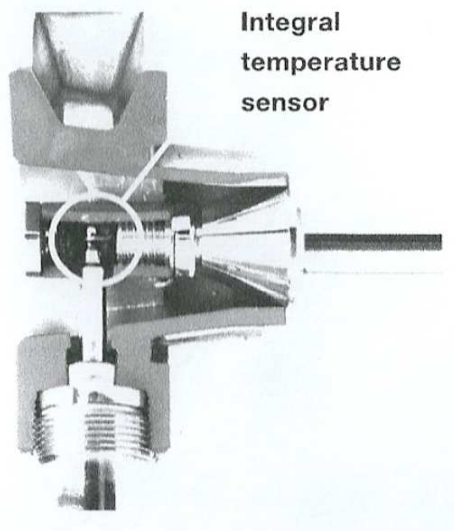
Mittari mittaa höyryn virtauksen kokonaismäärää, hetkellistä virtausmäärää, lämpötilaa, painetta ja energia määrää. Paneelista saadaan valittua haluttu arvo näytölle. (3, s. 2.)

Mittari mittaa kaiken höyryn virtausalueelta toisin kuin muut mittalaitteet. Laippo-jen väliin asentamisesta vuoksi mittarille ei tarvitse tehdä muita putkilinjoja mit-tausta varten. Tämä pienentää kustannuksia, helpottaa asennusta ja mahdollis-ten vuotokohtien määrä on vähäinen. Mittari voidaan asentaa ahtaisiinkin tiloi-hin, koska se ei vaadi kovin pitkää suoran putken osuutta ennen mittapäätä.

Mittarin mittatarkkuus pysyy silti hyvänä. (3, s. 2.)

Mittatarkkuus on erittäin hyvä myös pienillä virtausnopeuksilla. Mittari pystyy pienillä virtauksilla tarkempiin mittauksiin kuin muut mittaustekniikat. Se johtuu käytössä olevasta profiloidusta kartiosta. Höyry virtaa tämän kyseisen kartion lävitse. Liitteen 3 on esitetty höyryn virtaaminen kartion lävitse.

Kuten liitteen 3 kuvasta näkyy, virtauksen kasvaessa kartio siirtyy, jolloin virtausaukko avautuu. Kartion aksiaalinen siirtyminen aiheuttaa voiman mittapäähän. Kartio painaa joustaa, jonka avulla voiman suuruus selviää. Mittapäässä lasketaan lämpötilan ja kartion siirtymisen aiheuttaman voiman avulla virtausmäärä ja paine. Mittarissa on erikseen kiinteä lämpötila-anturi (kuva 17).



KUVA 17. Lämpötila-anturi (3, s. 5.)

4.2 Mittarin asennus

TVA-höyrymittari asennetaan kahden laipan väliin. Mittaria ennen täytyy olla suoraa putkea $6 \cdot D$ ja mittarin jälkeen suoran putken osuus on $3 \cdot D$. D on putken ulkohalkaisija (liite 2/5). Suoraa putkea tarvitaan tietty määrä, jotta höyryn virtausprofiili ehtii normalisoitua eikä siinä ilmene liikaa pyörteilyä putkimutkan jälkeen. Pyörteily voi aiheuttaa mittaasepätarkkuutta ja eikä mittari näin ollen anna oikeita lukemia. Mittarin tarkkuus on $\pm 2\%$ lukualueella, kun virtaus on 10 - 100 % maksimi virtauksesta (liite 2/1.).

Mittari voidaan asentaa vaakatasossa olevaan putkeen tai pystysuorassa olevaan putkeen. Pystyssä olevaan putkeen asennettaessa putkessa saa olla painetta 7 bar. Vaakatasossa olevassa putkessa voi olla painetta 32 bar. Tiivisteiden tulee olla oikein asennettu mittarin ja laippojen väliin, jotta ei synny vuotoja putkilinjaan. Liitteessä 4 on tarkat ohjeet mittarin asennukseen.



KUVA 18. Mittari putkilinjaan asennettuna

5 MITTAUSTULOKSET

Seuraavaksi esitetään mittaustuloksia mitatuista pesulan koneista.

5.1 Lavatec TT 735

Pesulinjan 2 kuivaajista mitattiin kolme eri kuivaajaa, ja kuivureiden numerot pesulassa ovat 5, 6 ja 7. Yksi kuivaaja jäi mittauksen ulkopuolelle, koska sitä ei saatu mittarin asennusteknisistä syistä mukaan. Taulukossa 1 on kuivaajille 5, 6 ja 7 ajetun testiajo1:n tulokset.

TAULUKKO 1. Kuivauslinja 2, testiajo 1

Kuivuri	Kuivaus-ohjelma	Kuivausaika (min)	Jäähdytysaika (min)	Tulo-/poistolämpötila (°C)	Höyryn kulutus (kg)
5	5	6	0	180 / 100	55
5	1	21	6	180 / 115	214
6	5	6	0	180 / 100	35
6	1	21	6	180 / 115	87
7	5	6	0	180 / 100	58
7	1	21	6	180 / 115	147

Kuivaaja kuivattaa yhdellä kertaa aina 50 kg pyykkiä. Höyryn kulutusta minuuttia kohden ei lasketa, koska välttämättä koko kuivausaika ei ole käytössä. Kuivaus loppuu, kun poistolämpötila saavutetaan tai kun kuivausaika tulee täyteen. Jäähdytys ei kuluta höyryä lainkaan. Pesulalla kaikki kululaskelmatkin perustuvat höyrynkulutukseen pyykkikiloa kohden.

Ensimmäisessä testiajossa kuivuri numero 5:lle saadaan höyrynkulutukseksi yhtä pyykkikiloa kohden $(55 + 214) \text{ kg} / 100 \text{ kg} = 2,69 \text{ kg}$ höyryä. Kuivuri numero 6:lle höyrynkulutus on yhtä pyykkikiloa kohden $(35 + 87) \text{ kg} / 100 \text{ kg} = 1,22 \text{ kg}$ höyryä. Kuivuri numero 7:lle höyrynkulutus on yhtä pyykkikiloa kohden $(58 + 147) \text{ kg} / 100 \text{ kg} = 2,05 \text{ kg}$ höyryä.

Taulukossa 2 on kuivureiden 5, 6 ja 7 testiajo 2:n kuivausohjelmat ja kuivatun pyykin kilomäärät. Tällä kertaa kaikki kolme kuivaajaa olivat yhtä aikaa käynnissä ja mitattiin, kuinka paljon ne veivät höyryä yhteensä.

TAULUKKO 2. Kuivauslinja 2, testiajo 2

Kuivuri	Kuivaus- ohjelma	Kuivausaika (min)	Jäähdytys- aika (min)	Tulo-/poisto- lämpötila (°C)	pyykki kg
5	5	6	0	180/100	50
5	5	6	0	180/100	50
5	1	21	6	180/115	50
5	2	16	6	180/115	50
5	1	21	6	180/115	50
5	5	6	0	180/100	50
5	8	40	5	120/110	50
5	5	6	6	180/100	50
6	5	6	0	180/100	50
6	2	16	6	180/115	50
6	3	3,5	2,5	120/75	50
6	2	16	6	180/115	50
6	5	6	0	180/100	50
6	5	6	0	180/100	50
6	3	3,5	2,5	120/75	50
6	5	6	0	180/100	50
6	5	6	0	180/100	50
6	5	6	0	180/100	50
6	5	6	0	180/100	50
6	8	40	5	120/110	50
7	3	3,5	2,5	120/75	50
7	1	21	6	180/115	50
7	2	16	6	180/115	50
7	5	6	0	180/100	50
7	1	21	6	180/115	50
7	8	40	5	120/110	50
7	1	21	6	180/115	50

Toisen testiajon aikana höyryn kulutus oli 1 831 kg ja kuivattavaa pyykkiä oli 1 350 kg. Tästä saadaan laskettua höyrynkulutus yhtä pyykkikiloa kohden.
 $1\,831\text{ kg} / 1\,350\text{ kg} = 1,36\text{ kg höyryä.}$

Pesulinjan 3 kaikki neljä kuivaajaa saatiin mitattua. Linjan 3 kuivaajat on numeroitu pesulassa 1, 2, 3 ja 4. Tälle linjalle suoritettiin vain jokaisen kuivaajan testiajo. Testiajossa oli yksi kuivaaja kerrallaan toiminnassa. Taulukossa 3 on esitetty kuivauslinjan 3 mittaustulokset.

TAULUKKO 3. Kuivauslinja 3, testiajo

Kuivuri	Kuivaus-ohjelma	Kuivausaika (min)	Jäähdytysaika (min)	Tulo-/poisto-lämpötila (°C)	Höyryn kulutus (kg)
1	1	20	6	180 / 110	110
2	1	20	6	180 / 110	150
3	5	49	0	75 / 90	94
4	5	49	0	75 / 90	102

Kuivauslinjan 3 kuivaajat kuluttivat höyryä yhteensä 456 kg ja testiajon aikana kuivattiin pyykkiä 200 kg. Höyrynkulutus yhtä pyykkikiloa kohden on $456 \text{ kg} / 200 \text{ kg} = 2,28 \text{ kg}$ höyryä.

Yksittäisten kuivaajien höyrynkulutukset yhtä pyykkikiloa kohden ovat seuraavanlaiset:

- kuivaaja 1, kulutus on $110 \text{ kg} / 50 \text{ kg} = 2,2 \text{ kg}$ höyryä
- kuivaaja 2, kulutus on $150 \text{ kg} / 50 \text{ kg} = 3,0 \text{ kg}$ höyryä
- kuivaaja 3, kulutus on $94 \text{ kg} / 50 \text{ kg} = 1,88 \text{ kg}$ höyryä
- kuivaaja 4, kulutus on $102 \text{ kg} / 50 \text{ kg} = 2,04 \text{ kg}$ höyryä.

5.2 Passat 253

Molemmille Passat 253 kuivaajille tehtiin samanlainen testimittaus. Taulukossa 4 on mittaustulokset. Kuivausaika oli 25 minuuttia ja kuivattavaa pyykkiä oli 50 kg. Kuivuri 1 kulutti höyryä 142 kg ja kuivuri 2 kulutti höyryä 110 kg.

TAULUKKO 4. Passat 253 kuivaajat

kuivuri	aika (min)	kuivaus-lämpötila (°C)	pyykki (kg)	höyry (kg)
1	25	150	50	142
2	25	150	50	110

Kuivaajien höyryn kulutus yhtä pyykkikiloa kohden on näin ollen seuraavanlainen:

- kuivaaja 1, kulutus on $142 \text{ kg} / 50 \text{ kg} = 2,84 \text{ kg}$
- kuivaaja 2, kulutus on $110 \text{ kg} / 50 \text{ kg} = 2,2 \text{ kg}$.

5.3 Jenform Omega plus IV

Tunnelikuivaajan mittaustulokset on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Tunnelikuivaaja testiajo

tunneli	aika (min)	höyry määrä kg	15 min kulutus (kg)
	0	0	0
	15	156	156
	30	305	149
	45	468	163
	60	633	165
	75	796	163
	90	953	157
yhteensä	90		953

Tunnelikuivaajan 15 minuutin keskimääräinen kulutus on $(156+149+163+165+163+157) / 6 = 158,83 \text{ kg}$.

Tunnelikuivaajan keskimääräinen kulutus tunnissa on $953 \text{ kg} / 1,5 \text{ h} = 635,33 \text{ kg/h}$.

Tunnelin nopeus on $1100 \text{ kpl} / \text{h}$. Höyryn kulutus kappaletta kohden $635,33 \text{ kg} / 1100 \text{ kpl} = 0,58 \text{ kg} / \text{kpl}$.

Yhden tekstiilin paino on $0,29 \text{ kg}$. Yhden tunnin aikana tunnelin lävitse menee näin ollen pyykkiä $1100 * 0,29 \text{ kg} = 319 \text{ kg}$.

Höyryn kulutus yhtä pyykkikiloa kohden on $635,33 \text{ kg} / 319 \text{ kg} = 1,99 \text{ kg}$.

5.4 Mankelit

Jokaiselle mankelilla suoritettiin 15 minuutin testiajo, jonka aikana mitattiin höyrynkulutus ja tästä lasketaan sitten höyryn tuntikulutus. Mankelit 1 ja 2 ovat Jen-

roll 1200 EX -tyyppisiä mankeleita. Mankeli 3 on Em D'Hooge Addironer 4R 33L 3250.

Taulukossa 6 ovat 15 minuutin testiajon tulokset ja sen perusteella lasketut tuntikulutukset jokaiselle mankelille.

TAULUKKO 6. Mankelien testiajo 1

mankeli	aika (min)	tekstiili	höyry määrä (kg)	höyry kg/h
1	15	sin. lakana	66	264
2	15	tyynyliina	60	240
3	15	pöytäliina	162	648

Taulukossa 7 on yhden työpäivän mankeleiden 1 ja 2 mankeloitavat tekstiilit ja käytetty työaika. Mankeli 3 oli koko päivän kiinni, eikä se näin ollen kuluttanut höyryä lainkaan 8 tunnin aikana. Mankeli 1 oli päivän aikana 15 minuuttia tyhjäkäynnillä, kun taas mankeli 2 oli 370 minuuttia tyhjäkäynnillä. Tyhjäkäynnillä käydessä mankeli kuluttaa höyryä 1,5 kg/min ja tunnissa näin ollen 90 kg/h.

TAULUKKO 7. Mankelit 1 ja 2

mankeli 1	aika (min)	tekstiili	pyykki kg
	100	lakana	450
	40	pussilakana	150
	45	pussilakana	100
	10	lakana	50
	45	lakana	250
	185	pussilakana	250
	40	lakana	300
yhteensä	465		1550
mankeli 2	aika (min)	tekstiili	pyykki kg
	50	tyynyliina	150
	25	kasvopyyhe	100
	15	keittiöpyyhe	50
	20	säde	50
yhteensä	110		350

Mittauksen aikana eli 8 tunnin aikana mankelit 1 ja 2 kuluttivat höyryä yhteensä 3 067 kg. Testiajotaulukon perusteella saatujen minuuttikulutuksien perusteella

mankeli 1:n kulutus oli 2 046 kg ja mankeli 2:n kulutus oli 440 kg höyryä. Loput höyrystä eli 581 kg meni tyhjäkäyntiin ja mankeleiden lämpiminä pitämiseen.

Tekstiilejä meni 8 tunnin aikana mankeleista 1 ja 2 lävitse yhteensä 1 900 kg. Tästä saadaan laskettua, kuinka paljon tarvitaan höyryä yhtä pyykkikiloa kohden mankeloinnissa, kun ei oteta tyhjäkäynti kulutusta huomioon:
 $(2\,046 + 440) \text{ kg} / 1\,900 \text{ kg} = 1,3 \text{ kg höyryä yhtä pyykkikiloa kohden.}$

Seuraavaksi otetaan huomioon laskelmassa tyhjäkäyntikin, jolloin saadaan höyryn kulutus yhtä pyykkikiloa kohden 8 tunnin aikana todellisuudessa.
 $3\,067 \text{ kg} / 1\,900 \text{ kg} = 1,6 \text{ kg höyryä yhtä pyykkikiloa kohden.}$

Mankeli 1:n höyryn kulutus pyykkikiloa kohden on $2\,046 \text{ kg} / 1\,550 \text{ kg} = 1,32 \text{ kg}$.
Mankeli 2:n höyryn kulutus pyykkikiloa kohden on $440 \text{ kg} / 350 \text{ kg} = 1,25 \text{ kg}$.

Taulukossa 8 on mankeli numero 3:n käyttöaika ja mankeloitujen tekstiilien ki-
lomäärä. Mankeli 3 kulutti testiajon perusteella höyryä 648 kg/h. Minuuttia koh-
den kulutus on näin ollen 10,8 kg/min.

TAULUKKO 8. Mankeli 3

mankeli 3	aika (min)	tekstiili	pyykki kg
	50	liina	50
	15	valk. liina	50
	30	vär. Liina	50
yhteensä	95		150

Mankelin 95 minuutin kulutus on $95 \text{ min} * 10,8 \text{ kg/min} = 1\,026 \text{ kg}$. Mankelin
höyryn kulutus yhtä pyykkikiloa kohden on $1\,026 \text{ kg} / 150 \text{ kg} = 6,84 \text{ kg höyryä}$.

Kaikkien kolmen mankelin esilämmitys kulutti höyryä yhteensä 530 kg.

6 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI JA LASKELMAT

Seuraavassa käsitellään mittaustuloksia ja lasketaan, kuinka paljon energiaa eri koneet kuluttavat. Otetaan vesitaulukosta (liite 3) höyryn ominaisentalpia-arvo, kun absoluuttinen paine on 11,5 bar. Höyryn ominaisentalpiaksi h_h saadaan vesitaulukosta 2 782,22 kJ/kg, kun paine on 11,5 bar. Lauhteen paine on 2 bar ja lämpötila on 120 °C. Tällöin lauhteen ominaisentalpia h_n on 503,78 kJ/kg.

6.1 Lavatec TT735 -rumpukuivaajat

Mittaustulosten perusteella pesulinjan 2 Lavatec TT735 -kuivaajat veivät höyryä 1,36 kg yhtä pyykkikiloa kohden. Tästä saadaan laskettua kaavan 5 avulla kulutetun energian määrä.

$$E = m * (h_h - h_n) \quad \text{KAAVA 5}$$

E = energian määrä (kJ)

m = käytetty höyry (kg)

h_h = höyryn ominaisentalpia (kJ/kg)

h_n = lauhteen ominaisentalpia (kJ/kg)

Kuivaajien energiankulutus on

$$1,36 \text{ kg} * (2\,782,22 - 503,78) \text{ kJ/kg} = 3\,098,68 \text{ kJ}.$$

Kun tiedetään, että 1 kWh = 3,6 MJ, energiamäärä saadaan muunnettua kilowattitunneiksi:

$$3\,098,68 \text{ kJ} / 3\,600 = 0,86 \text{ kWh}.$$

Pesulinjan 3 kuivureiden keskimääräinen höyryn kulutus on 2,28 kg höyryä yhtä pyykkikiloa kohden. Energiankulutus on

$$2,28 \text{ kg} * (2\,782,22 - 503,78) \text{ kJ/kg} = 5\,194,84 \text{ kJ}$$

eli muunnettuna kilowattitunneiksi

$$5\,194,84 \text{ kJ} / 3\,600 = 1,44 \text{ kWh}.$$

Pesulinjan 3 kuivaajat vievät 0,58 kWh enemmän energiaa yhtä pyykkikiloa kohden kuin pesulinja 2:n kuivaajat.

Uusi rumpukuivaaja kuluttaa höyryä täydellä teholla 320 kg/h (liite 4). Siitä saadaan höyryn kulutukseksi minuutissa 5,33 kg/min.

Lasketaan taulukon 1 tuloksista kolmen kuivaajan kesikukulutus minuutissa.
 $596 \text{ kg} / 81 \text{ min} = 7,36 \text{ kg/min.}$

Verrataan energian tarvetta uuden ja vanhan kuivaajan välillä, jolloin saadaan eroksi seuraava:

Uusi kuivaaja kuluttaa energiaa $5,33 \text{ kg} * 2\,278,44 \text{ kJ/kg} = 12\,144,09 \text{ kJ}$
eli kilowattitunneiksi muunnettuna
 $12\,144,09 \text{ kJ} / 3\,600 = 3,37 \text{ kWh.}$

Vanha kuivaaja kuluttaa energiaa $7,36 \text{ kg} * 2\,278,44 \text{ kJ/kg} = 16\,769,32 \text{ kJ}$
eli kilowattitunneiksi muunnettuna
 $16\,769,32 \text{ kJ} / 3\,600 = 4,66 \text{ kWh.}$

Lasketaan kulutus ero prosentteina uuden ja vanhan kuivaajan välillä

$1 - (3,37 / 4,66) = 0,276$
 $0,276 * 100 \% = 27,6 \%$.

Uusi rumpukuivaaja kuluttaa noin 28 % vähemmän energiaa täydellä teholla minuutissa.

6.2 Passat 253 -rumpukuivaajat

Kuivaaja 1:n höyryn kulutus oli 2,84 kg yhtä pyykkikiloa kohden ja sen kuluttama energia on näin ollen

$2,84 \text{ kg} * 2\,278,44 \text{ kJ/kg} = 6\,470,77 \text{ kJ}$
eli kilowattitunneiksi muunnettuna
 $6\,470,77 \text{ kJ} / 3\,600 = 1,80 \text{ kWh.}$

Kuivuri 2:n höyryn kulutus oli 2,2 kg höyryä yhtä pyykkikiloa kohden ja sen kuluttama energia on

$2,2 \text{ kg} * 2\,278,44 \text{ kJ/kg} = 5\,012,57 \text{ kJ}$
eli kilowattitunneiksi muunnettuna
 $5\,012,57 \text{ kJ} / 3\,600 = 1,39 \text{ kWh.}$

Kuten laskuista huomataan, kahden eri kuivaajan välillä on suuri ero energiankulutuksessa. Kuivaaja 1 vie 0,41 kWh tuntia enemmän energiaa yhtä pyykkikiloa kohden kuin kuivaaja 2.

6.3 Tunnelikuivaaja Jenform Omega plus IV

Tunnelikuivaajan höyrynkulutus on 1,99 kg höyryä yhtä pyykkikiloa kohden.

Näin ollen sen kuluttama energia on

$$1,99 \text{ kg} * 2\,278,44 \text{ kJ/kg} = 4\,534,10 \text{ kJ}$$

eli kilowattitunneiksi muunnettuna

$$4\,534,10 \text{ kJ} / 3\,600 = 1,26 \text{ kWh.}$$

Tunnelikuivaaja vie yhtä pyykkikiloa kohden energiaa 1,26 kWh.

6.4 Mankelit

Mankeli 1 vei höyryä 1,32 kg yhtä pyykkikiloa kohden. Sen kuluttama energia on näin ollen

$$1,32 \text{ kg} * 2\,278,44 \text{ kJ/kg} = 3\,007,54 \text{ kJ}$$

eli kilowattitunneiksi muunnettuna

$$3\,007,54 \text{ kJ} / 3\,600 = 0,84 \text{ kWh.}$$

Mankeli 2 vei höyryä 1,25 kg höyryä yhtä pyykkikiloa kohden ja sen kuluttama energia on

$$1,25 \text{ kg} * 2\,278,44 \text{ kJ/kg} = 2\,848,05 \text{ kJ}$$

eli kilowattitunneiksi muunnettuna

$$2\,848,05 \text{ kJ} / 3\,600 = 0,79 \text{ kWh.}$$

Mankeli 3 vei höyryä 6,84 kg yhtä pyykkikiloa kohden ja sen kuluttama energia on

$$6,84 \text{ kg} * 2\,278,44 \text{ kJ/kg} = 15\,584,53 \text{ kJ}$$

eli kilowattitunneiksi muunnettuna

$$15\,584,53 \text{ kJ} / 3\,600 = 4,33 \text{ kWh.}$$

Mankeleiden keskimääräinen energiankulutus yhtä pyykkikiloa kohden on

$$(0,84 + 0,79 + 4,33) \text{ kWh} / 3 = 1,99 \text{ kWh.}$$

Mankelien esilämmitys kuluttaa 530 kg höyryä ja niiden kuluttama energia on
 $530 \text{ kg} * 2\,278,44 \text{ kJ/kg} = 1\,207\,573,20 \text{ kJ}$
eli kilowattitunneiksi muunnettuna
 $1\,207\,573,20 \text{ kJ} / 3\,600 = 335,44 \text{ kWh}$.

Kuten laskuista huomataan, mankeli 3 vie todella paljon enemmän energiaa yhtä pyykkikiloa kohden kuin mankelit 1 ja 2. Mankeleiden 1 ja 2 välillä ei ole suurta eroa energiankulutuksessa.

Markkinoilla oleviin uusiin mankeleihin verrattuna energian kulutus on noin puolet suurempi mankeleilla 1 ja 2. Mankeli 3 vie kymmenkertaisen määrän energiaa uuteen mankeliin verrattuna. Jensenin uudet höyrymankelit kuluttavat energiaa 0,5 kWh yhtä pyykkikiloa kohden. Kaasulla lämmitettävät uudet mankelit vievät energiaa 0,4 kWh yhtä pyykkikiloa kohden. Uusien mankelien tiedot on kysytty maahantuojaan edustajalta.

7 HÖYRYN KÄYTÖN PARANNUSEHDOTUS

Mittaustuloksien ja laskujen perusteella EM D'Hooge addironer -mankeli kannattaa poistaa käytöstä kokonaan. Sen energiankulutus on todella suuri verrattuna kahteen Jenroll-mankeliin, ja varsinkin uuteen mankeliin verrattuna sen energiankulutus on yli 8-kertainen. Mahdollisesti hankittava uusi mankeli kannattaa laittaa sellaiseen käyttöön, missä sillä ajetaan mahdollisimman paljon pyykkikiloja. Näin saadaan aiempaa edullisempi hinta pyykkikilolle.

Mankeleiden käyttöaste kannattaa pitää korkeana, koska mankeli kuluttaa energiaa, vaikkei sillä ajettaisi pyykkiä lainkaan. Kun mankeloitavat pyykit loppuvat ja tiedetään, ettei päivän aikana mankeloida pyykkiä lisää, kannattaa mankeli sammuttaa kokonaan. Mankeleiden esilämmittäminen vie joka aamu noin 340 kWh energiaa. Viikossa esilämmityksen energian kulutus on tällöin 1,7 MWh. Mielestäni kannattaa harkita, onko järkevää lämmittää kaikki mankelit aamuisin, etenkin, jos on tiedossa, ettei mankeliä tulla käyttämään päivän aikana. Mielestäni kannattaa harkita mankeleille tietyt käyttöpäivät viikon aikana, jos se on vaan mahdollista toteuttaa työjärjestelyjen kautta.

Kuivaajien osalta ei löytynyt mittauksissa ja laskuissa mitään suurempia eroja energiankulutuksessa, kun verrataan samanlaisia kuivaajia keskenään. Pesulinja kahden ja pesulinja kolmosen rumpukuivaajien välillä löytyi höyryn kulutuksessa pieniero. Pesulinjan 3 rumpukuivaajat kuluttivat enemmän höyryä kuin pesulinjan 2 kuivaajat. Osaltaan tämä selittyy kuivausohjelmien pituudella ja kuivattavasta materiaalista.

Uuteen kuivaajaan verrattaessa nykyisillä Lavatec-rumpukuivaajilla energian tarve on noin 28 % suurempi. Mielestäni kannattaa harkita nykyisten Lavatec TT 735 -kuivaajien korvaamista uusilla samantyyppisillä kuivaajilla, koska energian kulutus on uusilla kuivaajilla pienempi. Passat 235 -rumpukuivaajat kuluttivat enemmän höyryä kuin Lavatec TT 735 -kuivaajat. Passat kuivaajissa kuivausrumpu on suurempi kuin Lavatec-kuivaajissa, ja siksi ne kuluttavat enemmän höyryä.

Kuivaajissa höyryn kulutukseen vaikuttaa kuivausohjelman pituus ja kuivauslämpötila. Kuivaajien lämpöpatterit tulee puhdistaa säännöllisesti ja pyrkiä pitämään ilman virtaustiet lämpöpattereissa kunnossa. Osassa lämpöpattereissa oli alumiiniset välilevyt vinossa. Tällöin ilma ei pääse virtaamaan tasaisesti lämpöpattereissa ja näin ollen lämpöpatterin kapasiteetti ei tule täydellisesti käyttöön. Lika lämpöpatterissa heikentää lämmön siirtymistä lämmitettävään ilmaan. Tämän seurauksena höyrynkulutus lämpöpattereissa kasvaa. Kuivausrummut tulee pitää puhtaina, jotta lämmitettyilma pääsee kiertämään esteettömästi kuivataviin pyykkeihin. Lauhteenpoistimet tulee pitää myös toimintakuntoisina, jottei höyryä johdeta suoraan lämpöpattereista ulos. Kuivaajat kannattaa pitää mekaanisesti hyvässä kunnossa.

Kuivaajissa kannattaa pyrkiä kuivattamaan mahdollisimman paljon samalla kuivauslämpötilalla kuivattavia pyykkejä peräjäälkeen. Tällöin kuivausrumpu ja lämpöpatteri eivät jäähdy niin paljoa kuin ne jäähtyvät jäähdytyksen aikana. Kannattaa harkita myös mekaanisen puristimen vaihtamista nykyistä isompaan, koska mekaanisesti tapahtuva kosteuden poisto pyykeistä on halvempaa. Tällöin myös kuivausohjelmien kuivaus ajat lyhenevät ja mahdollisesti voidaan myös pienentää kuivaus lämpötilaa. Tämän seurauksena höyrynkulutusta saadaan pienennettyä.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli löytää mahdollisia parannuskeinoja ja säästöjä prosessi-höyryn käytölle Oulun Keskuspesulassa. Höyryä käytetään pesulassa pyykin pesemiseen ja kuivaamiseen. Tässä työssä keskityttiin pyykin kuivaamiseen käytettävien koneiden tutkimiseen. Tutkittavana olivat kuivaajat ja mankelit ja niiden höyryn kulutus.

Mittauksia varten hankittiin kaksi tiheyskompensoitu TVA-höyrymittaria. Mittari asennettiin mitattavien koneiden höyryn syöttöputkeen. Putkesta leikattiin pala pois ja mittari asennettiin sitten kahden laipan väliin. Mittarin etupuolelle asennettiin roskasihti ja mittarin jälkeen asennettiin takaiskuventtiili.

Mittaustuloksien perusteella löytyi yksi suuri höyrynkuluttaja, ja se oli EM D'Hooge -mankeli. Kyseinen mankeli kulutti energiaa yli 5 kertaa enemmän kuin kaksi muuta mankeliä. Mittaustuloksien perusteella mankeleita kannattaa käyttää mahdollisimman paljon. Tyhjäkäynti myös kuluttaa höyryä, ja tällöin lämmitetään vaan pelkästään huoneilmaa.

Mittauksista selvisi myös kuivaajien höyrynkulutukset. Rumpukuivaajissa höyrynkulutukseen vaikuttavat kuivauslämpötila ja -aika. Näihin kahteen edellä mainittuun seikkaan vaikuttaa kuivattava pyykki ja sen materiaalia. Lavatec-rumpukuivaajien tuloksissa ei ollut kovin suuria eroja, kun niitä verrattiin keskenään. Pesulinja 3:n rumpukuivaajat kuluttivat enemmän höyryä yhtä pyykkikiloa kohden kuin pesulinja 2:n rumpukuivaajat. Passat-rumpukuivaajat kuluttivat höyryä enemmän kuin Lavatec-rumpukuivaajat. Passat-rumpukuivaajissa on suurempi kuivausrumpu ja lämpöpatterit ovat isommat kuin Lavatec-rumpukuivaajissa, joten se selittää suuremman höyryn kulutuksen osittain. Rumpukuivaajissa kannattaa kuivata mahdollisimman paljon pyykkiä kerralla. Näin saavutetaan parempi hyötysuhde käytetylle höyrylle.

Opinnäytetyössä päästiin ainakin osittain asetettuihin tavoitteisiin, kun mittauksien perusteella löytyi yksi mankeli, joka kuluttaa paljon enemmän energiaa muihin laitteisiin verrattuna. Hankitulla mittarilla voidaan tulevaisuudessa mitata mahdollisten uusien laitteiden höyryn kulutusta. Höyryputkissa on jo olemassa

valmiit asennuspaikat mittarille, joten mittarin asentaminen ja mittauksien suorittaminen on helppoa. Myös olemassa olevien koneiden höyrynkulutusta voidaan seurata, jos ilmenee tarvetta epäillä jonkin laitteen höyryn kulutusta.

Mittaustuloksien perusteella EM D'Hooge -mankeli kannattaa korvata uudella mankelilla. Samoin myös kannattaa harkita Lavatec TT 735 -rumpukuivaajien vaihtamista uusiin samantyyppisiin kuivaajiin. Uusien koneiden avulla saavutetaan säästöjä höyrynkulutuksessa ja höyrynkulutus kuivattavaa pyykkikiloa kohden pienenee.

LÄHTEET

1. Pesulat. Oulun Keskuspesula Oy. 2013. Saatavissa: <http://www.oulunkeskuspesula.fi/>. Hakupäivä 15.2.2013.
2. Marttila, Seppo 2010. T350106 Tekninen termodynamiikka, 6 op. Opintojakson oppimateriaali lukuvuonna 2010 – 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
3. TVA flowmeter for saturated steam flow measurement. Esite. Spirax Sarco. Saatavissa: http://www.spiraxsarco.com/pdfs/SB/p337_53.pdf. Hakupäivä 20.2.2013.
4. Jensen. Jenroll EX. Mankeliesite.

LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Tekniset tiedot, TVA-höyrymittari

Liite 3 TVA-höyrymittarin toimintaperiaate

Liite 4 Asennusohjeet, TVA-höyrymittari

Liite 5 Vesitaulukko

Liite 6 Lavatecin esite

OULUN SEUDUN
ÄRÄTIETOKIRKAS OULU

YHTIÖKÄYTTÖ
KOTIKATU 1, 90100 OULU
010 360 111

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä:	Timo Suorsa	Tilaaja:	Oulun Keskuspesula Oy
	Tilaajan yhteystiedot ja yhteystiedot:	Matti Johansson, 044- 3158200, matti.johansson@ppshp.fi		
	Työn nimi:	Prosessi energian käyttö Oulun Keskuspesula Oy:ssä		
	Työn kuvaus:	Tutkia höyryn kulutusta pesuprosessissa ja lämmityksessä. Tutkia kuinka höyryn kulutusta voisi pienentää.		
	Työn tavoitteet:	Höyryn kulutuksen vähentäminen/ parempi kohdentaminen. Höyryn menevien kulujen pienentäminen.		
	Tavoiteaikataulu:	Valmis kevään 2013 aikana.		
Päivä ja allekirjoitus:	18/01/2013 Tekijän allekirjoitus	18/01/2013 Tilaajan allekirjoitus		
<p>1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosite.</p> <p>2. Työn kestävän yrityksen virallinen nimi.</p> <p>3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.</p> <p>4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimä, jota myöhemmin tarkennetaan.</p> <p>5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitellään muun muassa työn lausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.</p> <p>6. Esitellään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.</p> <p>7. Esitellään projektin tavoiteaikataulu. Selvitä, kun työtä on välitavoitteita, myös ne merkittävät aikataulun perusteella tekijä teki oman aikataulunsa.</p> <p>8. Lähtötietomuiisto päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaajan yhteystiedot.</p>				

Local regulations may restrict the use of this product to below the conditions quoted.
In the interests of development and improvement of the product, we reserve the right to change the specification without notice. © Copyright 2012

spirax sarco

TVA

Flowmeter for Saturated Steam Service

TI-P337-50
MI Issue 3

Description

The Spirax Sarco TVA flowmeter is designed for use on saturated steam only and operates on the target principle, by measuring the force produced on a moving cone by the fluid flow. This strain is then converted into density compensated mass flowrate and is transmitted via a single loop powered 4-20 mA and pulsed output. TVA flowmeters also incorporate a totalised flow function and RS 232 Modbus communications.

Sizes and pipe connections

DN50, DN80 and DN100

The TVA flowmeter is of wafer design, suitable for fitting between the following flanges:

EN 1092 PN16, PN25 and PN40

BS 10 Table H

ASME B 16.5 Class 150 and Class 300

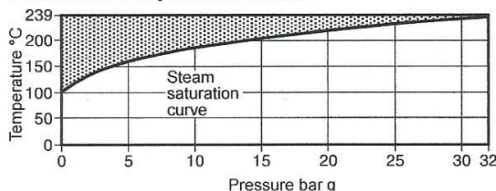
Japanese Industrial Standard JIS 20

Korean Standard KS 20

Note:

The Spirax Sarco TVA flowmeter should be installed in pipework manufactured to BS 1600, ASME B 36.10 Schedule 40 or EN 10216-2 / EN 10216-5 equivalent. For systems with different standards/schedules, please contact Spirax Sarco.

Pressure/temperature limits

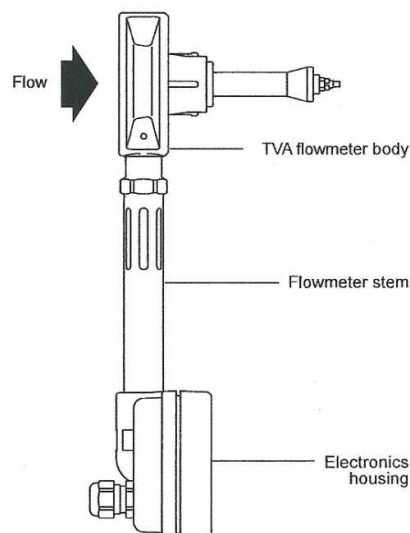


The product should not be used in this region due to software limitations.

Maximum design pressure	32 bar g @ 239°C
Maximum design temperature	239°C
Minimum design temperature	0°C (non-freezing)
Maximum operating pressure	Horizontal flow 32 bar g @ 239°C Vertical flow 7 bar g @ 170°C
Minimum operating pressure	0.6 bar g
Maximum operating temperature (saturation)	239°C
Minimum operating temperature	0°C (non-freezing)
Maximum electronics ambient temperature	55°C
Maximum electronics humidity level	90% RH (non-condensing)
Designed for a maximum cold hydraulic test pressure of 52 bar g	

Materials

Flowmeter body	Stainless steel S.316 1.4408 CF8M
Internals	431 S29/S303/S304/S316
Spring	Inconel X750 or equivalent
Flowmeter stem	Stainless steel 300 series
Electronics housing	Aluminium LM25



Technical data

IP rating	IP65 with correct cable glands
Power supply	Loop powered nominal 24 Vdc
Outputs	4 - 20 mA (proportional to mass flow) Pulsed output (V_{max} 28 Vdc R_{min} 10 kΩ)
Communication port	Modbus EIA 232C (RS 232)

Performance

The TVA flowmeter has inbuilt electronics which give a density compensated output. An LCD display is incorporated within the electronics head. The M750 display unit can be used to provide a remote display function if required, utilising the 4 - 20 mA output.

System uncertainty, to 95% confidence (2 STD): (in accordance with ISO 17025)

±2% of measured value from 10% to 100% of maximum rated flow.
±0.2% FSD, from 2% to 10% of maximum rated flow.
Turndown : up to 50:1

As the TVA flowmeter is a self contained unit, the uncertainty quoted is for the complete system. Many flowmeters claim a pipeline unit uncertainty and for a true system uncertainty, the individual uncertainty values of any associated equipment, such as DP cells, need to be added to the pipeline value.

Pressure drop

The pressure drop across the TVA is nominally 750 mbar (300 ins water gauge) at maximum rated flow for the DN50, and 500 mbar (200 inches water gauge) for the DN80 and DN100.

First for Steam Solutions

EXPERTISE | SOLUTIONS | SUSTAINABILITY

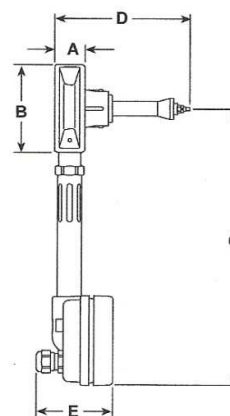
(http://www.spiraxsarco.com/pdfs/TI/p337_50.pdf. Hakupäivä 20.2.2013.)

**Dimensions/weights** (approximate) in mm and kg

Size	A	B	C	D	E	Weight
DN50	35	103	322	160	65	2.67
DN80	45	138	334	160	65	4.38
DN100	60	162	344	215	65	7.28

TVA flowmeter flow capacities and pressure drops

Flowmeter type	Q _E litres/min		Maximum DP	
	Maximum	Minimum	Wg	m bar
DN50	300	3	300	750
DN80	770	8	200	498
DN100	1200	12	200	498

**Sizing the TVA flowmeter for saturated steam (kg/h) (Horizontal orientation)**

Maximum flowrates in kg/h at different pressures (bar g).

Notes:

- 1 - Maximum steam flowrates are calculated at maximum differential pressure.
- 2 - For vertical capacities please contact Spirax Sarco.
- 3 - The table below is a guide only.

Size	Steam pressure bar g	1	3	5	7	10	12	15	20	25	30	32	bar g
DN50	Q _E = 300	Max. flow	619	859	1 042	1 196	1 395	1 513	1 676	1 918	2 135	2 335	2 409
		Min. flow	12	17	21	24	28	30	33	38	43	47	60
DN80	Q _E = 770	Max. flow	1 588	2 204	2 674	3 070	3 581	3 885	4 301	4 922	5 480	5 994	6 183
		Min. flow	32	44	53	61	72	78	86	98	110	120	128
DN100	Q _E = 1200	Max. flow	2 475	3 435	4 167	4 784	5 581	6 054	6 703	7 671	8 540	9 341	9 637
		Min. flow	49	69	83	96	112	121	134	153	171	187	192

Safety information, installation and maintenance

For full details see the Installation and Maintenance Instructions (IM-P337-51 and IM-P337-52) supplied with the product.

The following main points are given for guidance only:

1. The TVA flowmeter should be mounted with a minimum of 6 straight pipe diameters upstream and 3 downstream. No valves, fittings or cross sectional changes are permitted within these pipe lengths. Where an increase in nominal pipe diameter is required, upstream of the flowmeter, the length of straight pipe should be increased to 12 diameters. Similarly, where a Spirax Sarco TVA is installed downstream of two 90° bends in two planes, a pressure reducing valve or a partly open valve, 12 upstream pipe diameters should be allowed.
2. It is important that the internal upstream and downstream diameters of pipe are smooth. Ideally seamless pipes should be used and there should be no intrusive weld beads on the internal diameter. It is also recommended that slip-on flanges are used to avoid this.
3. Care should be taken to install the TVA flowmeter concentrically in the line. If this is not done, flow measurement errors may occur.
4. The TVA flowmeter can be installed in any orientation up to a line pressure of 7 bar g.
5. As for all steam flowmetering installations, good basic steam engineering practices should be followed:
 - Correct line drainage through adequate trapping.
 - Good alignment and support of associated pipework.
 - Line size changes achieved by the use of eccentric reducers.
 - Do not lag (insulate) the TVA body or the mating flanges.
6. The TVA flowmeter must not be installed outside where it can be subjected to driving rain or where it is liable to freeze.

How to order

Example: 1 off Spirax Sarco DN100 TVA flowmeter for installation between EN 1092 PN40 flanges for use on saturated steam at 10 bar g - Maximum flow 5581 kg/h.

Note: For details of the optional remote display see the relevant Spirax Sarco M750 literature.

(http://www.spiraxsarco.com/pdfs/SB/p337_53.pdf. Hakupäivä 20.2.2013.)

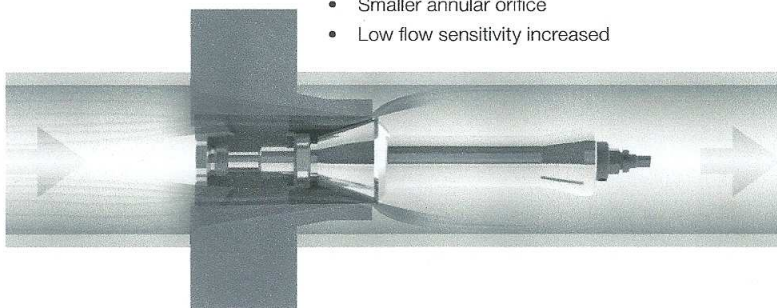
How the TVA works

As flow increases, the cone moves to open an annular orifice and produce a bending moment on an internal sensing beam...

Steam flow causes the profiled cone to move axially against the resistance of a spring held by a measurement beam. As flow increases, the cone moves to open an annular orifice and produces a bending moment on the beam. This force, together with a temperature measurement from an internal sensor at the beam tip, are fed to the integral electronics head to calculate and display flowrate, total flow, power, temperature, pressure and energy. The unique design creates a near-linear relationship between flowrate and output, making it possible to measure both high and low flows accurately.

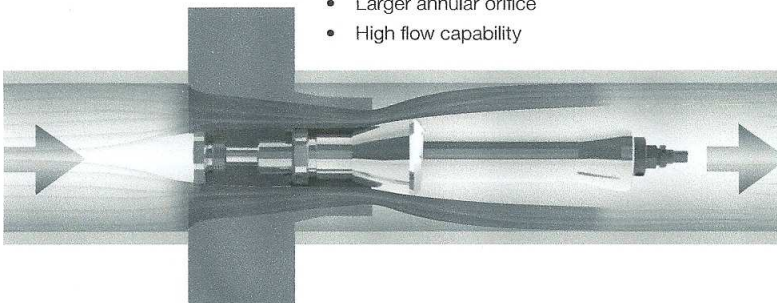
Low flow

- Cone retracts
- Smaller annular orifice
- Low flow sensitivity increased



High flow

- Cone extends
- Larger annular orifice
- High flow capability



The innovative moving cone design not only provides exceptional flow range capability, it reshapes the flow profile to allow installation with short pipe runs.

Its large surface area disperses the high impact energy of wet steam, making it very resistant to erosion and reliable in the long-term.

Once calibrated the TVA rarely needs adjusting.

3.2 Mechanical installation

Warning: Do not alter the adjustment nut at the back of the TVA flowmeter shaft, as this will affect the flowmeters calibration.

Orientation

The TVA flowmeter can be installed in any orientation when the pressure is below 7 bar g (101 psi g), see Figures 7, 8 and 9.

When the pressure is above 7 bar g the TVA flowmeter must be installed in a horizontal pipe, with the electronics housing below the body, see Figure 9.

Note: The TVA flowmeter operates with flow in one direction only. It is not intended for use with bi-directional flow. The TVA flowmeter is clearly marked with a direction of flow arrow.

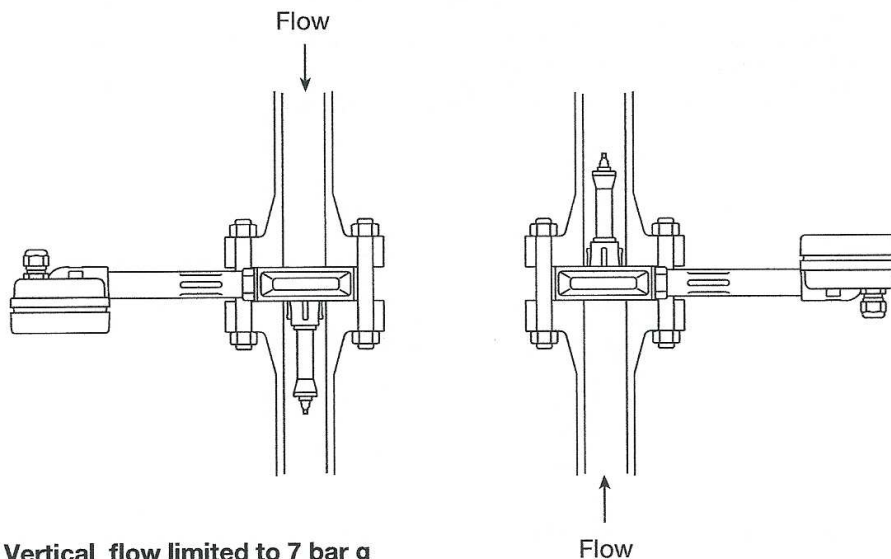


Fig. 7 Vertical flow limited to 7 bar g

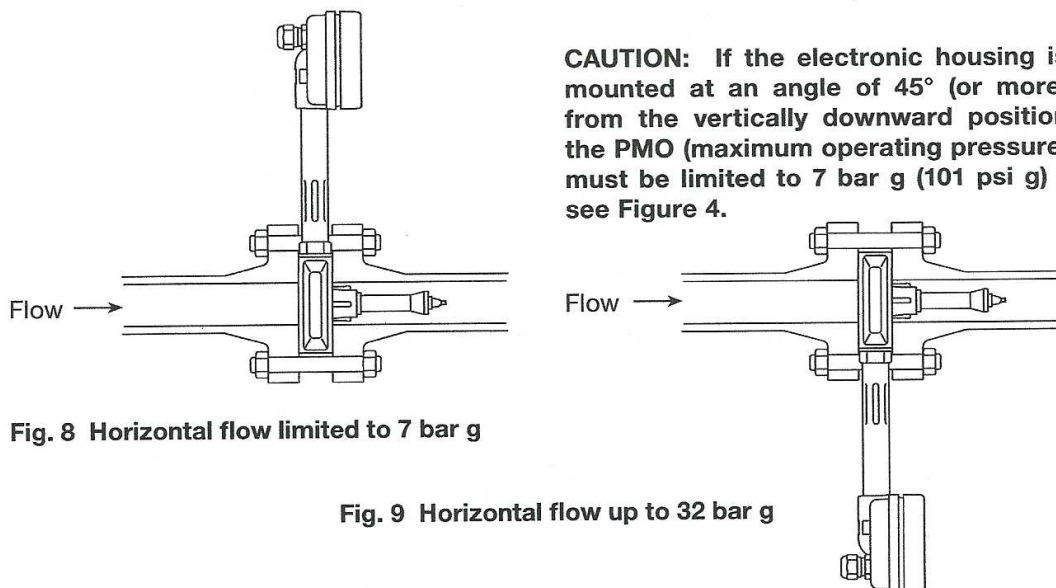
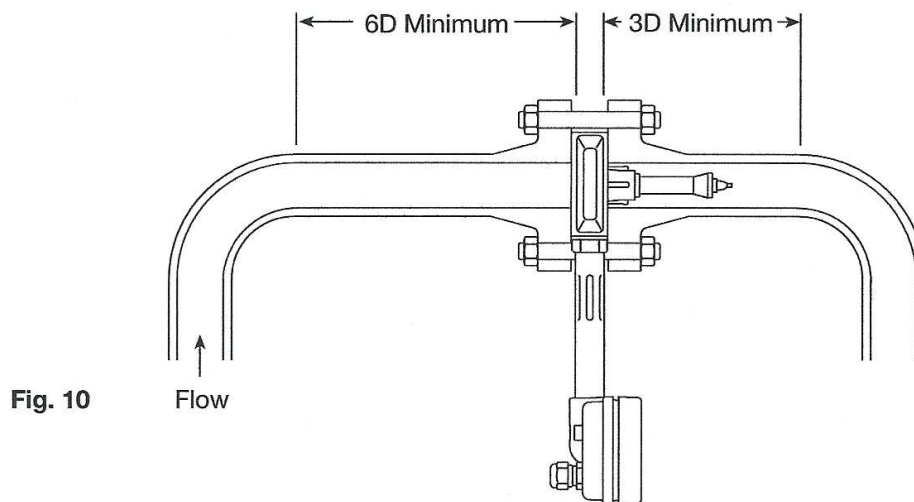


Fig. 8 Horizontal flow limited to 7 bar g

Fig. 9 Horizontal flow up to 32 bar g

CAUTION: If the electronic housing is mounted at an angle of 45° (or more) from the vertically downward position the PMO (maximum operating pressure) must be limited to 7 bar g (101 psi g) - see Figure 4.

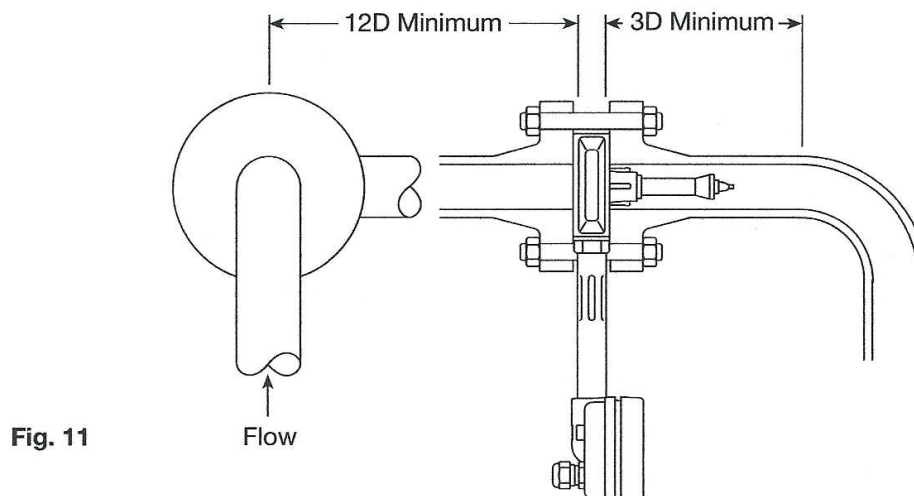
The TVA flowmeter normally only requires a minimum of 6 pipe diameters upstream and 3 downstream of clear straight pipe. These dimensions assume a measurement from a single 90° bend (see Figure 10).

**Fig. 10**

If any of the following configurations are present upstream of the TVA flowmeter:

- Two right angled bends in two planes.
- Pressure reducing valve.
- Partly open valve.

Then it is recommended that the minimum upstream clear pipework is doubled to 12 diameters (See Figure 11).

**Fig. 11**

Location in pipework

Bolt ring gaskets having the same internal diameter of the pipework are recommended. This will prevent possible inaccuracies being created by the gasket protruding into the pipe.

It is important that the TVA flowmeter is located centrally in the pipework as any eccentricity may cause inaccurate readings. The TVA flowmeter has integral centering webs, which locate on the internal diameter of the pipework (see Figure 14).

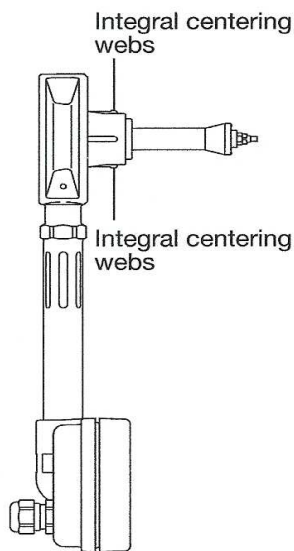


Fig. 14 Integral centering webs

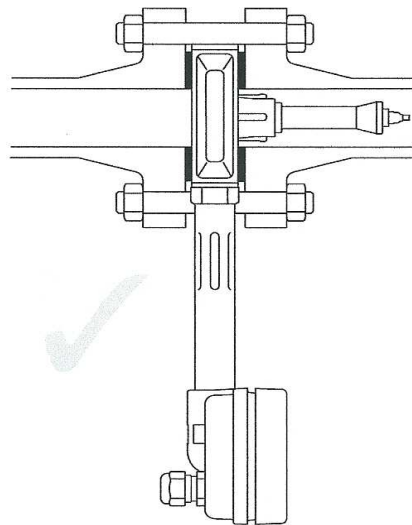


Fig. 15 Gaskets fitted correctly

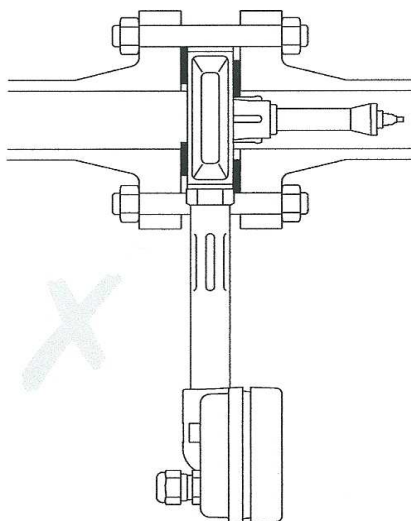


Fig. 16 Gaskets fitted incorrectly

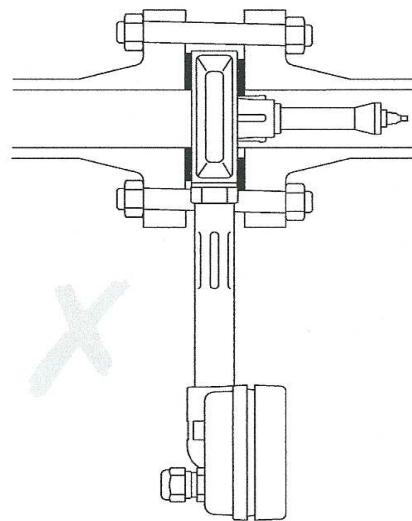


Fig. 17 Gaskets and pipe offline, fitting incorrectly

2 KYLLÄISEN VEDEN TILASUUREITA PAINEEN FUNKTIONA

p	absoluuttinen paine
T	kiehumislämpötila eli kylläinen lämpötila
ρ_n	kylläisen (kiehumispisteessä olevan) nesteen tiheys
ρ_h	kylläisen (kiehumispisteessä olevan) höyryn tiheys
u_n	kylläisen nesteen ominaissisäenergia
u_h	kylläisen höyryn ominaissisäenergia
h_n	kylläisen nesteen ominaisentalpia
h_h	kylläisen höyryn ominaisentalpia
Δh_{nh}	kylläisen höyryn ja kylläisen nesteen ominaisentalpioiden erotus eli ominaishöyrystymisentalpia
s_n	kylläisen nesteen ominaisentropia
s_h	kylläisen höyryn ominaisentropia

p bar	T °C	ρ_n kg/m ³	ρ_h kg/m ³	u_n kJ/kg	u_h kJ/kg	h_n kJ/kg	h_h kJ/kg	Δh_{nh} kJ/kg	s_n kJ/(kgK)	s_h kJ/(kgK)
0,006117	0,01	999,79	0,004854	0,00	2374,91	0,00	2500,91	2500,91	0,00000	9,15549
0,010	6,97	999,86	0,007741	29,30	2384,50	29,30	2513,68	2484,38	0,10591	8,97493
0,015	13,02	999,33	0,011369	54,68	2392,81	54,69	2524,75	2470,06	0,19557	8,82705
0,020	17,50	998,64	0,014928	73,43	2398,93	73,43	2532,91	2459,48	0,26058	8,72272
0,025	21,08	997,93	0,018436	88,43	2403,82	88,43	2539,43	2451,00	0,31186	8,64215
0,030	24,08	997,24	0,021903	100,99	2407,91	100,99	2544,88	2443,89	0,35433	8,57656
0,035	26,67	996,56	0,025337	111,83	2411,44	111,84	2549,57	2437,74	0,39066	8,52126
0,040	28,96	995,92	0,028742	121,40	2414,54	121,40	2553,71	2432,31	0,42245	8,47349
0,045	31,01	995,30	0,032121	129,98	2417,32	129,98	2557,41	2427,43	0,45074	8,43144
0,050	32,88	994,71	0,035478	137,76	2419,83	137,77	2560,77	2423,00	0,47625	8,39391
0,055	34,58	994,14	0,038815	144,90	2422,14	144,90	2563,83	2418,93	0,49950	8,36003
0,060	36,16	993,59	0,042133	151,49	2424,26	151,49	2566,67	2415,17	0,52087	8,32915
0,065	37,63	993,07	0,045435	157,62	2426,24	157,63	2569,30	2411,67	0,54065	8,30078
0,070	39,00	992,56	0,048721	163,36	2428,08	163,37	2571,76	2408,39	0,55908	8,27456
0,075	40,29	992,07	0,051992	168,75	2429,81	168,76	2574,06	2405,30	0,57632	8,25018
0,080	41,51	991,60	0,055250	173,84	2431,44	173,85	2576,24	2402,39	0,59253	8,22741
0,085	42,66	991,14	0,058496	178,67	2432,99	178,68	2578,30	2399,62	0,60783	8,20604
0,090	43,76	990,70	0,061729	183,25	2434,45	183,26	2580,25	2396,99	0,62233	8,18592
0,095	44,81	990,26	0,064952	187,62	2435,85	187,63	2582,11	2394,48	0,63610	8,16691
0,10	45,81	989,84	0,068164	191,80	2437,18	191,81	2583,89	2392,07	0,64922	8,14889
0,15	53,97	986,16	0,099797	225,92	2448,00	225,94	2598,30	2372,37	0,75484	8,00712
0,20	60,06	983,14	0,13075	251,38	2455,98	251,40	2608,95	2357,55	0,83195	7,90723
0,25	64,96	980,55	0,16120	271,90	2462,36	271,93	2617,45	2345,52	0,89309	7,83016
0,30	69,10	978,26	0,19126	289,20	2467,69	289,23	2624,55	2335,32	0,94394	7,76745
0,35	72,68	976,20	0,22098	304,21	2472,29	304,25	2630,67	2326,42	0,98759	7,71461
0,40	75,86	974,32	0,25043	317,53	2476,33	317,57	2636,05	2318,48	1,02590	7,66897
0,45	78,71	972,58	0,27964	329,51	2479,94	329,55	2640,86	2311,31	1,06009	7,62881
0,50	81,32	970,95	0,30863	340,42	2483,21	340,48	2645,21	2304,74	1,09101	7,59296
0,55	83,71	969,43	0,33743	350,47	2486,19	350,52	2649,19	2298,67	1,11924	7,56060
0,60	85,93	968,00	0,36606	359,77	2488,94	359,84	2652,85	2293,02	1,14524	7,53110
0,65	87,99	966,64	0,39453	368,46	2491,49	368,53	2656,25	2287,72	1,16936	7,50400
0,70	89,93	965,35	0,42285	376,61	2493,87	376,68	2659,42	2282,74	1,19186	7,47895
0,75	91,76	964,12	0,45104	384,29	2496,10	384,37	2662,39	2278,02	1,21296	7,45566
0,80	93,49	962,93	0,47911	391,56	2498,20	391,64	2665,18	2273,54	1,23283	7,43389
0,85	95,13	961,80	0,50707	398,46	2500,18	398,55	2667,82	2269,27	1,25162	7,41347
0,90	96,69	960,71	0,53491	405,03	2502,06	405,13	2670,31	2265,19	1,26944	7,39423

p bar	T °C	ρ_n kg/m ³	ρ_h kg/m ³	u_n kJ/kg	u_h kJ/kg	h_n kJ/kg	h_h kJ/kg	Δh_{nh} kJ/kg	s_n kJ/(kgK)	s_h kJ/(kgK)
0,95	98,18	959,65	0,56266	411,32	2503,85	411,42	2672,69	2261,27	1,28639	7,37604
1,00	99,61	958,64	0,59031	417,33	2505,55	417,44	2674,95	2257,51	1,30256	7,35881
1,25	105,97	953,99	0,72731	444,16	2513,02	444,30	2684,89	2240,59	1,37394	7,28396
1,50	111,35	949,92	0,86255	466,92	2519,21	467,08	2693,11	2226,03	1,43355	7,22294
1,75	116,04	946,26	0,99637	486,78	2524,49	486,97	2700,13	2213,16	1,48489	7,17143
2,00	120,21	942,94	1,1290	504,47	2529,09	504,68	2706,24	2201,56	1,53010	7,12686
2,25	123,98	939,87	1,2606	520,46	2533,17	520,70	2711,65	2190,95	1,57055	7,08756
2,50	127,41	937,01	1,3914	535,08	2536,83	535,35	2716,50	2181,15	1,60722	7,05241
2,75	130,58	934,34	1,5214	548,58	2540,14	548,87	2720,89	2172,01	1,64078	7,02061
3,00	133,53	931,81	1,6507	561,13	2543,16	561,46	2724,89	2163,44	1,67176	6,99157
3,25	136,28	929,42	1,7795	572,88	2545,93	573,23	2728,57	2155,34	1,70056	6,96484
3,50	138,86	927,14	1,9077	583,93	2548,50	584,31	2731,97	2147,65	1,72747	6,94008
3,75	141,30	924,97	2,0354	594,38	2550,88	594,78	2735,12	2140,33	1,75275	6,91701
4,00	143,61	922,88	2,1627	604,29	2553,10	604,72	2738,06	2133,33	1,77660	6,89542
4,25	145,81	920,88	2,2895	613,73	2555,18	614,19	2740,81	2126,62	1,79918	6,87511
4,50	147,91	918,95	2,4160	622,73	2557,13	623,22	2743,39	2120,16	1,82063	6,85595
4,75	149,91	917,09	2,5422	631,36	2558,97	631,88	2745,82	2113,94	1,84107	6,83781
5,00	151,84	915,28	2,6681	639,64	2560,71	640,19	2748,11	2107,92	1,86060	6,82058
5,25	153,68	913,54	2,7936	647,60	2562,35	648,18	2750,28	2102,10	1,87930	6,80417
5,50	155,46	911,84	2,9189	655,27	2563,91	655,88	2752,33	2096,45	1,89724	6,78851
5,75	157,18	910,19	3,0440	662,68	2565,39	663,31	2754,28	2090,97	1,91448	6,77353
6,00	158,83	908,59	3,1688	669,84	2566,79	670,50	2756,14	2085,64	1,93110	6,75917
6,25	160,43	907,03	3,2934	676,77	2568,14	677,46	2757,91	2080,44	1,94712	6,74537
6,50	161,99	905,50	3,4179	683,50	2569,42	684,22	2759,60	2075,38	1,96260	6,73210
6,75	163,49	904,01	3,5421	690,02	2570,64	690,77	2761,21	2070,44	1,97758	6,71932
7,00	164,95	902,56	3,6662	696,37	2571,81	697,14	2762,75	2065,61	1,99208	6,70698
7,25	166,37	901,13	3,7901	702,54	2572,94	703,34	2764,23	2060,88	2,00615	6,69507
7,50	167,76	899,74	3,9139	708,55	2574,01	709,38	2765,64	2056,26	2,01981	6,68354
7,75	169,10	898,37	4,0375	714,41	2575,05	715,27	2767,00	2051,73	2,03308	6,67237
8,00	170,41	897,03	4,1610	720,13	2576,04	721,02	2768,30	2047,28	2,04599	6,66154
8,25	171,69	895,72	4,2844	725,71	2577,00	726,63	2769,56	2042,93	2,05856	6,65103
8,50	172,94	894,43	4,4076	731,16	2577,91	732,11	2770,76	2038,65	2,07081	6,64083
8,75	174,16	893,16	4,5308	736,50	2578,80	737,48	2771,92	2034,44	2,08275	6,63090
9,00	175,36	891,91	4,6539	741,72	2579,65	742,72	2773,04	2030,31	2,09440	6,62124
9,25	176,53	890,69	4,7769	746,83	2580,47	747,86	2774,11	2026,25	2,10579	6,61183
9,50	177,67	889,48	4,8998	751,83	2581,27	752,90	2775,15	2022,25	2,11691	6,60266
9,75	178,79	888,30	5,0226	756,74	2582,03	757,84	2776,15	2018,31	2,12779	6,59371
10	179,89	887,13	5,1454	761,56	2582,77	762,68	2777,12	2014,44	2,13843	6,58498
11	184,07	882,62	5,6358	779,95	2585,49	781,20	2780,67	1999,47	2,17886	6,55199
12	187,96	878,35	6,1256	797,13	2587,87	798,50	2783,77	1985,27	2,21630	6,52169
13	191,61	874,28	6,6149	813,28	2589,97	814,76	2786,49	1971,73	2,25118	6,49365
14	195,05	870,39	7,1039	828,52	2591,82	830,13	2788,89	1958,76	2,28388	6,46752
15	198,30	866,65	7,5929	842,99	2593,46	844,72	2791,01	1946,29	2,31468	6,44305
16	201,38	863,05	8,0820	856,76	2594,91	858,61	2792,88	1934,27	2,34381	6,42002
17	204,31	859,58	8,5713	869,91	2596,20	871,89	2794,53	1922,64	2,37146	6,39825
18	207,12	856,22	9,0611	882,51	2597,33	884,61	2795,99	1911,37	2,39779	6,37760
19	209,81	852,96	9,5513	894,62	2598,34	896,84	2797,26	1900,42	2,42294	6,35794
20	212,38	849,80	10,042	906,27	2599,22	908,62	2798,38	1889,76	2,44702	6,33916
21	214,87	846,72	10,534	917,51	2600,00	919,99	2799,36	1879,37	2,47013	6,32120
22	217,26	843,71	11,026	928,37	2600,67	930,98	2800,20	1869,22	2,49236	6,30395
23	219,56	840,78	11,519	938,89	2601,26	941,63	2800,92	1859,30	2,51377	6,28737
24	221,80	837,92	12,013	949,09	2601,75	951,95	2801,54	1849,58	2,53444	6,27140

LAVATEC <i>Laundry Technology GmbH</i>		Batch Tumbler	TT 735 D
Filling Capacity			
at filling ratio	95 kg / 1:20	76 kg / 1:25	64 kg / 1:30
Water Evaporation			
filling ratio / steam heating - 10 bar saturated steam		1:30	190 l/h = 3,1 l/min
evaporation depending on local conditions			
Drum			
diameter x depth			1270 x 1500 mm
volume			1900 dm³
Standard Version			
<ul style="list-style-type: none">- Cyclic loading at front with lifting door- Automatic, pneumatic unloading at the rear by lifting door- Steam heating up to 15 bar- Electronic temperature indication exhaust air- Control for automatic operation as single- resp. Installation unit- Large lint bag- Touchscreen control- Radial-diagonal air flow- Pedestal height 1000mm		<ul style="list-style-type: none">- Drum of stainless steel- Thermost.-electric overdrying protection ÜS via infrared- Drum drive by friction wheel, reversible by means of V-belt and socket gear- Colour: RAL 5018 turquoise blue- Electric supply: 3/N ~ 50Hz, 400/230 V- Easy maintenance and inner surface cleaning- Machine equipped in accordance with relevant safety standards	
Special Version			
<ul style="list-style-type: none">- Automatic tilt-unloading at the rear- Thermostatic-electronic temperature control with steam valve- Cool down system, time controlled- Thermostatic-electronic temperature control of inlet- and exhaust air (SAT)- Recirculation system for optimal finish- Additional heat- an noise insulation- Steam trap- Sprinkler device- Drum poly-coated		<ul style="list-style-type: none">- Special voltage, special frequency- CSA-, Nema/UL-regulation- Special finish- Special pedest heights: 1250mm, 1500mm, 1750mm, 2000mm- Tilting version-pedestal + 100 mm- Add. Heating battery for heigher evaporation- Heating battery in stainless steel for hot oil (225°C) / for hot water (200°C)- Heating battery with TÜV- resp. SA-Certificate	
Accessories			
transport units for loading and unloading			
Connected Load and Consumption Rate		Connected Load	Consumption
Electric - without transport units		9,2 kW	7,8 kW
Saturated steam 10 bar units		495 kg/h	320 kg/h
Nominal heating capacity		185 kW	
Hot oil 225/180°C or Hot water 200/180°C		8550 l/h	max. 8550 l/h
Compressed air 6 bar, 6 charges/h suction capacity		250 l/h	200 l/h
Consumption depending on local conditions			
Exhaust Air Rate			
Exhaust air rate with recirculation drying cycle in operation			2000-3800 m³/h
Exhaust air rate with aerate drying + cool down cycle max.			7600 m³/h
Counter pressure from local exhaust pipe max. permissible			3,0 mbar
Packing	pedestal dismantled	WxHxD ca.	2200x2500x2550 mm
Weights			
		Tumbler net	1800 kg
		op. Weight approx.	1950 kg
Technical Specification 1	Lavatec Laundry Technology GmbH Wannenäckerstr. 53, 74078 Heilbronn, Germany		edition 09.2010 Subject to alterations