



Jyrki Haataja

KORKEAPAINEPUMPPUJEN LÄMMÖNTALTEENOTTO

KORKEAPAINEPUMPPUJEN LÄMMÖNTALTEENOTTO

Jyrki Haataja
Opinnäytetyö
19.4.2011
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU	TIIVISTELMÄ		
Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+ Liitteitä
Kone- ja tuotantotekniikka	Opinnäytetyö	38	+ 4
Suuntautumisvaihtoehto	Aika		
Energiatekniikka	2011		
Työn tilaaja	Työn tekijä		
MasiJet Oy	Jyrki Haataja		
Työn nimi			
Korkeapainepumppujen lämmöntalteenotto			
Avainsanat			
lämmönsiirto, vesisuihkuleikkaus, lämpö -- talteenotto			

MasiJet Oy:n tehtaalla Kempeleessä valmistetaan vesileikkaamalla teollisuuden pakkaustarvikkeita. Vesileikkauslaitteistossa vesi paineistetaan hydraulipumpun käyttämän paineenkohottimen avulla, minkä jälkeen vesi johdetaan paineentasaimen kautta leikkauspäähän. Leikatut tuotteet kuivatetaan ennen pakkaamista, joka tapahtuu ripustamalla tuotteet kuivumaan vuorokauden ajaksi.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli hyödyntää korkeapainepumppujen hydraulioiljyn jäähtyäkseen saatavaa lämpöenergiaa tuotteiden kuivaamiseen, jolloin tuotantoprosessia saataisiin nopeutettua olennaisesti. Tavoitteena oli suunnitella myös toimiva tehdashallin lisälämmitysratkaisu. Hydraulioiljyä jäähdytetään putkilämmönsiirtimessä kiertävän vesijohtoveden avulla, joka johdetaan suoraan viemäriin.

Ongelman ratkaisemiseksi täytyi ensin mitata vesileikkauslaitteiston putkilämmönsiirtimen yli vaikuttavat lämpötilaerot sekä jäähdytysnesteen ja hydraulioiljyn tilavuusvirta. Tuotantoprosessin nopeuttaminen onnistui mitoittamalla sopiva lämminilmakoje erilliseen kuivaustunneliin, jossa tuotteet kuivuvat nopeammin. Lämminilmakoje voi olla myös hieman suurempi, jolloin erillistä kuivaustunneliä ei tarvita. Varsinaista lisälämmitysratkaisua tehdashalliin ei tarvittu, koska huomattiin, että lämpöä riittää myös kovilla pakkasilla. Tosin tehdashallin sisälle sijoitettava tuotteiden kuivausratkaisu lämmittää hieman myös tehdasilmaa.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	5
2 PROSESSILAITTEET.....	7
3 VESILEIKKAUKSEN HYDRAULIIKKA	11
3.1 Lämmönsiirto.....	11
3.1.1 Johtuminen.....	11
3.1.2 Konvektio.....	11
3.1.3 Säteily.....	12
3.2 Lämmönsiirtimet.....	12
3.2.1 Putkilämmönsiirtimet	13
3.2.2 Levylämmönsiirtimet.....	15
3.2.3 Öljyn ilmajäähdyttimet	17
3.3 Vesileikkaus	18
3.3.1 Vesileikkaus menetelmä.....	18
3.3.2 Abrasiivinen vesileikkaus.....	18
3.3.3 Laitteistot.....	20
3.4 Hydraulipumput	21
3.4.1 Hammaspyöräpumput	21
3.4.2 Ruuvipumput	22
3.4.3 Siipipumput.....	23
3.4.4 Mäntäpumput	23
4 MITTAUKSET	27
5 LASKELMAT.....	31
6 LAITTEIDEN VALINTA	33
7 POHDINTA	36
LÄHTEET.....	37
LIITTEET	
Liite 1. Lähtötietomuistio	
Liite 2. Fläktwoods ATDA-30-1-1 -lämminilmakojeen tiedot	
Liite 3. Grundfos Alpha2 15-40 -kiertovesipumpun tiedot	
Liite 4. Denison-Hägglund PV-20 -aksiaalimäntäpumpun tiedot	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana toimii MasiJet Oy Kempeleestä, joka on perustettu vuonna 1992. Päätoimialana oli vuoteen 1998 asti korkeapainevesileikkaus ja tuotevalikoima koostui pääasiassa teollisuuden tarpeisiin valmistettavista pakkausvaimentimista. Sittemmin tuotevalikoima on laajentunut kattamaan pakkauskokonaisuuksien suunnittelun ja kehityksen asiakkaan tarpeiden mukaisesti sekä prototyypimallien lujuus- ja toimivuustestit. MasiJet Oy:n vesileikkausmenetelmällä on mahdollista valmistaa tuotevalikoiman tuotteet helposti ja edullisesti ilman terä- ja työkalukustannuksia. (1.)

MasiJet Oy:n tuotevalikoima sisältää aaltopahvista ja vanerista valmistetut laatikot ja pakkaukset, PE- ja kuituvaimentimet, ESD-pakkaukset, useaan kertaan käytettävät kontit, asiakkaan tarpeiden mukaan valmistetut erikoispakkaukset sekä erilaiset pakkaustarvikkeet. Kaikki tuotteet on saatavana pieninä tai suurina sarjoina, ja kaikki työvaiheet suunnittelusta valmistukseen MasiJet Oy tekee itse omissa tiloissaan. (1.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää lämmöntalteenottoa MasiJet Oy:ssä. Hyödynnettävän lämpöenergian mahdollisia käyttökohteita oli yrityksessä mietitty jo valmiiksi, mikä osaltaan vähensi työmäärää.

Opinnäytetyötä aloitettaessa MasiJet Oy:llä oli tuotantoprosessissa kaksi korkeapainevesileikkauksilaitteistoa, joista toinen oli aina varalla. Molemmissa laitteistoissa oli omat putkilämmönsiirtimet, joiden tehtävänä oli jäähdyttää paineenkohottimilta pumpuille palaavaa hydraulioöljyä. Putkilämmönsiirtimien jäähdyttävänä ainevirtana toimi vesijohtoverkosta saatava vesi, jota virtaa lämmönsiirtimen läpi vähintään 11 - 19 l/min. Lämmönsiirtimeltä lähtevää lämmintä vettä ei hyödynnetty mitenkään, vaan se virtasi suoraan viemäriin.

MasiJet Oy:n tuotantoprosessissa vesileikatut tuotteet on kuivatettava ennen seuraavaa työvaihetta. Kuivaus tapahtui ripustamalla tuotteet telineeseen riippumaan ja pitämällä ne siinä noin vuorokauden ajan ennen kuin ne voitiin

pakata. Tässä kuivausmenetelmässä tuotantoaikaa kuluu hukkaan kuivumisen hitauden takia. Myös kuivaustelineet ovat tilaa vieviä, mikä saattaa aiheuttaa tuotantotilojen ahtauden.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli hyödyntää saatavaa lämpöenergiaa tuotteiden kuivaamiseen ja suunnitella toimiva tehdashallin lisälämmitysratkaisu. Työ keskittyy suurimmalta osin tuotteiden kuivauksen kehittämiseen, koska sitä pidettiin ensisijaisen tärkeänä. Työn alkaessa ei myöskään oltu varmoja, oliko tehdashallin lisälämmitys tarpeellinen, koska yritys oli vasta edellisenä kesänä muuttanut uusiin tiloihin.

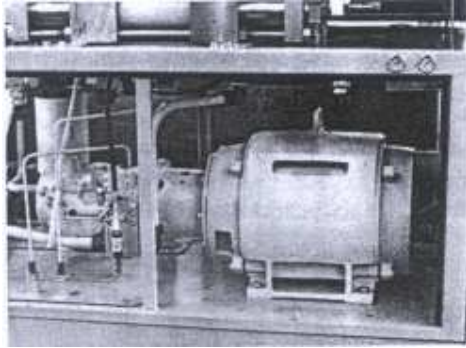
2 PROSESSILAITTEET

MasiJet Oy:llä on käytössään kaksi JetEdge-merkkistä korkeapainevesileikkauslaitteistoa. Kumpaankin laitteistoon kuuluvat korkeapainepumput, niitä käyttävät sähkömoottorit, paineenkohottimet ja paineakut. Laitteistoissa vesi voidaan paineistaa paineenkohottimen avulla n. 4 000 baarin maksimikäyttöpaineseen, ennen kuin se johdetaan leikkauspäähän. MasiJet Oy:llä käytössä olevan vesileikkauslaitteiston veden paine on kuitenkin noin puolet laitteiston maksimiarvosta. Vesileikkauslaitteistossa käytettävä vesi on tavallista vesijohtovettä, joka on suodatettu 0,45 μm :n tarkkuuteen. (2.)

Korkeapainepumput

Paineenkohottimen käyttämisestä tuotantoprosessissa huolehtii JetEdge 5707A -vesileikkauslaitteistossa Denison - Hägglund PV20 -mallin aksiaalimäntäpumppu, jonka teoreettinen maksimituotto on 77 l/min. Koneikon öljytilavuus on noin 300 litraa ja kierrostilavuus 43 cm^3/r . Pumppua käyttää 35 kW:n sähkömoottori, jonka pyörimisnopeus on 1 500 rpm. Korkeapainepumpun kehittämä n. 200 bar:n öljynpaine vaikuttaa sähköisesti ohjatun luistiventtiilin ohjaamana vuorotellen paineenkohottimen kaksitoimisen männän molemmille puolille. Edestakaisin liikkuva mäntä pumppaa korkeapaineisen veden leikkauspäähän. (2.)

Tuotantoprosessissa on myös toinen JetEdgen 5716A -mallin vesileikkauslaitteisto, joka on varustettu Denison - Hägglund -merkkisellä aksiaalimäntäpumppulla. Pumppua käyttää 54 kW:n sähkömoottori, jonka pyörimisnopeus on 1 800 rpm. Koneikon öljytilavuus on 400 litraa. Pumpun teoreettinen maksimituotto on 170 l/min ja kierrostilavuus n. 95 cm^3/r . Vesileikkauslaitteistoista toinen on aina varalla ja toinen on käynnissä. Kuvassa 1 on esitetty JetEdge Model 5707A -vesileikkauslaitteiston Denison - Hägglund -merkkinen korkeapainepumppu ja sitä käyttävä 35 kW:n sähkömoottori. (2.)



KUVA 1. Korkeapainepumppu ja sähkömoottori (2)

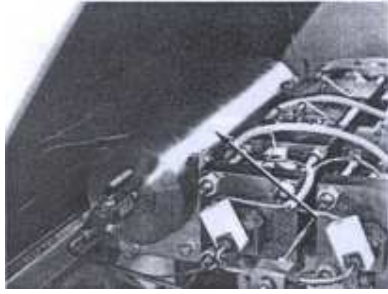
Paineakku ja paineentasain

Molemmissa JetEdgen vesileikkauslaitteistoissa on myös omat paineakut ja paineentasaimet. Paineakkua tarvitaan hydraulijärjestelmässä tasaamaan painevaihteluita. Paineakun kaasuna käytetään typpeä, ja se on ladattu esitäyttöpaineeseen, joka on noin 120 bar. Kuvassa 2 on JetEdge Model 5707A -vesileikkauslaitteiston paineakku. (2.)



KUVA 2. Paineakku (2)

JetEdgen vesileikkauslaitteistossa paineentasain on asennettu leikkauspään ja paineenkohottimin väliin tasaamaan paineenkohottimen aiheuttamia paineiskuja. Kuvassa 3 on JetEdge Model 5707A -vesileikkauslaitteiston paineentasain. (2.)



KUVA 3. Paineentasain (2)

Paineenkohotin

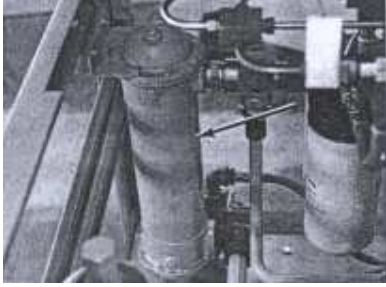
Paineenkohottimessa vesi paineistetaan kaksitoimisen männän avulla suhteella 20:1. Öljynpaine vaikuttaa vuorotellen männän molemmille puolille, mikä saa aikaan männän edestakaisen liikkeen. Kuvassa 4 on JetEdge Model 5707A -vesileikkauslaitteiston paineenkohotin. (2.)



KUVA 4. Paineenkohotin (2)

Lämmönvaihdin

JetEdgen vesileikkauslaitteistossa paineenkohottimelta palaava öljy jäähdytetään vastavirtaperiaatteella toimivan putkilämmönsiirtimen avulla alle $49^{\circ}C$:een komponenttien kulumisen ja vuotohäviöiden välttämiseksi. Suodatettu öljy, joka jäähtyy alaspäin, jäähdytetään lämmönsiirtimessä toisipuolella virtaavan jäähdytysveden avulla. Jotta öljyn lämpötila saataisiin pidettyä alle $49^{\circ}C$:n lämpötilassa, jäähdytysveden virtauksen on oltava noin 7,5 - 15 l/min. Veden virtausta säädellään termisesti ohjatun virransäätöventtiilin avulla. Kuvassa 5 on Thermal Transfer Product Ltd -merkkinen putkilämmönsiirrin. (2.)



KUVA 5. Lämmönsiirrin (2)

Veden suodatus

Vesileikkausprosessissa voidaan käyttää tavallista vesijohtovettä, mutta vesi on suodatettava $0,45 \mu\text{m}$:n tarkkuuteen ja deionisoitava ennen paineenkohoittimelle syöttämistä. Deionisointi vähentää sisäisten komponenttien ennenaikaista kulumista. Veden suodatus tapahtuu JetEdge Model 700-1 Water Filtration booster -suodatusjärjestelmässä. (2.)

3 VESILEIKKAUKSEN HYDRAULIIKKA

3.1 Lämmönsiirto

Lämpövirta syntyy, kun kaksi eri lämpötiloissa olevaa väliainetta joutuu vuorovaikutukseen. Tällöin termodynamiikan 2. pääsäännön mukaan lämpöenergia siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan eli väliaineiden välillä täytyy olla lämpötilaero. Lämmön siirtyminen väliaineiden välillä voi tapahtua kolmella tavalla: johtumalla konvektiolla ja säteilemällä. (3, s.13; 4, s. 38.)

Teknisissä laskuissa on pystyttävä määrittämään kahden eri lämpötiloissa olevan kaasun tai nesteen välisen lämpövirran suuruus aikayksikköä kohden, kun seinä erottaa väliaineita. Tätä väliaineiden välistä lämpövirtausta nimitetään lämmönsiirroksi. (3, s.13.)

3.1.1 Johtuminen

Johtuminen on väliaineiden lämpötilaeroista aiheutuvaa ja molekyylien välittämää lämpövirtausta kaasussa, nesteessä tai kiinteässä aineessa. Metalleilla lämmönjohtuminen on kaasujen lämmönjohtavuutta parempi, koska lämpö siirtyy metalleilla molekyylien lisäksi myös vapaiden elektronien välityksellä. Tästä syystä lämmönjohtavuudet sähköä johtavilla aineilla ovat huomattavasti suurempia kuin eristeiden. (3, s.15 - 16; 5, s. 204.)

3.1.2 Konvektio

Konvektiossa lämpö siirtyy virtaavasta kaasusta tai nesteestä kiinteään kappaleeseen. Konvektio eli kulkeutuminen voi olla vapaata tai pakotettua. Pakotetussa konvektiossa virtaus saadaan aikaan koneellisesti esim. pumpulla tai puhaltimella. Vapaassa konvektiossa seisovan nesteen tai kaasun ja kiinteän kappaleen välille muodostuu lämpövirtaus, joka johtuu kaasun ja nes-

teen lämpötilaeroista, eikä näin ollen kyseessä ole johtuminen (3, s.13; 5, s. 205.)

3.1.3 Säteily

Lämpösäteilyssä eli termisessä säteilyssä kappaleet, joiden lämpötila on yli absoluuttisen nollapisteen, lähettävät lämpötilansa perusteella energiaa sähkömagneettisten aaltojen välityksellä. Lämmönsiirtyminen säteilemällä edellyttää lämpötilaeroa kappaleen ja ympäristön välillä, jolloin lämpö siirtyy kylmempään kappaleeseen. Jos lämpötilaeroa ei ole, kappale ja ympäristö säteilevät lämpöä yhtä paljon. (3, s.117; 5, s. 206.)

Aallonpituus voi vaihdella säteilyyn sisältyvillä sähkömagneettisilla aalloilla. Lämpösäteilyn aallonpituus on yleensä välillä $\lambda = 0,8 - 400 \mu\text{m}$. Nestemäisillä ja kiinteillä kappaleilla aallonpituusalueet ovat laajoja, kun taas kaasuilla ne ovat kapeita. (3, s.117; 5, s. 206.)

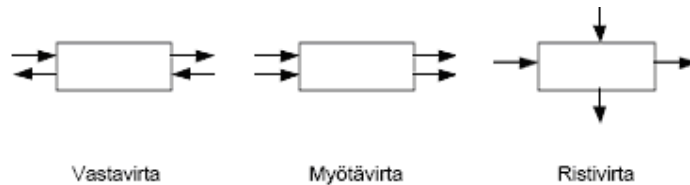
Säteilyn energia kasvaa voimakkaasti lämpötilan noustessa, mutta on merkittävä myös matalilla lämpötiloilla. Säteily voi mennä kappaleen läpi, absorboitua siihen tai heijastua siitä. (3, s.117; 5, s. 206.)

3.2 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirrin on yleinen energiatekninen laite, jossa energiaa siirtyy lämpönä eli termisenä energiana ainevirrasta toiseen. Ainevirtojen välillä täytyy olla lämpötilaero, koska lämpö siirtyy vain korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Lämmönsiirtimessä virtaa sisäinen lämpövirta, mikä ilmaisee myös lämmönsiirtimen tehon. Lämmönsiirtimen teho on sitä suurempi, mitä suurempi on ainevirtojen välinen lämpötilaero, jäähdytinaineen virtaus sekä ainevirtojen välinen jäähdyttävä pinta-ala. (4, s. 38; 6, s. 398.)

Yleisimmät lämmönsiirrintyytit rakenteen mukaan ovat levy- ja putkilämmönsiirtimet. Toimintaperiaatteeltaan lämmönsiirtimet voidaan jakaa kolmeen perustyyppiin: vastavirta-, myötävirta- ja ristivirtalämmönsiirrin. Vasta-

virtalämmönsiirtimissä ainevirrat virtaavat toisiinsa nähden vastakkaisiin suuntiin, myötavirtalämmönsiirtimissä samaan suuntaan ja ristivirtalämmönsiirtimissä kohtisuoraan. Lämmönsiirtimien virtaustapoja on havainnollistettu kuvassa 6. (7, s. 15.)



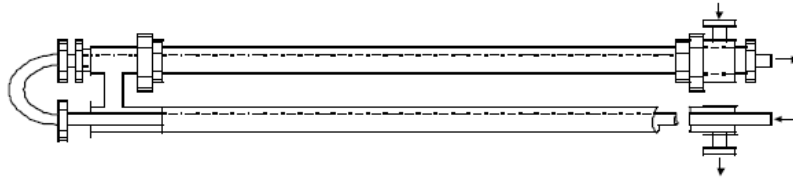
KUVA 6. Virtaustavat lämmönsiirtimissä (7, s. 15)

3.2.1 Putkilämmönsiirtimet

Putkilämmönsiirrin koostuu pyöreistä putkista, joissa toinen aine virtaa putken ulkopuolella ja toinen sisäpuolella. Rakenteensa vuoksi putkilämmönsiirtimiä voidaan käyttää myös haastavissa olosuhteissa, joissa nesteet ovat korkeissa lämpötiloissa ja paineissa. Rakenteeltaan yleisimmät putkilämmönsiirtimet ovat kaksoisputkilämmönsiirtimet sekä putki- ja vaippalämmönsiirtimet. (7, s.16.)

Kaksoisputkilämmönsiirtimet

Tyypillinen kaksoisputkilämmönsiirrin koostuu putkesta sekä sen sisällä olevasta pienemmästä samankeskisestä putkesta. Kaksoisputkilämmönsiirtimiä käytetään pääasiassa, kun tarvitaan pientä lämmönsiirtopinta-alaa, mutta se soveltuu myös korkeassa paineessa oleville prosessiaineille. Tarvittaessa kaksoisputkilämmönsiirtimiä voidaan asentaa myös sarjaan ja rinnan, jotta päästään haluttuun lämmönsiirtotehoon. Kaksoisputkilämmönsiirrin on esitetty kuvassa 7. (7, s. 16; 8, s. 6.)

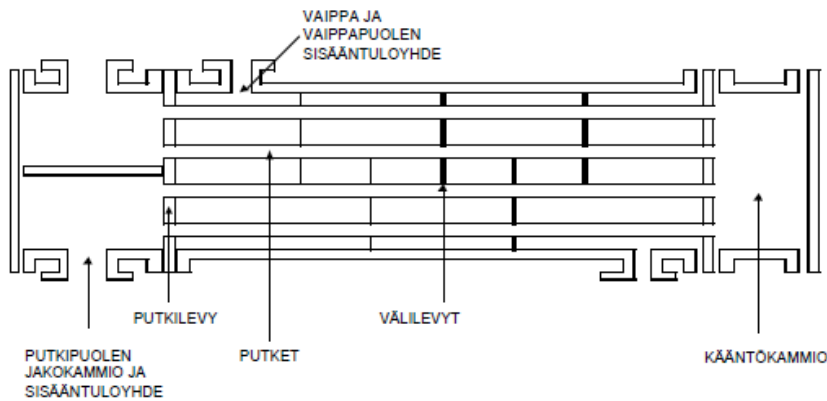


KUVA 7. Kaksoisputkilämmösiirrin (7, s. 17)

Putki- ja vaippalämmösiirrin

Putki- ja vaippalämmösiirrin koostuu useasta putkesta, joita ympäröi lie-riömäinen, metallinen vaippa. Vaipan sisällä olevat putket on kiinnitetty päis-tään putkilevyyn, jonka tarkoituksena on erottaa ensiö- ja toisiopuolen nes-teet toisistaan. Vaipan sisällä tapahtuvaa virtausta voidaan ohjata ja virtausnopeutta kasvattaa välilevyillä, joiden tarkoitus on myös tukea putki-ryhmää. (7, s. 17.)

Putki- ja vaippalämmösiirrin on yleisin lämmösiirrintyyppi prosessi- ja ke-mianteollisuudessa, jonka vuoksi myös sen suunnittelu- ja valmistusmene-telmät ovat yleisesti tunnettuja. Putki- ja vaippalämmösiirtimen laaja käyttö perustuu kuitenkin sen luotettavuuteen ja käyttövarmuuteen sekä mekaani-seen monipuolisuuteen, jonka ansiosta niissä voidaan käsitellä hyvinkin eri-laisia virtausmääriä. Kuvassa 8 on esitetty putki- ja vaippalämmösiirrin (7, s. 17.)



KUVA 8. Putki- ja vaippalämmösiirrin (7, s. 18)

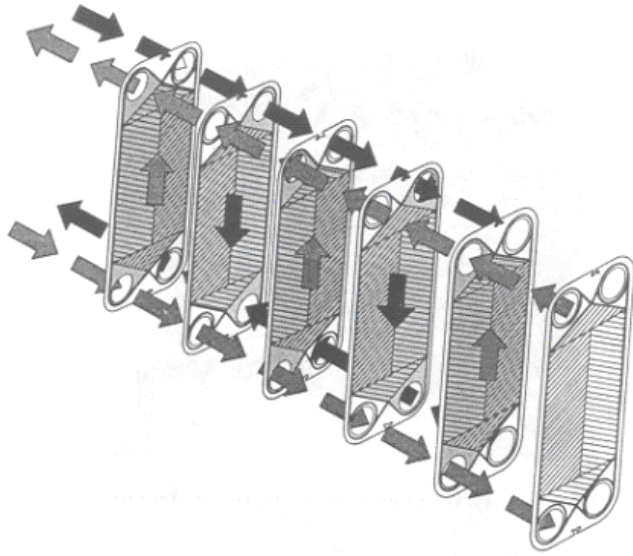
3.2.2 Levylämmönsiirtimet

Levylämmönsiirtimet voidaan jakaa tiivisteellisiin ja hitsattuihin levylämmönsiirtimiin sekä spiraalilämmönsiirtimiin. Yleisimpiä näistä ovat tiivisteelliset levylämmönsiirtimet.

Tiivisteelliset ja hitsatut levylämmönsiirtimet

Levylämmönsiirrin koostuu ohuista, aallotetuista ja korroosiota kestävästä kanavalevyistä, jotka muodostavat lämmönsiirtimen lämmönsiirtopinnan. Lämmönsiirtopintaa voidaan puolestaan kasvattaa lisäämällä levyjen määrää. Kanavalevyt muodostavat levypakan, joka on kiinnitetty runkoon. Kanavalevyjen välissä on kanavat kylmää ja lämmintä nestettä varten. Nesteet kulkevat vastakkaisiin suuntiin levyjen eri puolilla sekä vuorotellen myös levyjen välissä. Tiivisteellisissä levylämmönvaihtimissa on kanavalevyjen välissä lisäksi tiivisteet ehkäisemässä ulkoisia vuotoja ja ohjaamassa virtauksia oikeisiin kanaviin. (7, s. 18 - 19; 8, s. 10 - 11; 9.)

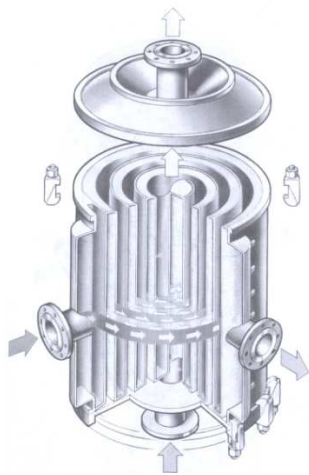
Levylämmönsiirtimiä käytetään silloin, kun paineet ja lämpötilat eivät ole liian korkeita ja puhdistustarve on suuri. Levylämmönsiirtimien käyttöä rajoittavat eniten tiivistemateriaalit, joiden maksimikäyttölämpötila on 150°C . Tiivisteiden käytön vähentämiseksi onkin kehitetty muita ratkaisuja esim. hitsatut ja juotetut levylämmönsiirtimet, joiden käyttölämpötila-alue on -180°C - $+500^{\circ}\text{C}$ ja maksimipaine 300 kPa. (7, s. 18 - 19.) Kuva 9 havainnollistaa tiivisteellisen levylämmönsiirtimen rakennetta ja virtausteitä.



KUVA 9. Tiivisteellinen levylämmönsiirrin (8, s. 11)

Spiraalilämmönsiirtimet

Pääpiirteissään spiraalilämmönsiirrin on rakennettu kahdesta vierekkäisestä, spiraaliksi taivutetusta levystä, joiden keskinäinen etäisyys on sama. Toimintaperiaatteeltaan spiraalilämmönsiirrin voi olla risti- tai vastavirtalämmönsiirrin ja se soveltuu neste-neste ja neste-kaasu käyttöön sekä kiehutukseen ja lauhdutukseen. Spiraalilämmönsiirtimiä käytetään paljon selluteollisuudessa ja ne soveltuvat hyvin liemäisten ja viskoosien aineiden käsittelyyn. Kuva 10 havainnollistaa vastavirtaperiaatteella toimivaa spiraalilämmönsiirrintä sekä sen sisäisiä virtauksia. (7, s. 19 - 20.)

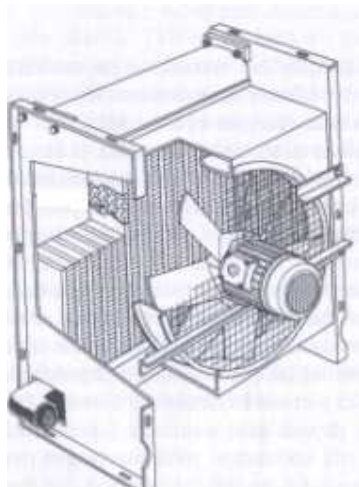


KUVA 10. Spiraalilämmönsiirrin (8, s. 13)

3.2.3 Öljyn ilmajäädyttimet

Öljyn ilmajäädyttimet alentavat hydrauliohjainjärjestelmän lämpötilaa siirtämällä siihen varastoitunutta lämpöenergiaa jäähdytinaineena toisipuolella toimivaan ilmaan. Jäähdytettävä neste kiertää putkista rakennetussa kennostossa, jonka läpi jäähdyttävä ilmavirta imetään puhallimella. Puhallinta käytetään tavallisesti sähkömoottorilla, mutta myös hydraulimoottorit sopivat tarkoitukseen. Hydraulimoottoria käyttämällä voidaan toteuttaa moottorin pyörimisnopeuden säätö nesteen lämpötilan mukaan, mikä ei sähkömoottoreita käytettäessä yleensä ole mahdollista. (6, s. 398 - 399.)

Ilmajäädyttimen puhallin voi olla tyypiltään radiaali- tai aksiaalipuhallin. Radiaalipuhallimet eivät tarvitse erillistä käyttömoottoria, koska ne asennetaan yleensä hydraulipumpun ja sen sähkömoottorin väliin. Aksiaalipuhallimella varustetut ilmajäädyttimet puolestaan tarvitsevat oman käyttömoottorin, koska niitä käytetään erillisinä yksiköinä. Ilmajäädyttimiä käytetään ominaisuuksiensa takia yleensä liikkuvan kaluston hydraulijärjestelmissä, kun taas kiinteissä teollisuusjärjestelmissä ne ovat harvinaisempia. Kuvassa 11 on esitetty aksiaalipuhallimella varustettu ilmajäädytin. (6, s. 398 - 399.)



KUVA 11. Ilmajäädytin aksiaalipuhallimella (6, s. 398)

3.3 Vesileikkaus

Ensimmäinen korkeapaine vesisuihkuleikkauslaitteisto kehitettiin vuonna 1968 Yhdysvalloissa. Abrasiivista vesileikkausmenetelmää on puolestaan käytetty jo vuodesta 1981 alkaen, jolloin se kehitettiin, myös yhdysvalloissa. Suomessa korkeapaineiseen vesisuihkuun perustuvaa laitteistoa on käytetty 1970- luvulta lähtien, jolloin Kone Oy hyödynsi menetelmää tukkien rumpukuorinnassa. (10, s. 5.)

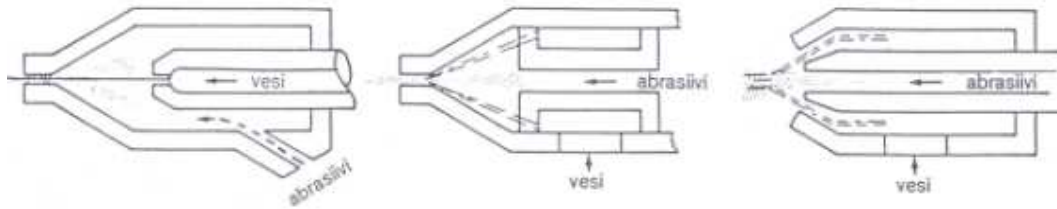
3.3.1 Vesileikkaus menetelmä

Vesileikkaus menetelmässä korkeapaineinen vesisuihku johdetaan nopeudella 700...900 m/s työstettävän kappaleen pintaan n. 3 mm:n etäisyydeltä. Nopeus saadaan aikaan johtamalla jopa 4000 bar:n korkeapaineinen vesi suuttimeen, jonka halkaisija on 0,08 - 0,38 mm. Vesisuihkun sydänosan on tärkeää pysyä kapeana sen osuessa leikattavaan kappaleeseen, jotta leikkausteho ei häviäisi. (10, s. 6; 11, s. 389.)

Puhtaalla vedellä leikattaessa materiaalia irtoaa leikattavasta kappaleesta, kun korkeapaineisen vesisuihkun paine on suurempi kuin leikattavan materiaalin puristuslujuus. Tällöin kappaleeseen muodostuu hiushalkeamia, josta vesi irrottaa pieniä hiukkasia ja kuljettaa irronneet ainesosat pois. (10, s. 6; 11, s. 389.)

3.3.2 Abrasiivinen vesileikkaus

Abrasiivisessa vesileikkauksessa veteen sekoitettavat abrasiivit kuluttavat työstettävää kappaletta. Tällöin kappaleeseen aiheutuu eroosiota abrasiivipartikkelien osuessa siihen. Abrasiivien sekoitus veteen tapahtuu yleisimmin joko juuri ennen suutinta ejektioperiaatteella, jolloin korkeapaineinen vesisuihku imee abrasiivin, tai se syötetään suuttimen keskeltä, jolloin vesisuihkut tulevat sivulta. Harvinaisempi tapa abrasiivin sekoittamiseen on paineistaa se veden kanssa erillisessä astiassa. Kuvassa 12 on esitetty erimallisia sekoituskammioita. (10, s. 6, 8.)



KUVA 12. Erityyppisiä ejektioperiaatteella toimivia sekoituskammioita (10, s. 8)

Abrasiivit

Abrasiivina voidaan käyttää granaattia oliviinia tai kvartsihiekkää. Myös alumiinioksidi, piikarbidi, teräsrakeet ja teräshiekka sopivat. Sopivan abrasiivin valintaan vaikuttaa leikkausjälki ja nopeus, suuttimen kuluminen sekä hinta. Partikkelikoko on yleisimmin 0,2 - 0,6 mm ja abrasiivia kuluu yleensä leikkauksen aikana 20 - 60 kg/h. (10, s. 12.)

Toleranssit ja pinnanlaatu

Vesisuihkuleikkauksella saavutettava toleranssi on $\pm 0,06 - 0,25$ mm ja siihen vaikuttaa mm. työstettävä materiaali, materiaalin paksuus, abrasiivi ja suuttimen jäykkyys. Menetelmällä saavutettavat pinnankarheuden Ra- arvot vaihtelevat suuresti, ja esim. metalleita abrasiivisesti leikattaessa ne ovat 1,6 - 6,3 μm . (10, s. 13.)

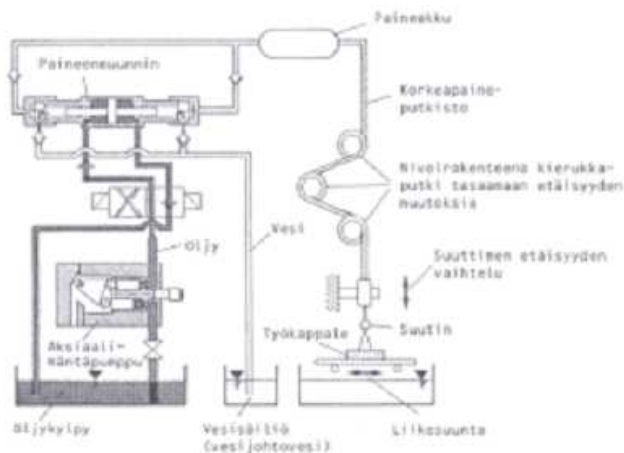
Vesisuihkuleikkauksessa leikattavan kappaleen pinnanlaatu huononee mentäessä syvemmälle kappaletta. Pinnanlaadun huononeminen johtuu vesisuihkun liike-energian vähenemisestä, jolloin vesisuihku hajoaa. Jotta leikkaustehoa voitaisiin parantaa, tulee suutinta pitää mahdollisimman lähellä työstettävän materiaalin pintaa. Myös polymeerejä tai glyseriiniä veteen lisäämällä, voidaan vesisuihkun hajoamista ehkäistä ja leikkaustehoa näin ollen parantaa. Polymeerejä käytetään kuitenkin vain puhtaalla vedellä leikattaessa. (10, s. 13, 14.)

3.3.3 Laitteistot

Korkeapaineinen vesisuihkuleikkauslaitteisto koostuu paineyksiköstä, johon kuuluu hydraulipumppu, sähkömoottori, paineenkohotin ja paineakku. Laitteiston muita osia ovat korkeapaineputkisto, leikkauspää, suuttimet ja vesisuodattimet sekä abrasiivisessa vesileikkauksessa abrasiivin keräys- ja syöttölaitteet. Lisäksi vesisuihkuleikkauslaitteistoon saattaa kuulua esipaineistusjärjestelmä vedelle, lämpötila- ja painemittareita, sekä polymeerien syöttölaite.

Sähkömoottorin käyttämä hydraulipumppu pumppaa öljyä paineenkohottimelle, jossa öljy johdetaan vuorotellen kaksitoimisen männän eripuolille. Öljynpaine saa aikaan männän edestakaisen liikkeen, joka nostaa vedenpaineen ja pumppaa vettä paineakun kautta leikkauspäähän.

Paineakun tehtävänä puolestaan on tasata paineenkohottimen aiheuttamat painevaihtelut, jonka jälkeen vesi johdetaan korkeapaineputkia pitkin leikkauspäähän. Kuvassa 13 on esitetty kaaviokuva vesisuihkuleikkauslaitteistosta. (10, s. 15; 11, s. 389)



KUVA 13. Vesisuihkuleikkauslaitteiston toimintaperiaate (10, s. 15)

3.4 Hydraulipumput

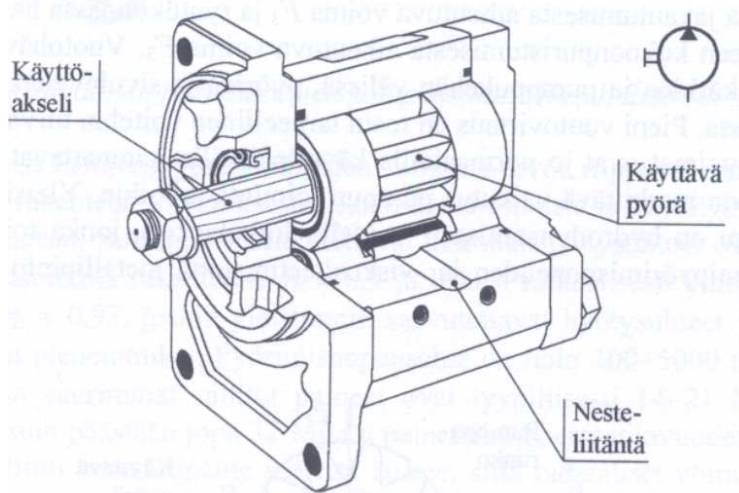
Hydraulipumppu tuottaa hydraulista energiaa akselille tuodun mekaanisen energian avulla. Hydraulipumput toimivat yleisimmin syrjäytysperiaatteella, jolloin tilavuusvirta saadaan aikaan lähinnä syrjäytyselimen, esim. männän avulla. Hydrauliikassa käytettävät pumput voidaan jakaa neljään ryhmään rakenteensa perusteella (12, s. 35):

- hammaspyöräpumput
- ruuvipumput
- siipipumput
- mäntäpumput.

3.4.1 Hammaspyöräpumput

Hammaspyöräpumput voidaan jaotella hammaspyörien lukumäärän ja keskinäisen sijainnin perusteella ulko- ja sisähammaspyöräpumppuihin. Ulko- hammaspyöräpumppuja ovat kaksipyöräiset ja monipyöräiset pumput ja sisähammaspyöräpumppuja ovat hammasrengaspumput ja erottajalla varustetut pumput. (12, s. 37.)

Kaikissa hammaspyöräpumpuissa toimintaperiaate on sama eli neste suljetaan pumpun sisällä hammasloviin ja pumppukammion seinämän muodostamiin kammioihin, jotka vuorotellen avataan imu- ja painepuolelle. Pumpun aiheuttama tilavuusvirta ei ole tasaista hampaiden rajallisen määrän takia. Yleisin hammaspyöräpumppu on kaksipyöräinen ulkohammaspyöräpumppu. Siinä käytävän pyörän akseli kytketään käyttömoottoriin ja käytettävä pyörä pyörii vapaasti. Hyvän hyötysuhteensa, laajan painealueensa 10 - 32 MPa ja edullisuutensa ansiosta hammaspyöräpumput sopivat moneen käyttötarkoitukseen. Kuva 14 esittää kaksipyöräistä ulkohammaspyöräpumppua (12, s. 37; 6, s. 151 - 153.)



KUVA 14. Kaksipyöräinen ulkohammaspyöräpumppu (6, s. 151)

3.4.2 Ruuvipumput

Ruuvipumput ovat vakio-tilavuuspumppuja ja rakenteeltaan yleensä kaksi- tai kolmiruuvisia. Neste etenee pumpun painepuolelle pumppukammion ja ruuvien muodostamissa kierreissä. (12, s. 38 - 39; 6, s. 155 - 156.)

Hydrauliikassa yleisin tyyppi on kolmiruuvinen ruuvipumppu, jonka ruuveista keskimmäinen on käyttävä ja kytkettynä akselilla käyttömoottoriin. Uloimmat ruuvit pyörivät keskiruovin käyttäminä vastakkaiseen suuntaan muodostaen tiivistyskohtia, jotka erottavat imu- ja painepuolen toisistaan. Neste kulkee tiivistyskohtien välissä tasaisella nopeudella kohti paineliitäntää. Kuva 14 esittää kolmiruuvista ruuvipumppua. (6, s. 155 - 156.)

Ruuvipumput soveltuvat kohteisiin, joissa vaaditaan pitkää käyttöikää ja tasaista tilavuusvirtaa, esim. nostolaitteet. Ruuvipumppujen hyötysuhde on parhaimmillaan 0,7 - 0,8, joka on muita pumpputyyppejä huonompi. Paineen kasvun myötä nopeasti lisääntyvät vuodot rajoittavat käyttöpaineen 17 - 20 MPa:iin. (6, s. 155 - 156.)

3.4.3 Siipipumput

Siipipumput voidaan rakenteensa perusteella jakaa tasapainotettuihin ja tasapainottamattomiin siipipumppuihin. Tasapainottamattoman siipipumpun roottorin toisella puolella vaikuttaa paine ja toisella imupaine. Tasapainotetussa pumpussa käytetään kahta paria imu- ja paineliitäntöjä, jolloin radiaaliset voimat saadaan kumottua ja tilavuusvirtaa suurennettua. Molemmissa rakenteissa toimintaperiaate on sama eli staattori (pumpun pesä) ja roottori on sijoitettu epäkeskisesti toisiinsa nähden, jolloin siipisolien tilavuus muuttuu roottorin pyöriessä ja neste virtaa imupuolelta painepuolelle. Lisäämällä roottorin epäkeskisyyttä e staattoriin nähden, voidaan pumpun tilavuusvirtaa kasvattaa. (12, s. 39 - 40; 6, s. 155 - 156.)

Siipipumppujen käyttöpaineet rajoittuvat n. 20 MPa ja hyötysuhteessa päästään parhaimmillaan 0,9: ään. Siipipumpuilla saadaan aikaan myös tasainen tilavuusvirta ja hyvä teho pieneen kokoon nähden. (12, s. 39 - 40; 6, s. 155 - 156.)

3.4.4 Mäntäpumput

Mäntäpumput voivat olla säätö- tai vakiotilavuuksisia ja ne voidaan jakaa kolmeen ryhmään mäntien asettelun perusteella: rivimäntä-, aksiaalimäntä- ja radiaalimäntäpumput. (6, s. 164.)

Mäntäpumpuissa nesteen siirto imupuolelta painepuolelle tapahtuu muista pumpputyypeistä poiketen syrjäytyselimen edestakaisen liikkeen avulla. Syrjäytyselinten eli mäntien lukumäärä on yleensä pariton, koska näin saadaan tasattua mäntien imu- ja painejaksojen aiheuttamaa voimakasta tilavuusvirran vaihtelua. Tilavuusvirran vaihtelua voidaan vähentää myös asettamalla männät erivaiheeseen työkiertoa. (6, s. 164.)

Rivimäntäpumput

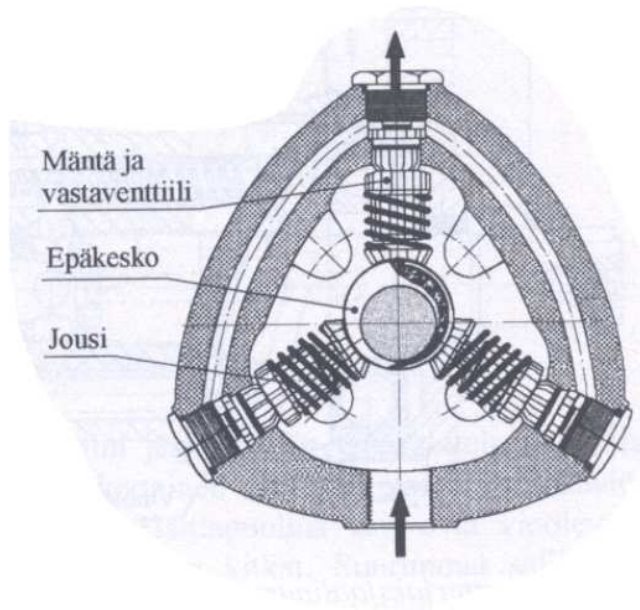
Rivimäntäpumput voivat olla vakio- tai säätötilavuuspumppuja ja niissä sylinterit on aseteltu käyttöakseliin nähden kohtisuoraan. Rivimäntäpumput soveltuvat 20 - 120 MPa käyttöpainelle muita pumpputyyppejä pienempien vuotohäviöiden ansiosta. Erikoismalleilla voidaan päästä jopa 250 MPa käyttöpaineseen. Korkeat paineet lisäävät pumpun rasituksia ja käyttötehovaatimuksia merkittävästi, joten niiden kasvu estetään korkeapainepumpuissa männän kokoa ja näin myös tilavuusvirtaa pienentämällä. Rivimäntäpumpuilla kokonaishyötysuhde on n. 0,7, joka on muita mäntäpumppuja heikompi. Lisäksi rivimäntäpumput vaativat syöttöpumpun, koska ne eivät ole itseiseviä (6, s. 165.)

Radiaalimäntäpumput

Radiaalimäntäpumpuissa sylinterit on sijoitettu käyttöakseliin nähden säteittäisesti. Pumpuissa voi olla joko pyörivä tai pyörimätön sylinteriryhmä. (12, s. 41; 6, s. 166.)

Pyörivällä sylinteriryhmällä varustetussa pumpussa sylinterit kytketään vuorotellen imu- ja paineliitännöihin sisäpuolisen pyörimättömän jakokaran avulla. Sylinteriryhmä on sijoitettu epäkeskeisesti sen ulkopuolella sijaitsevaan pumppurenkaaseen nähden, jonka sisäpintaan männyt nojaavat. Pumpun käydessä saadaan käyttöakselille kiinnitetty sylinteriryhmä pyörimään, jolloin sylinterikammioiden tilavuus muuttuu. Tilavuusvirtaa voidaan muuttaa epäkeskeisyyttä muuttamalla. (12, s. 41; 6, s. 166.)

Pyörimättömällä sylinteriryhmällä varustetun radiaalimäntäpumpun männyt saadaan liikkeelle sylinteriryhmän sisäpuolisen epäkeskon avulla. Tilavuusvirtaa ohjataan vastaventtiileillä. Pumput ovat yleensä vakiotilavuuksisia mutta kierrostilavuutta voidaan säätää muuttamalla mäntien iskunpituutta kahden sisäkkäisen epäkeskon avulla. Pyörimättömällä sylinteriryhmällä varustetun radiaalimäntäpumpun toimintaa on havainnollistettu kuvassa 15. (12, s. 41; 6, s. 167.)



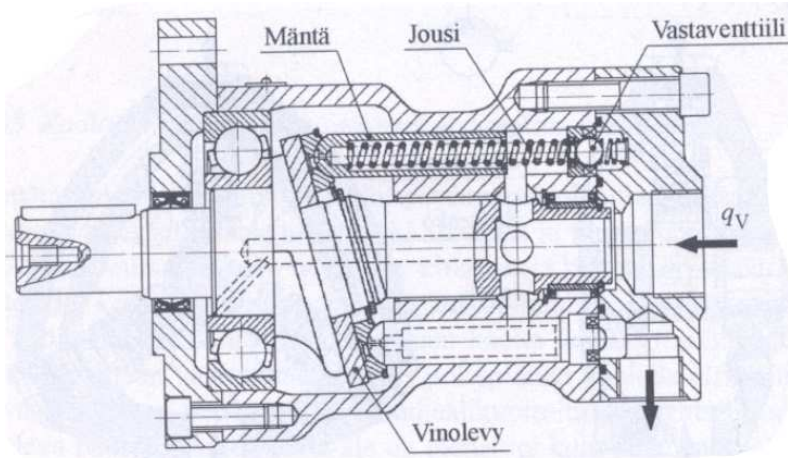
KUVA 15. Radiaalimäntäpumppu, pyörimätön sylinteriryhmä (6, s. 167)

Pyörivällä sylinteriryhmällä varustettujen radiaalimäntäpumppujen maksimipaineet ovat noin 45 MPa ja pyörimättömällä sylinteriryhmällä varustetun noin 60 - 70 MPa. Hyötysuhteet ovat molemmilla rakenteilla parhaimmillaan 0,9. (12, s. 41; 6, s. 167.)

Aksiaalimäntäpumput

Aksiaalimäntäpumput voidaan jakaa mäntien käyttötavan perusteella kolmeen ryhmään: kulmaroottori-, staattoriaksaali- ja suoraroottoripumppuihin. Pumpuissa sylinteriryhmä sijaitsee yhdensuuntaisesti käyttöakseliin nähden, lukuun ottamatta kulmaroottoripumppua, jossa sylinteriryhmä on vinossa asennossa. (12, s. 43.)

Staattoriaksaalipumpussa sylinteriryhmä on kiinteä ja mäntien edestakainen liike saadaan aikaan käyttöakselin pyörittämällä vinolevyllä. Pumpun käydessä männät pysyvät paikoillaan ja kiinni vinolevyssä, mutta ne eivät estä levyn pyörimistä. Vinolevyn ja mäntien liukupinnassa syntyvää kitkaa ja kulumista vähennetään käyttämällä hydrostaattista laakerointia tai aksiaalilaakereita. Pumpun tilavuusvirran säätö tapahtuu muuttamalla vinolevyn kulmaa käyttöakseliin nähden. (12, s. 43; 6, s. 168–169.)



KUVA 16. Staattoriaksiaalipumppu (6, s. 168)

Suoraroottoripumpussa vinolevy on kiinteä ja käyttöakseli pyörittää sylinteriryhmää. Sylinteriryhmän pyöriessä männät liukuvat vinolevyn pinnalla, jolloin syntyy mäntien edestakainen liike. liukupinnalla syntyvää kitkaa kulumista vähennetään samalla menetelmällä kuin staattoriaksiaalipumpuillakin eli käyttämällä hydrostaattista laakerointia. Suoraroottoripumppujen tilavuusvirran säätö tapahtuu muuttamalla vinolevyn kulmaa. Virtaussuuntaa voidaan muuttaa kääntämällä vinouskulmaa toiseen suuntaan. (12, s. 43; 6, s. 170.)

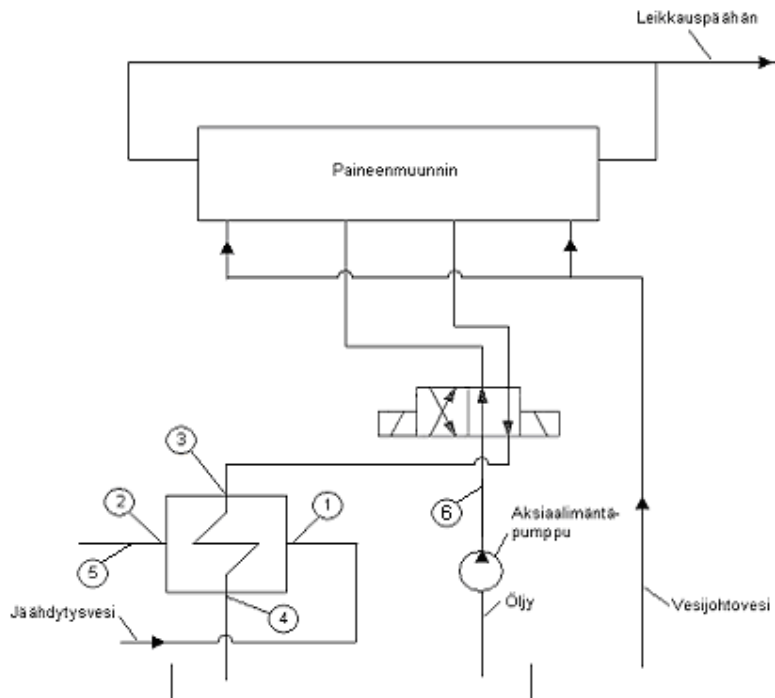
Kulmaroottoripumpussa pyörivä sylinteriryhmä on vinossa asennossa käyttöakseliin nähden. Käyttöakselin pyörimisliike välitetään sylinteriryhmälle männänvarsien avulla, jotka on kiinnitetty palloniveliin avulla käyttöakselin päässä sijaitsevaan laippaan sekä itse mäntään. Pyörimisliike on mahdollista välittää sylinteriryhmälle myös käyttämällä kardaniakselia tai kartiohammaspyöriä. Mäntien edestakainen liike saadaan aikaan käyttöakselin laipan ja sylinteriryhmän välisen kulman avulla. tilavuusvirtaa voidaan säätää kulmaa muuttamalla. (12, s. 44; 6, s. 171.)

Aksiaalimäntäpumpuilla käyttöpainet ovat 16 - 35 MPa välillä ja saavutettava kokonaishyötysuhde noin 0,9. Pumput ovat kestäviä ja melko hiljaisia mutta rakenteen monimutkaisuus lisää hintaa. (12, s. 44; 6, s. 172.)

4 MITTAUKSET

Lämminilmakojeen mitoitusta varten mitattiin lämmönsiirtimen ensiö- ja toisiopuolella vaikuttavat lämpötilaerot. Lisäksi täytyy mitata toisiopuolella kiertävän jäähdytysveden sekä ensiöpuolella kiertävän öljyn tilavuusvirta. Kuvassa 17 on esitetty mittauspaikat. Lämpötilat mitattiin lämmönsiirtimen meno- ja paluuliitännöistä. Veden tilavuusvirta mitattiin lämmönsiirtimen poistoputkesta ja öljyn tilavuusvirta pumpun painepuolelta.

Lämpötilamittaukset vedelle ja öljylle suoritettiin putkien pinnasta, joten saadut lämpötilat ovat erisuuruisia kuin nesteiden todelliset lämpötilat. Nesteiden todelliset lämpötilaerot verrattuna putkien pintalämpötilaeroihin ovat kuitenkin suuruusluokaltaan samoja, koska putkimateriaali lämmönsiirtimen tulo- ja menoliitännöissä olivat samat.



KUVA 17. Mittauspaikat

Lämpötilamittaukset suoritettiin termoelementti periaatteella toimivalla Kimo TK102- mallin pintalämpömittarilla. Termopari eli termoelementti muodostuu kahdesta suljetuksi virtapiiriksi yhdistetystä johtimesta eli termolangasta, jotka ovat eri metalleja. Liitoskohtien ollessa lämpötiloissa T_1 ja T_2 ($T_2 > T_1$), syntyy virtapiiriin virta, joka kulkee niin kauan kuin liitoskohdat ovat eri lämpötiloissa. Jännitteen aiheuttamaa virtaa sanotaan lämpösähköiseksi lähdejännitteeksi eli termojännitteeksi. Liitoskohtia tarvitaan aina kaksi, joista kylmän eli vertailuliitoksen lämpötila tunnetaan ja kuuma eli mittausliitos on aina mitattavassa lämpötilassa. (13, s. 41.)

Mittauksissa käytettiin ilma- ja pintamittausantureita. Valmistaja ilmoittaa mittausalueeksi K- tyyppin termoparille -200°C - $+1300^{\circ}\text{C}$ ja mittaustarkkuudeksi $\pm 2\%$ tai $\pm 8^{\circ}\text{C}$ mittaustuloksesta. Kuvassa 18 on esitetty Kimo TK102 -pintalämpömittari.



KUVA 18. Kimo TK102 -pintalämpömittari

Öljyn tilavuusvirran määrittämiseen käytettiin Portaflow 300 -ultraäänivirtausmittaria. Ultraäänellä tarkoitetaan kaasussa, nesteessä tai kiinteässä aineessa esiintyvää akustista aaltoliikettä, jota esiintyy vain ihmisen kuuloalueen yläpuolella olevilla taajuuksilla. Ultraäänien etenemisnopeus riippuu voimakkaasti aineen lämpötilasta, laadusta ja olomuodosta. (13, s. 109.)

Portaflow 300 -ultraäänivirtausmittarilla pystytään mittaamaan puhtaita öljyjä ja nesteitä. Aineen hiukkaspitoisuus ei saa ylittää 3 % kokonaisainemääräs-

tä, jotta nesteessä olevat kiintoaineet eivät vaimentaisi haitallisesti ultraään-tä. Mitattavaksi sopivat putket, joiden halkaisija vaihtelee 13 – 5 000 mm.

Mitattaessa on myös otettava huomioon, että virtaussuuntaa vastaan on jä-tettävä mittausanturiin nähden 20 kertaa mitattavan putken halkaisijan ver-ran tilaa ja mittausanturista virtaussuuntaan 10 kertaa putken halkaisijan ver-ran tilaa, jotta virtauksen nopeusprofiilin häiriöt eivät vaikuttaisi mittaustulokseen. Valmistaja ilmoittaa mittausalueeksi -20°C - $+200^{\circ}\text{C}$ ja mittaustarkkuudeksi $\pm 2\%$ tai $\pm 0,02$ m/s mittaustuloksesta. (14 s. 7, 24 - 25, 33) Taulukossa 1 on esitetty saadut mittaustulokset.

TAULUKKO 1. Mittaustulokset

Mittauspaikka	Mittauskohde	Lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]	Tilavuusvirta [l/min]
1.	Tuleva vesi	15	–
2.	Poistuva vesi	48,9	–
3.	Tuleva öljy	52	–
4.	Poistuva öljy	45,4	–
5.	Veden tilavuusvirta	–	0,79
6.	Öljyn tilavuusvirta	–	10

Portaflow 300 -ultraäänimittari oli kalibroitava seisovassa öljyssä ennen öljyn tilavuusvirran mittaamista, jotta saadut tulokset olisivat luotettavia. Kalibroin-tia varten oli tiedettävä äänen nopeus hydraulikkajärjestelmässä käytetyssä teollisuushydrauliikkaöljyssä. Koska suoria taulukkoarvoja kyseiselle öljylle ei ollut saatavilla, laskettiin äänen nopeus kaavalla 1. Puristuvuuskerroin öljylle on noin 1500 MPa ja tiheys 15°C lämpötilassa $870\text{ kg}/\text{m}^3$. Mittauksia suori-tettaessa hydraulikkajärjestelmä oli käytetty lämpimäksi noin tunnin ajan, jo-ten mittausten aikana vallitsivat normaaliolosuhteet ja myös jäähdytysveden määrää säätelevä virransäätöventtiili toimi normaalisti. Mittaustulosten luo-tettavuuden kannalta oli myös tärkeää, että mittauspaikat valittiin valmistajan laitteelle asettamien vaatimusten mukaan, jotta vältetään nopeusprofiilin ai-heuttamilta mittausrvirheiltä.

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

KAAVA 1

c = äänen nopeus (m/s)

K = puristuvuuskerroin (Pa)

ρ = tiheys (kg/m³)

Äänen nopeudeksi teollisuushydrauliikkaöljylle saadaan kaavalla 1 laskettaessa

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 1313,1 \text{ m/s}.$$

5 LASKELMAT

Lämminilmakojeen mitoitusta varten on ensin laskettava putkilämmönsiirtimellä siirrettävä lämpövirta. Lämpövirta voidaan laskea joko lämmönsiirtimen ensiö- tai toisiopiiristä, kunhan tiedetään virtaavan aineen lämpötilaerot, ominaislämpökapasiteetti ja massavirta. Kun veden lämpötila on $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, niin tiheys on $995,2\text{ kg/m}^3$ ja ominaislämpökapasiteetti on $4,18\text{ kJ/(kgK)}$. Kun aineella ei tapahdu olomuodonmuutosta, voidaan lämmönsiirtimen lämpöteho laskea kaavalla 2.

$$\phi = \dot{m} c_p \Delta T = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \Delta T$$

KAAVA 2

ϕ = lämpövirta (kW)

\dot{V} = öljyn tilavuusvirta (m^3/s)

c_p = öljyn ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK)

ΔT = lämpötilan muutos (K)

ρ = öljyn tiheys (kg/m^3)

Lämmitystehoksi saadaan kaavalla 2 laskettaessa

$$\phi = (322,05 - 288,15)\text{K} \cdot 995,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{0,00079\text{m}^3}{60\text{s}} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = 1,8568\text{ kW}.$$

Lisäksi on laskettava lämmönsiirtimen pinnan kautta häviönä ympäröivään ilmaan siirtyvä lämpövirta. Lämmönläpäisykertoimena voidaan käyttää $10\text{ W/(m}^2\text{K)}$, kun lämmönsiirtimen ympärillä ei ole ilmavirtausta. Putkilämmönsiirtimen lieriöpinnan korkeus on 490 mm ja halkaisija 100 mm .

$$\phi = k \cdot A \cdot \Delta T$$

KAAVA 3

ϕ = lämpövirta (kW)

k = lämmönläpäisykerroin ($\frac{W}{m^2 K}$)

A = lämmönsiirtopinta-ala (m^2)

ΔT = lämpötilan muutos (K)

Häviöinä ympäröivään ilmaan siirtyväksi häviölämpövirraksi saadaan kaavalla 2 laskettaessa

$$\phi = k \cdot A \cdot \Delta T = 10 \frac{W}{m^2 K} \cdot 0,154 m^2 \cdot (323,15 - 303,15) K = 30,8 W.$$

Lämmönsiirtimen toisiopuolelta lasketun lämpötehon avulla voidaan laskea ensiöpuolella virtaavan hydraulikkaöljyn tilavuusvirta. Hydraulijärjestelmässä käytettiin teollisuushydraulikkaöljyä, jonka tiheys on $15^\circ C$ lämpötilassa 870 kg/m^3 ja ominaislämpökapasiteetti on $1,84 \text{ kJ/(kgK)}$.

$$\dot{V} = \frac{\phi}{\rho \cdot c_p \Delta T}$$

$$\dot{V} = \frac{1,826 \text{ kW}}{870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot (325,15 - 318,55) K} = 0,0001728 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 10,37 \frac{\text{l}}{\text{min}}.$$

6 LAITTEIDEN VALINTA

Korkeapainepumppujen lämmöntalteenoton kehittämiseen saatiin työn edessä ohjeita työn tilaajalta, että suunnittelussa voidaan keskittyä pelkästään tuotteiden kuivaamisen kehittämiseen. Tehdashallin lisälämmitysratkaisulle ei ollut tarvetta, koska lämpötila tehdashallissa pysyi talven pakkasjaksoilla-kin 20°C tietämällä.

Aiemmin korkeapainepumppujen lämmönsiirtimessä jäädyttävän aineen lämpöenergiaa ei hyödynnetty mitenkään, vaan lämpöenergia meni kokonaisuudessaan hukkaan. Näin ollen vesileikattujen tuotteiden kuivaamiseen ei myöskään ollut olemassa toimivaa ratkaisua, joten kuivausjärjestelmän suunnittelussa täytyi lähteä liikkeelle täysin uuden lämminilmakojeen hankinnalla. Lämminilmakojeella aikaansaadun lämpimän ilmavirran avulla voidaan kuivaustelineisiin ripustetut kosteat tuotteet kuivata nopeasti ja tehokkaasti.

Lämminilmakojeeksi valittiin Fläktwoods sin tyyppi ATDA-30-1-1, jonka tiedot löytyvät liitteestä 2. Lämminilmakojeen sisääntuleva vesivirta saa olla maksimissaan lämpötilassa 55°C ja virtaus $0,06\text{ l/s}$. Lämminilmakojeen tehoa voidaan muuttaa puhaltimen pyörimisnopeutta ja vesivirtaa muuttamalla. Pyörimisnopeuden säätö tapahtuu moottorin kytkentää muuttamalla, ja valittavana on kaksi pyörimisnopeutta. Suurimmalla pyörimisnopeudella 1420 rpm lämminilmakojeen tehoksi saadaan $4,9\text{ kW}$ ja keskisuurella 1035 rpm pyörimisnopeudella $4,2\text{ kW}$. Pienin pyörimisnopeus saadaan aikaan erillisellä pyörimisnopeuden säätimellä ATDZ-13-1, jolloin 685 rpm pyörimisnopeudella saadaan tehoksi $3,3\text{ kW}$. Pyörimisnopeuden säätimen avulla lämminilmakojeen teho voidaan siis valita käsin. Valittavana on kolme edellä mainittua pyörimisnopeutta ja suljettu asento. ATDA-30-1-1 -mallin lämminilmakojeen heittopituudet vaihtelevat pyörimisnopeudesta riippuen $3 - 6$ metrin välillä. Sen hinnaksi valmistaja ilmoittaa 920 € ja pyörimisnopeuden

säätimen hinnaksi 170 €. Kuvassa 19 on esitetty Fläktwoodsin lämminilmakoje ATDA-30-1-1.



KUVA 19. Fläktwoods ATDA-30-1-1 -lämminilmakoje

Tarvittaessa kosteiden tuotteiden kuivaukseen tarkoitetun lämminilmakojeen toimintaa voidaan tehostaa sijoittamalla lämminilmakoje erilliseen kuivaustunneliin. Kuivaustunnelin avulla voidaan estää lämpimän ilmavirran hajominen ja kohdistaa se paremmin kuivaustelineissä oleviin tuotteisiin. Tunneli voidaan valmistaa esimerkiksi polykarbonaattilevystä, joka on kevyttä ja kestävä.

Lämminilmakoje ja kuivaustunneli voitaisiin sijoittaa esimerkiksi pumppuhuoneen seinän taakse vesileikkausalaitteiston läheisyyteen, jolloin myös vesikierron lämpöhäviöt olisivat pienemmät. Vesiputket tulevalle ja lähtevälle vedelle voitaisiin viedä pumppuhuoneen seinän läpi. Tarkoitukseen sopisi esimerkiksi EPDM-kumista valmistettu Hymat-jäähdyttäjän vesiletku, jonka hinta on noin 2,5 €/m. Asennuksessa on myös otettava huomioon lämminilmakojeen sijoituskorkeus. Jos se asennetaan riittävän korkealle lattiapintaan nähden, niin paine ei riitä ja lämmönsiirtimeltä ei virtaa vettä lämminilmakojeelle asti täydellä teholla. Tällöin lämmönsiirtimen ja lämminilmakojeen väliin on asennettava kiertovesipumppu. Tarkoitukseen sopii esimerkiksi Grundfos Alpha2 15-40 -kiertovesipumppu, jonka imu- ja paineliitäntöjen nimellishalkaisija on DN 15 ja maksiminostokorkeus neljä metriä. Grundfos Alpha2 15-40 -kiertovesipumpun hinnaksi valmistaja ilmoittaa 190 €. Sen tiedot ovat liitteessä 3. Lämminilmakojeesta suurimmillaan saatava lämmitysteho on noin 1,9 kW, joka vastaa hydraulioöljyn lämmönsiirtimen jäähdytystehoa. Pumpun ja putkiston lämpöhäviöitä voidaan vähentää eristämällä

putkisto ja pumppupesä esimerkiksi polystyreenistä tai vastaavasta valmistetuilla lämpöeristevaipoilla.

7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli korkeapainepumppujen lämmöntalteenoton kehittäminen, joka mahdollistaisi hukkaan menevän lämpöenergian hyödyntämisen yrityksen käyttöön. Korkeapainepumpun ollessa käynnissä lämmönvaihtimen läpi virtasi hydraulioöljyä jäähdyttävää vesijohtovettä suoraan viemäriin vähintään noin 0,79 l/min. Tärkeimpänä tavoitteena pidettiin vesileikattujen tuotteiden kuivauksen nopeuttamista hyödyntämällä talteenotettavaa lämpöenergiaa. Työn tavoitteena oli myös suunnitella tehdashallin lisälämmitysratkaisu, mutta sen suunnittelusta luovuttiin, koska tehdashallin lämpötila pysyi 20°C tietämällä talven pitkilläkin pakkasjaksoilla.

Tuotteiden kuivauksen nopeuttaminen toteutettiin mitoittamalla tarkoitukseen sopiva lämminilmakoje. Lämminilmakoje ATDA-30-1-1 puhaltaa parhaimmillaan noin 25°C ilmaa 6 metrin päähän. Tarkemmat tiedot heittopituuksista ovat liitteessä 2. Kun kosteat tuotteen ripustetaan telineisiin kuivumaan lämminilmakojeen eteen, kuivuvat ne nopeammin ja tehokkaammin. Kuivausta voidaan tehostaa sijoittamalla lämminilmakoje polykarbonaattilevystä valmistetun kuivaustunnelin päähän. Lämminilmakojeen tehoa voidaan säätää veden tilavuusvirtaa ja pyörimisnopeutta muuttamalla joko pyörimisnopeuden säätimellä tai moottorin kytkentää muuttamalla.

Opinnäytetyöhön asetetut suunnittelutavoitteet saavutettiin onnistuneesti. Lämmönsiirtimellä talteenotettu lämpöenergia voitaisiin hyödyntää vesisuihkuleikattujen tuotteiden kuivaukseen ja tuotantoprosessia saataisiin näin ollen nopeutettua. Koska toinen vesileikkauslaitteisto ei missään vaiheessa tätä työtä tehdessäni ollut käytössä, sitä ei voitu ottaa suunnittelussa huomioon. Työstä saatuja havaintoja ja arvoja voidaan kuitenkin tarvittaessa soveltaa myös jatkossa, mikäli on tarvetta tehostaa tuotteiden kuivausta edelleen.

LÄHTEET

1. MasiJet Oy. 2010. Saatavissa: <http://www.masijet.fi>. Hakupäivä 12.10.2010.
2. Pumpun huolto-ohjeet. MasiJet Oy.
3. Wagner, Walter 1994. Lämmönsiirto. Helsinki: Painatuskeskus Oy.
4. Marttila, Seppo 2009. T350106 Tekninen termodynamiikka. Opintojakson oppimateriaali. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
5. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.
6. Kauranne, Heikki – Kajaste, Jyrki – Vilenius, Matti 1999. Hydraulitekniikka. Helsinki: WSOY.
7. Soini, Sanna 2001. Lämmönsiirtimien suunnittelu integroidussa simulointiympäristössä. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, kemian tekniikan osasto. Saatavissa: <http://www.sim-serv.com/gallery/documentation/sannanDiplomityo.pdf>. Hakupäivä 25.10.2010.
8. Kakac, Sadik – Liu, Hongtan 1998. Heat Exchangers selection, rating and thermal design. Florida: CRC Press LCC.
9. Alfa Laval, levylämmönsiirtimet. Saatavissa: <http://local.alfalaval.com/fi-fi/key-technologies/heat-transfer/plate-heat-exchangers/pages/default.aspx>. Hakupäivä 22.11.2010.
10. Kotamies, Juha – Nieminen, Ilkka 1991. Abrasiivinen vesisuihkuleikkaus. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.
11. Ihalainen, Erkki – Aaltonen, Kalevi – Aromäki, Mauri – Sihvonen, Petteri 2000. Valmistustekniikka. Helsinki: Hakapaino Oy.

12. Fonselius, Jaakko 2008. Koneautomaatio: Hydraulikka. Helsinki: Edita.
13. Halko, Pekka – Härkönen, Sakari – Lähteenmäki, Ilkka – Välimaa, Taisto 1990. Teollisuuden mittaustekniikka. Helsinki: VAPK –kustannus
14. Portaflow 300 Ultrasonic Flowmeter Manual. Micronics.
15. Fläkt Woods. 2011. Saatavissa: <http://www.flaktwoods.fi/> Hakupäivä: 15.3.2011.
16. Grundfos Finland. Saatavissa: <http://www.grundfos.fi/> Hakupäivä: 12.4.2011.
17. Denison Hydraulics. Saatavissa: <http://www.denisonhydraulics.com/> Hakupäivä: 12.3.2011.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä¹ Jyrki Hautajä

Tilaaaja² Masivet Oy


Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot³ Aki Pudas 040-5775545

Työn nimi⁴ Korkeapaineputkujen lämmön talteenotto

Työn kuvaus⁵ Suunnitella toimiva tekninen
lämmitys ratkaisu ja lämmön käyttö-
suhteiden kuvaaminen

Työn tavoitteet⁶ Lämmön talteenoton kehittämisen
yhtiön käyttöön.

Tavoiteaikataulu⁷ Kesäkuun 2011 mennessä.

Päiväys ja allekirjoitukset⁸ 1.10.2010


¹ Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite² Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.³ Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.⁴ Työn nimi voi olla jäsä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.⁵ Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtökannat ja työssä ratkaistavat ongelmat.⁶ Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.⁷ Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työtä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun.⁸ Tavoiteaikataulun ja oppiaineen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.⁹ Lähtötietomuuisto päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö

Tehotaulukko, vesikäyttöinen ilmanlämmitin

Sisään tulevan ilman lämpötila +15°C

Koko	Pyörimisnopeus rpm	Ilmavirta m ³ /s	Lämmin vesi								
			70-40 °C			60-30 °C			55-35 °C		
			Teho kW	Poistuvan ilman lämpötila °C	Vesivirta l/s	Teho kW	Poistuvan ilman lämpötila °C	Vesivirta l/s	Teho kW	Poistuvan ilman lämpötila °C	Vesivirta l/s
30-1-1	1420	0,51	6,5	25,2	0,06	3,7	20,9	0,03	4,9	22,8	0,06
	1035 ¹⁾	0,39	5,6	26,5	0,04	3,3	21,7	0,03	4,2	23,7	0,05
	685	0,26	4,4	28,6	0,04	2,6	23,0	0,02	3,3	25,3	0,04
33-1-1	1420	0,51	11	32,3	0,09	7,2	26,4	0,06	8,3	28,1	0,10
	1035 ¹⁾	0,39	9,2	34,0	0,07	6,0	27,4	0,05	6,9	29,3	0,08
	685	0,26	7,1	36,9	0,06	4,6	29,3	0,04	5,3	31,5	0,06
33-1-2	1360	0,49	12,4	36,0	0,10	8,3	29,1	0,07	9,4	30,9	0,11
	980 ¹⁾	0,36	10,2	37,9	0,08	6,8	30,4	0,05	7,7	32,4	0,09
	680	0,25	7,8	40,3	0,06	5,2	32	0,04	5,9	34,2	0,07
44-1-1	1430	0,85	18,4	32,4	0,15	11,9	26,2	0,10	13,9	28,2	0,17
	900 ¹⁾	0,54	13,7	35,4	0,11	8,8	28,1	0,07	10,3	30,4	0,12
	660	0,4	11,3	37,7	0,09	7,2	29,4	0,06	8,5	32,1	0,10
44-1-2	1400	0,82	22,4	37,2	0,18	15,3	30,2	0,12	17,0	31,8	0,20
	980	0,58	17,5	39,2	0,14	12	31,8	0,10	13,3	33,6	0,16
	720	0,43	14	41,5	0,11	9,6	33,1	0,08	10,6	35,1	0,13
44-3-1	1430	0,85	18,4	32,4	0,15	11,9	26,2	0,10	13,9	28,2	0,17
44-3-2	1420	0,83	22,6	37,1	0,18	15,4	30,1	0,12	17,1	31,8	0,21
55-1-1	935	1,3	26,1	31,2	0,21	16,0	24,9	0,13	19,8	27,2	0,24
	670	0,94	21,1	33,0	0,17	12,7	25,9	0,10	15,9	28,6	0,19
	485	0,68	17,1	35,2	0,14	10,4	27,3	0,08	12,9	30,3	0,15
55-1-2	920	1,19	31,1	36,2	0,25	20,7	29,1	0,17	23,6	31,1	0,28
	420	0,51	16,7	41,7	0,13	11	32,6	0,09	12,7	35,2	0,15
	340	0,39	13,5	43,2	0,11	8,6	33	0,07	10,2	36,3	0,12
55-3-1	1330	1,84	33,0	29,4	0,26	20,5	24,0	0,16	25,0	25,9	0,30
	1035 ¹⁾	1,44	28,0	30,6	0,22	17,2	24,6	0,14	21,2	26,8	0,25
55-3-2	1350	1,7	39,4	33,8	0,32	26,3	27,5	0,21	30,0	29,3	0,36
	980 ¹⁾	1,3	33,0	35,6	0,26	22,0	28,7	0,18	25,1	30,7	0,30
66-1-1	908	1,59	42,2	36,6	0,34	27,8	29,2	0,22	32,0	31,3	0,38
	630	1,11	33,2	39,3	0,27	21,7	30,9	0,17	25,0	33,3	0,30
	515	0,90	28,7	40,7	0,23	18,6	31,7	0,15	21,6	34,4	0,26
66-3-1	1394	2,15	51,5	34,5	0,41	33,9	27,8	0,27	39,0	29,7	0,47
	1153	1,77	45,5	35,9	0,36	29,9	28,7	0,24	34,4	30,8	0,41

Lihavoituna merkityt pyörimisnopeudet koskevat toimitusta ilman lisätarvikkeita. Muut pyörimisnopeudet saadaan lisätarvikkeilla.

Taulukko pätee vapaasti puhaltavalle kojeelle ilman ilmapuolen lisätarvikkeita.

Tehon laskennassa on huomioitu ilman tiheys sisään tulevan ilman lämpötilassa, joka +15°C:ssa on 1,23 kg/m³.

1) Pyörimisnopeus saadaan moottorin kytkentää muuttamalla. Katso kytkentäkaaviot flaktwoods.com/fi tai toimitukseen sisältyvästä asennus-, käyttö- ja hoito-ohjeesta.

Tekniset tiedot, vesikäyttöinen ilmanlämmitin

Äänitaso, äänen tehotaso
Lämmin vesi – ATDA



Koko	Pyörimisnopeus r/min	Äänitaso 1) dB(A)	Äänen tehotaso 2) dB(A)	Lineaarinen äänen tehotaso, dB, oktaavikaista, keskitajuus, Hz									
				125	250	500	1000	2000	4000	8000			
ATDA													
30-1-1	1420 1035 685	54 48 39	70 65 55	66 60 51	68 62 53	65 59 50	63 57 48	61 55 46	57 51 42	48 42 33			
33-1-1	1420 1035 685	54 48 39	70 65 55	66 60 51	68 62 53	65 59 50	63 57 48	61 55 46	57 51 42	48 42 33			
33-1-2	1360 980 680	53 47 39	69 64 55	65 59 51	67 61 53	64 58 50	62 56 48	60 54 46	56 50 42	47 41 33			
44-1-1	1430 900 660	58 48 41	74 64 57	68 58 51	73 63 56	70 60 53	66 56 49	64 54 47	61 51 44	53 43 36			
44-1-2	1400 980 720	57 50 43	73 66 59	67 60 53	72 65 58	69 62 55	65 58 51	63 56 49	60 53 46	52 45 38			
44-3-1	1430	58	74	68	73	70	66	64	61	53			
44-3-2	1420	58	74	68	73	70	66	64	61	53			
55-1-1	935 670 485	58 50 43	74 66 59	74 68 61	76 68 59	65 58 51	66 59 52	63 57 50	58 49 42	50 38 31			
55-1-2	920 420 340	58 40 35	74 56 51	74 56 51	76 56 51	65 48 43	66 49 44	63 47 42	58 39 34	50 28 23			
55-3-1	1330 1035	66 60	82 76	82 76	84 78	73 67	74 68	71 65	66 60	58 52			
55-3-2	1350 980	66 59	82 75	82 75	84 77	73 66	74 67	71 64	66 59	58 51			
66-1-1	908 630 515	60 52 45	76 67 61	76 68	76 68	71 65	70 63	68 61	68 61	59 45 34			
66-3-1	1394 1153	67 53	83 79	80 79	82 78	78 75	77 73	75 71	74 71	69 65			

Toleranssi ± 2 dB

- 1) Äänitaso 5 metrin etäisyydellä, Q=2, absorptiopinta-ala = 200 m² Sabine.
- 2) Äänen tehotaso ISO 3744 mukaan.

Vaakasuora heittopituus
Lämmin vesi – ATDA



Koko	Pyörimisnopeus, rpm	Yksi ilmansuuntain Heittopituus, m L _{0,2}
30-1-1	1420 1035 ¹⁾ 685	5,8 4,5 3,0
33-1-1	1420 1035 ¹⁾ 685	5,8 4,5 3,0
33-1-2	1360 980 680	5,0 3,5 2,5
44-1-1	1430 900 ¹⁾ 660	6,0 4,0 3,5
44-1-2	1400 980 720	6,0 5,0 3,0
44-3-1	1430	6,0
44-3-2	1420	6,0
55-1-1	935 670 485	7,3 5,3 3,7
55-1-2	920 420 340	7,0 2,5 1,5
55-3-1	1330 1035	10,1 8,1
55-3-2	1350 980	9,0 7,5
66-1-1	908 630 515	12,0 7 5
66-3-1	1394 1153	18,0 15

Annettu heittopituus pätee tuloilman lämpötilassa +40 °C ja sisälämpötilassa +18 °C.

Ilmansuuntain asennetaan vakiona vaakatasoon. Mittaus on suoritettu vedottomassa ja kalustamattomassa tilassa.

L_{0,2} = kohtisuora etäisyys lämminilmakojeesta ilmanvirtausnopeuteen
v = 0,2 m/s.

Tekniset tiedot, vesikäyttöinen ilmanlämmitin

Moottoritiedot

Lämmin vesi – ATDA



Koko ATDA	Pyörimis- nopeus rpm	Nimellisteho kW	Nimellisvirta (A), 50 Hz			Lämpö- rele	Suojaus- luokka
			1 vaihe 230 V	3 vaihe 400 V Δ	3 vaihe 400 V Y		
30-1-1	1420 1035 ¹⁾	0,11	0,61	-	-	On	IP44
33-1-1	1420 1035 ¹⁾	0,11	0,61	-	-	On	IP44
33-1-2	1420 1035 ¹⁾	0,11	0,61	-	-	On	IP44
44-1-1	1430 900 ¹⁾	0,16	0,81	-	-	On	IP44
44-1-2	1400	0,16	0,81	-	-	On	IP44
44-3-1	1430	0,15	-	0,64	-	Ei	IP44
44-3-2	1430	0,15	-	0,64	-	Ei	IP44
55-1-1	935	0,29	1,5	-	-		IP54
55-1-2	920	0,29	1,5	-	-	On	IP54
55-3-1	1330 1035 ¹⁾	0,65 0,46	-	1,2 -	- 0,79	On	IP54
55-3-2	1330 1035 ¹⁾	0,65 0,46	-	-	-	On	IP54
66-1-1	900	0,37	1,7	-	-	On	IP54
66-3-1	1360	0,84	-	1,65	-	On	IP54

Rakennetiedot ATDA

Moottoria ympäröivän ilman max lämpötila 50°C.

Vuototestattu

Max käyttöpain: 1,6 MPa max käyttölämpötilassa 100°C.

Max käyttöpain: 1,0 MPa max käyttölämpötilassa 150°C.

Kaikki patterit on koeponnistettu ja vuototestattu kuivalla ilmalla veden alla.

Patterit on suunniteltu ja valmistettu paineastiadirektiivin 9723 EG (PED) mukaan

1) Pyörimisnopeus saadaan moottorin kytkentää muuttamalla. Katso kytkentäkaaviot flaktwoods.com/fin tai toimitukseen sisältyvästä asennus-, käyttö- ja hoito-ohjeesta.

Pyörimisnopeus automaattisella puhaltimen säätölaitteella, automaattisella lämminilmakojen säätölaitteella tai 3-portaisella valitsimella – jänniteohjaus

	ATDA-30-1	ATDA-33-1-1	ATDA-33-1-2	ATDA-44-1-1	ATDA-44-1-2	ATDA-55-1	ATDA-55-2	ATDA-66-1
230 V	1420	1420	1360	1430	1400	935	920	900
150 V	1190	1190	1160	1210	1030	670	420	640
130 V	1035	1035	980	900	750	485	340	505
115 V	850	850	850	660	600	390	280	430
100 V	685	685	680	550	500	310	240	355
80 V	500	500	500	410	380	240	180	270

= tehdasasetus pyörimisnopeudelle

Yllä olevassa taulukossa on annettu tehdasasetusten mukaiset jännite- ja pyörimisnopeusarvot. Pyörimisnopeuksia voidaan haluttaessa vaihtaa muuntajan kytkentäliuskoja muuttamalla. Moottoreiden ja lisätar-

vikkeiden seikkaperäiset kytkentäkaaviot ovat lämminilmakojen ATDA asennus-, käyttö- ja hoito-ohjeessa.

13. Tekniset tiedot ja asennusmitat

Sisältö:

[13.1 Tekniset tiedot](#)

[13.2 Asennusmitat – GRUNDFOS ALPHA2 XX-40, XX-50, XX-60](#)

[13.3 Asennusmitat – GRUNDFOS ALPHA2 25-40 A, 25-60 A.](#)

13.1 Tekniset tiedot

Käyttöjännite	1 x 230 V – 10 %/+ 6 %, 50 Hz, PE	
Moottorinsuoja	Pumppu ei vaadi ulkoista moottorinsuojaa.	
Kotelointiluokka	IP 42	
Eristysluokka	F	
Ilman suhteellinen kosteus	Enintään 95 %	
Käyttöpaine	Enintään 1,0 MPa, 10 bar, nostokorkeus 102 m	
Tulopaine	Nesteen lämpötila	Pienin tulopaine
	≤+75 °C	0,05 bar, 0,005 MPa, nostokorkeus 0,5 m
	+90 °C	0,28 bar, 0,028 MPa, nostokorkeus 2,8 m
	+110 °C	1,08 bar, 0,108 MPa, nostokorkeus 10,8 m
EMC	EN 61000-6-2 ja EN 61000-6-3	
Äänenpainetaso	Pumpun äänenpainetaso on alhaisempi kuin 43 dB(A).	
Ympäristölämpötila	0 °C ... +40 °C	
Lämpötilaluokka	TF110, CEN 335-2-51 mukaan	
Pintalämpötila	Suurin pintalämpötila ei ylitä +125°C.	
Nesteen lämpötila	+2 °C ... +110 °C	

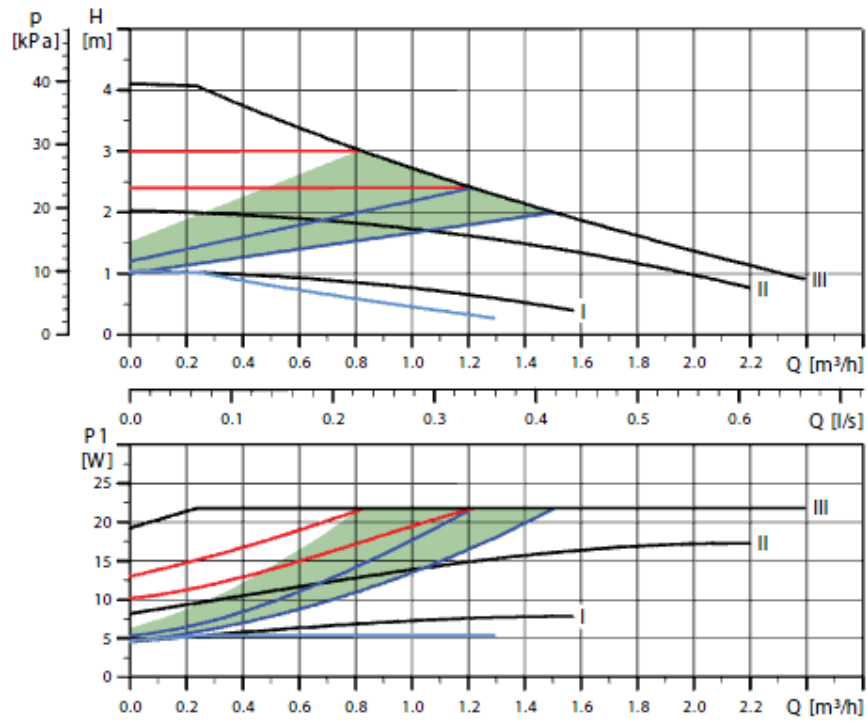
Kondensoitumisen estämiseksi ohjauskoteloon ja staattoriin, nesteen lämpötilan on aina oltava ympäristölämpötilaa korkeampi.

Ympäristölämpötila [°C]	Nesteen lämpötila	
	Min. [°C]	Max. [°C]
0	2	110
10	10	110
20	20	110
30	30	110
35	35	90
40	40	70

Huomio

Lämpimän käyttöveden järjestelmissä on suositeltavaa pitää nesteen lämpötila alle 65 °C:n liettymisriskin eliminoimiseksi.

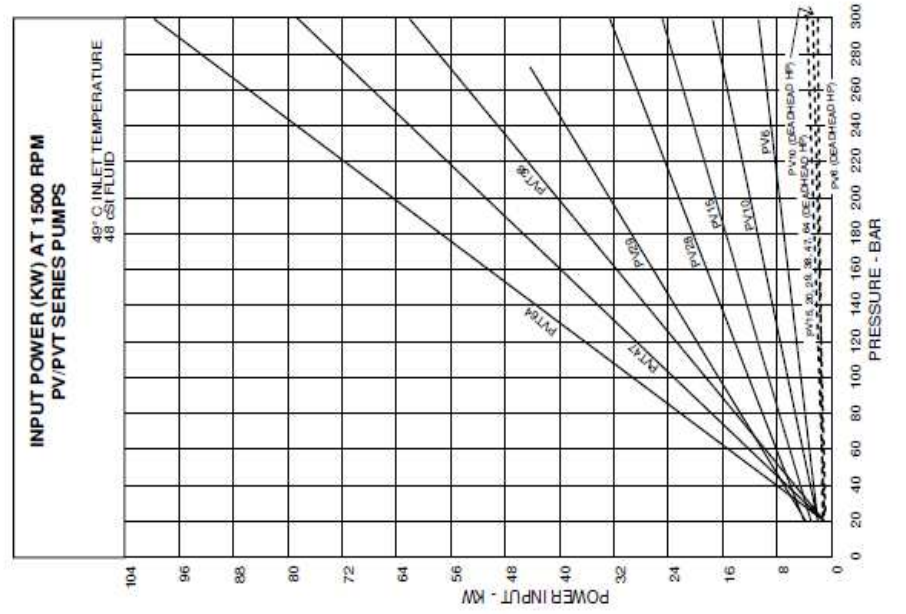
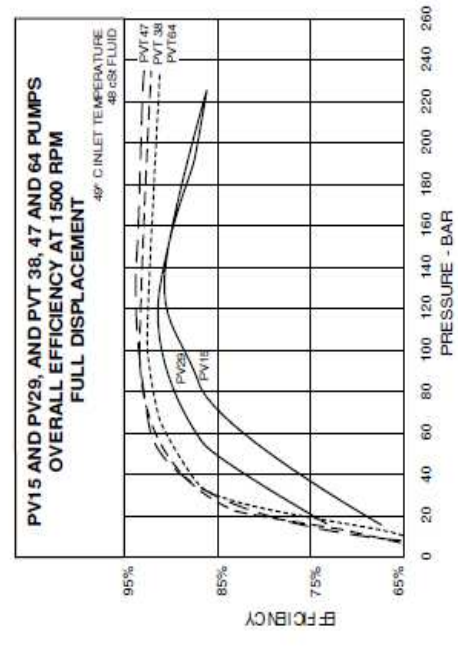
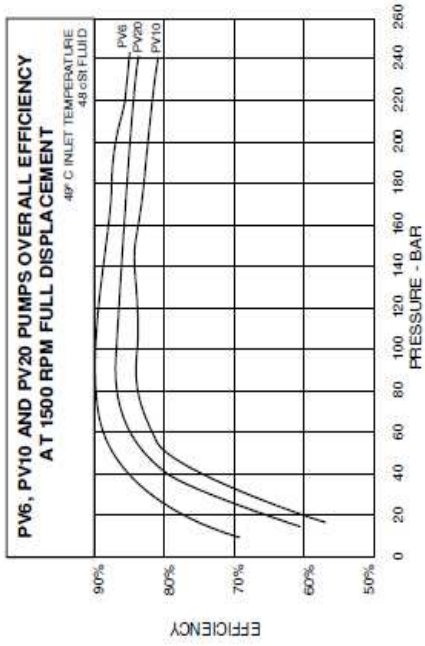
14.3 Kapasiteettikäyrät, ALPHA2 XX-40



Kuva 18 Kapasiteettikäyrät, ALPHA2 XX-40

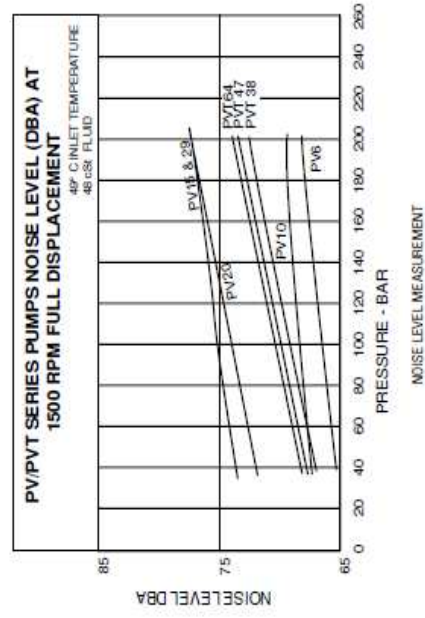
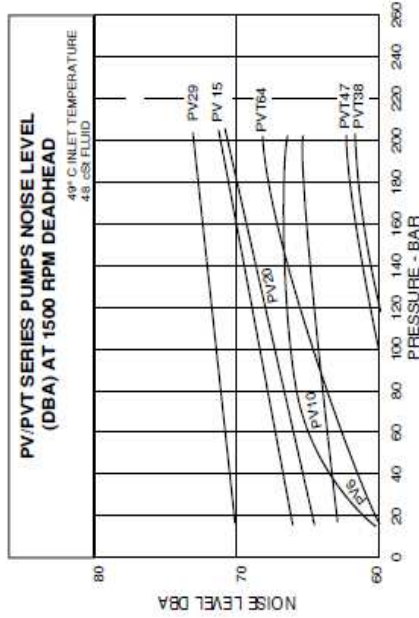
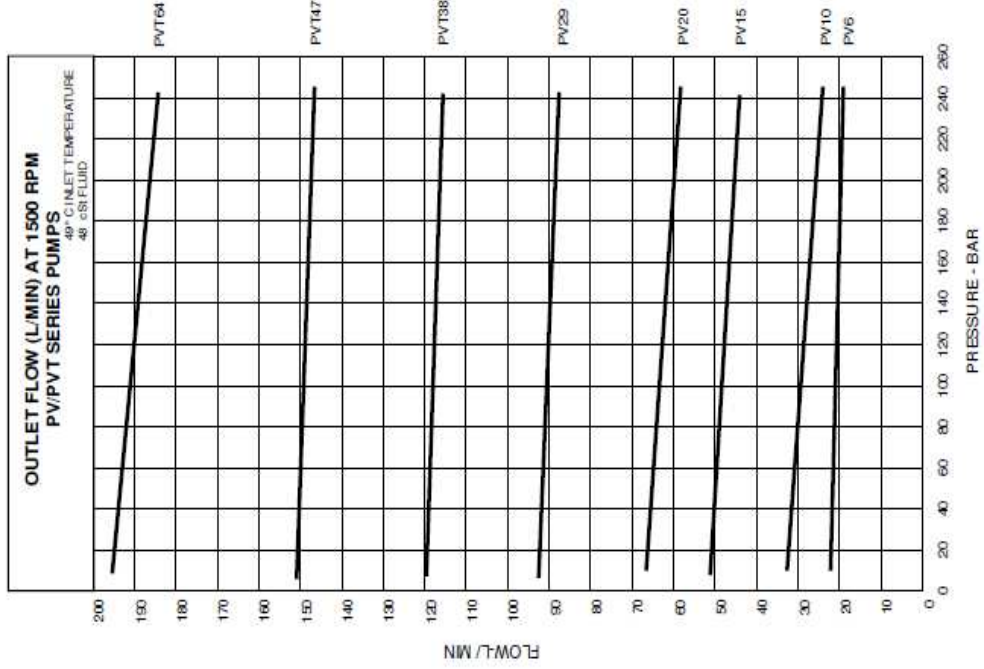
PERFORMANCE CURVES (BAR)

@ 1500 RPM



PERFORMANCE CURVES (BAR)

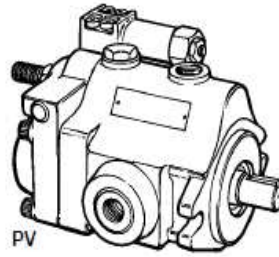
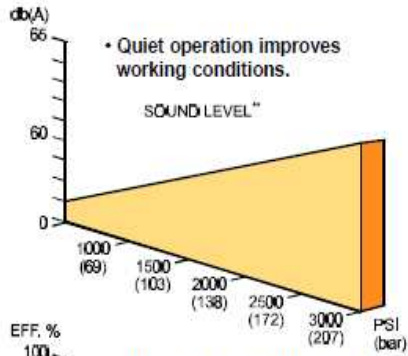
@ 1500 RPM



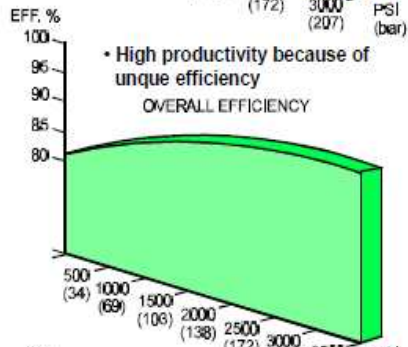
MEASUREMENTS OF PUMP ACOUSTICAL DATA WERE MADE IN ACCORDANCE WITH ANSI B80.71 M-1966, HYDRAULIC FLUID POWER-PUMPS-TEST CODE FOR THE DETERMINATION OF AIRBORNE NOISE LEVELS, (TECHNICALLY SIMILAR TO ISO 4412-1)

THE MEASUREMENTS WERE MADE IN A SPECIAL REVERBERANT TEST ROOM IN THE DENISON HYDRAULICS MARYSVILLE FACILITY WHICH WAS QUALIFIED TO ANSI S12.25-1990, (REVISION OF ANSI S1.35-1982), ENGINEERING METHODS FOR THE DETERMINATION OF SOUND POWER LEVELS OF NOISE SOURCES IN A SPECIAL REVERBERATION TEST ROOM.

BENEFITS

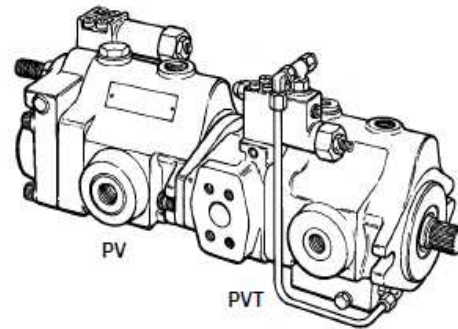
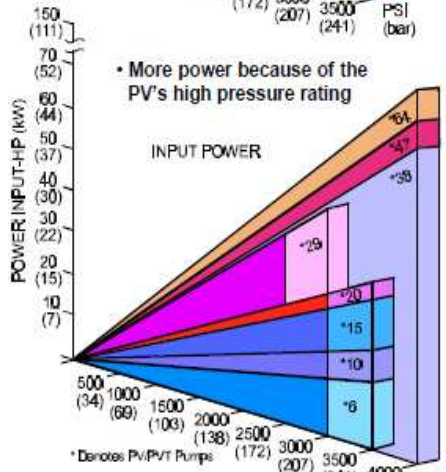


PV



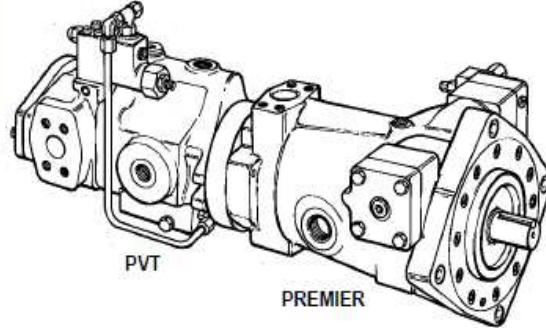
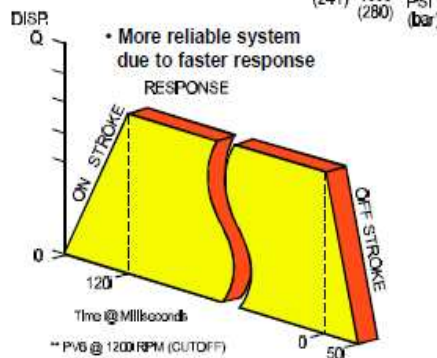
PV/PVT

PUMP SIZE	DISPLACEMENT IN ³ /REV. (CM ³ /REV.)	NOMINAL FLOW @1800 RPM US GPM (LPM)	RATED PRESSURE PSI (BAR)	INTERMITTENT PRESSURE PSI (BAR)
PV/PVT 6	90 (14)	7 (26)	3500 (240)	4500 (310)
PV/PVT10	1.25 (20)	10 (38)	3500 (240)	4500 (310)
PV/PVT15	2.10 (34)	16 (62)	3500 (240)	4500 (310)
PV/PVT20	2.60 (42)	20 (77)	3500 (240)	4500 (310)
PV/PVT29	3.80 (62)	30 (112)	3000 (200)	4000 (275)
PVT38	4.88 (80)	38 (144)	4000 (280)	4800 (330)
PVT47	6.10 (100)	48 (180)	4000 (280)	4800 (330)
PVT64	7.93 (130)	62 (234)	4000 (280)	4800 (330)



PV

PVT



PVT

PREMIER

PREMIER

PUMP SIZE	DISPLACEMENT IN ³ /REV. (CM ³ /REV.)	NOMINAL FLOW @1800 RPM US GPM (LPM)	RATED PRESSURE PSI (BAR)	INTERMITTENT PRESSURE PSI (BAR)
P16	16.0 (260)	125 (472)	8000 (420)	7250 (500)
P12	12.2 (200)	94 (356)	8000 (420)	7250 (500)
P09	8.8 (140)	67 (245)	8000 (420)	7250 (500)
P07	6.7 (110)	55 (208)	8000 (420)	7250 (500)
P05	4.9 (080)	38 (145)	8000 (420)	7250 (500)