

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KOMPRESSORIN LÄMMÖN TALTEENOTON TAKAISINMAKSUAJAN LASKEMINEN

TEKIJÄ Vile Hyvärinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Ville Hyvärinen			
Työn nimi Kompressorin lämmön talteenoton takaisin maksuajan laskeminen			
Päiväys	14.6.2022	Sivumäärä/Liitteet	30
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Piippo Oyj			
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena oli selvittää, kuinka kannattavaa on kompressorin lämmön talteenottaminen ja sen hyödyntäminen rakennuksen lämmitys tarpeisiin tässä laitoksessa missä lämmittäminen tehdään pääasiallisesti kevytpolttoöljyllä.</p> <p>Koska lämmitys tapahtuu kevytpolttoöljyllä, jonka hinta on nyt ollut järkyttävässä nousussa kaikki mahdollinen talteenotettu hukkalämpö on yhä tärkeämmässä roolissa. Tässäkin tapauksessa missä paineilman käyttö on jatkuvaa ja voimakasta. Tehdas käy keskeytymättömässä kolmivuorotyössä viikot läpeensä ja verkkokoneiden tarvitsema paineilman määrä on suuri. Kompressoreiden lämmön talteenotto on etukäteenkin nähtävissä kannattavaksi vaihtoehdoksi.</p> <p>Laskelmista käy ilmi, että lämmön talteenotto on kuten etukäteenkin oli nähtävissä erittäin kannattavaa, maksaen talteenotto järjestelmän kulut takaisin parissa kuukaudessa, kun verrataan sen antamaa hyötyä siihen että sama lämpö tuotettaisiin kevytpolttoöljyllä.</p>			
Avainsanat Kompressor, lämmitys, lämmöntalteenotto			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	KOMPRESSOREISTA YLEISESTI	6
2.1	Mäntäkompressori.....	6
2.2	Scroll-kompressori.....	7
2.3	Keskipakoiskompressori.....	8
2.4	Ruuvikompressori	10
3	KOMPRESSORIN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄ.....	14
3.1	Lämmönvaihtimet	14
3.1.1	Putki/vaippalämmönsiirrin	15
3.1.2	Levylämmönsiirrin.....	17
3.2	Vesijäähdytteinen ruuvikompressori	20
3.3	Paikan päällä oleva järjestelmä	21
4	LÄMMÖNTALTEENOTON SÄÄSTÖN LASKEMINEN	26
4.1	Säästöt lämmöntalteenotosta.....	26
5	POHDINTA.....	28
	LÄHTEET	29

1 JOHDANTO

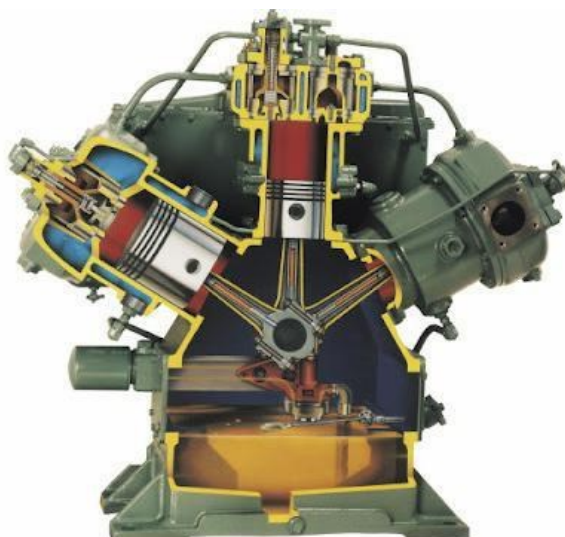
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää kuinka kannattavaa on kompressorin aiheuttaman lämmön talteenotto lämmitystarpeisiin laitosoissa, joissa kompressori käy koko ajan. Tehdas käy keskeytymättömässä kolmivuorotyössä viikot läpeensä ja verkkokoneiden tarvitsema paineilman määrä on suuri. Tästä aiheutuu paljon lämpöä, joka tässä laitoksessa otetaan jo talteen, mutta sen aiheuttamia säästöjä tai sen kannattavuutta ei ole sen tarkemmin tutkittu. Ensimmäisten arvioiden mukaan tämä on erittäin kannattavaa ja takaisinmaksuajassa puhutaan kuukausista, johtuen lämmöntalteenotto järjestelmän vähäisistä kustannuksista ja siitä ulos saatavasta korkeasta lämmöstä.

2 KOMPRESSOREISTA YLEISESTI

Paineilmakompressorit on mekaaninen laite, jolla nostetaan kaasun painetta vähentämällä sen tilavuutta. Paineilma kompressoreja on monenlaisia, mutta näistä yleisimmät ovat mäntäkompressorit ja ruuvikompressorit. Yleisimmin teollisuudessa käytetään ruuvikompressoreja, vaikka ne ovatkin vähemmän energiatehokas vaihtoehto, mutta etuna teollisuuden käyttöön sillä on, että ne ovat hiljaisempia ja luotettavampia. Ruuvikompressorit vaatii keskimääräisesti vähemmän huoltoa koska sillä on pidemmät huoltovälit mäntäkompressorin verrattuna.

2.1 Mäntäkompressorit

Mäntäkompressorit ovat yleisimpiä kompressoreita ja ne muistuttavat hyvin paljon perinteistä polttomoottoria, mutta sen sijasta, että mäntää käytettäisiin voiman tuottamiseen, niin voima tuotetaan joko sähkö- tai kaasumoottorilla kampiakselille ja mäntää käytetään sen sijaan paineen tuottamiseen (Kuva 1).



KUVA 1. Esimerkki kuvana mäntä kompressorin halkaisu kuva. (santorpack julkaisuaika tuntematon)

Männän yläpuolella sijaitsee venttiilipää, jossa on kaksi läppää, joista yksi on asennettu venttiili levyn alle ja toinen päälle. Tämä aiheuttaa sen, kun mäntä liikkuu alaspäin se luo tyhjiön, jonka takia sisääntuloläppä aukeaa päästäten ilmaa sisään. Kun männän liike alkaa hidastua pohjaa kohden, sisääntulevan ilman määrä vähenee ja liikkeen pohjalla loppuu. Sisääntuloläppä sulkeutuu, jonka jälkeen mäntä aloittaa ylöspäin menoliikkeen puristaen samalla ilmaa kasaan luoden painetta, joka avaa samalla poistoilmaläpän ilmasäiliöön. Tämä sama paine pitää sisääntuloilmaläpän kiinni männän liikkeen saavuttaessa huippunsa, poistoilmaläppä sulkeutuu säiliössä olevan paineen ja männän pikkuhiljaa aiheuttaman tyhjiön takia ja sisääntuloilman läppä taas aukeaa. Tämän prosessin toistuessa paine kasvaa. (popularmechanics 2015.)

Vaikkakin on olemassa pieniä kompressoreja, joissa ei ole ilmasäiliötä ollenkaan, yleisimmissä malleissa kuitenkin on ilmasäiliö, jossa on sisällä paineilmatyökaluja, joilla tarkkaillaan ilmasäiliön sisäistä painetta. Käynnistäen moottorin, jos paine on liian alhainen ja sammuttaen, jos paine lähestyy ylärajaa, ylläpitäen painetta säiliössä. (popularmechanics 2015.)

2.2 Scroll-kompressor

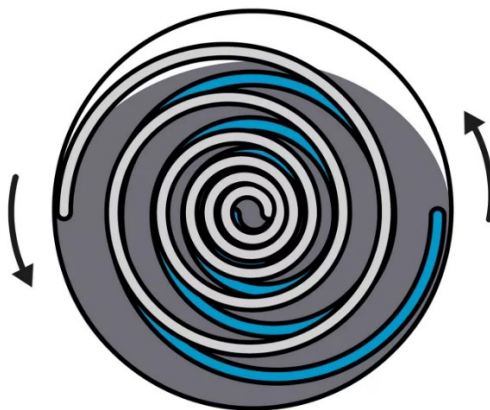
Scroll-kompressor eli kierukkakompressor on syrjäytyskompressor, joka toimii ilman tai kaasun sisäisellä puristuksella. Kuten useimmat kompressorit, scroll kompressor voi olla öljyvoideltu tai öljytön.

Scroll-kompressor on monella tapaa mäntä- tai ruuvikompressoreiden vastakohta, sillä siinä on yksinkertainen rakenne ja vain yksi liikkuva osa. Tämän ansiosta se on esimerkiksi ruuvi- tai mäntäkompressorin verrattuna erittäin luotettava ja hiljainen. Koska ne myös pystyvät tuottamaan täysin puhdasta ilmaa, sopivat ne erittäin hyvin herkempiin sovelluksiin kuten hammaslääkäriin, sairaaloihin, laboratorioihin, panimoihin, leipomoihin, karjatiloilta, elektroniikan ja linssien valmistukseen.



KUVA 2. Esimerkki kuva avatusta scroll-kompressorista (maalämpöfoorumi Julkaisuaika tuntematon.)

Scroll-kompressorin toimintaperiaate on, että siinä on kaksi kierukan muotoista elementtiä, jotka ovat kiinnitettyjä toisiinsa ja joista toinen on koko ajan paikallaan ja toinen on moottorin pyörittämä (KUVA 2). Pyörivän ja paikallaan olevan kierukan väliin syntyy puolikuun muotoisia ilmataskuja, jotka pienenevät koko ajan muodostaen painetta (KUVA 3).



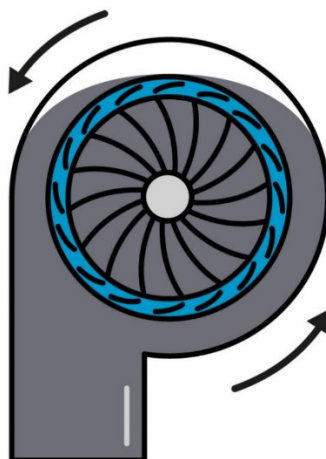
KUVA 3. Esimerkki kuva scroll-kompressorin toiminta periaatteesta. (Atlas Copco a. julkaisuaika tuntematon.)

Lyhytiskainen kampiakseli käyttää liikkuvaa kierukkaa, joka liikkuu epäkeskeisesti paikallaan olevan kierukan keskikohdan ympärillä. Liikkuva kierukka aiheuttaa liikkeellään tyhjiön, joka rupeaa vetämään ilmaa kotelon päällä olevasta imuaukosta. Paikallaan olevan ja liikkeellä olevan kierukan väliin syntyy ilma taskuja, joissa ilma rupeaa vähitellen painumaan kasaan siirtyessään kohti keskikohtaa, jossa poistoaukko ja vastaventtiili sijaitsee.

180 asteinen kierto/ vaihesiirtymä takaa kierukkaelementin sisäisen vakauden. Scroll-kompressorin aiheuttamaa puristusta kutsutaan sisäiseksi puristukseksi, koska ilma puristuu kasaan kompressorin sisällä. Tässä prosessissa vuodot on minimoitu, koska yksittäisten ilmataskujen ilmanpaine on pienempi kuin imu- ja poistoaukon välinen paine-ero. Scroll-kompressoreissa, kuten ruuvi-kompressoreissa poistoaukon rakenne määrittää sisäisen puristuksen määrän. Muihin kompressori tyyppeihin verrattuna scroll-kompressori tuottaa suurimman tehotason tilavuuden suhteen. (Atlas Copco b. julkaisuaika tuntematon.)

2.3 Keskipakoiskompressori

Keskipakoiskompressori on dynaaminen kompressori, joka on ihanteellinen valinta, kun tarvitaan paljon tehoa ja niitä usein kutsutaan turbokompressoreiksi. Keskipakoiskompressori on varustettu radiaalisella tyhjänsyrtäyksellä. Ilmaa imetään radiaalisilla terillä siipipyörän keskelle, josta se työntyy keskipakovoiman ansiosta siipipyörien reunoille, aiheuttaen samalla paineen nousua ja kineettisen energian muodostumista. Ennen kuin ilmaa johdetaan seuraavan kompressorivaiheen siipipyörän keskelle, sen täytyy kulkea diffuusorin ja kierukan läpi, jossa liike-energia muuttuu paineeksi (KUVA 4). Jokainen lisätty vaihe tässä prosessissa lisää kokonaispainetta lopussa.

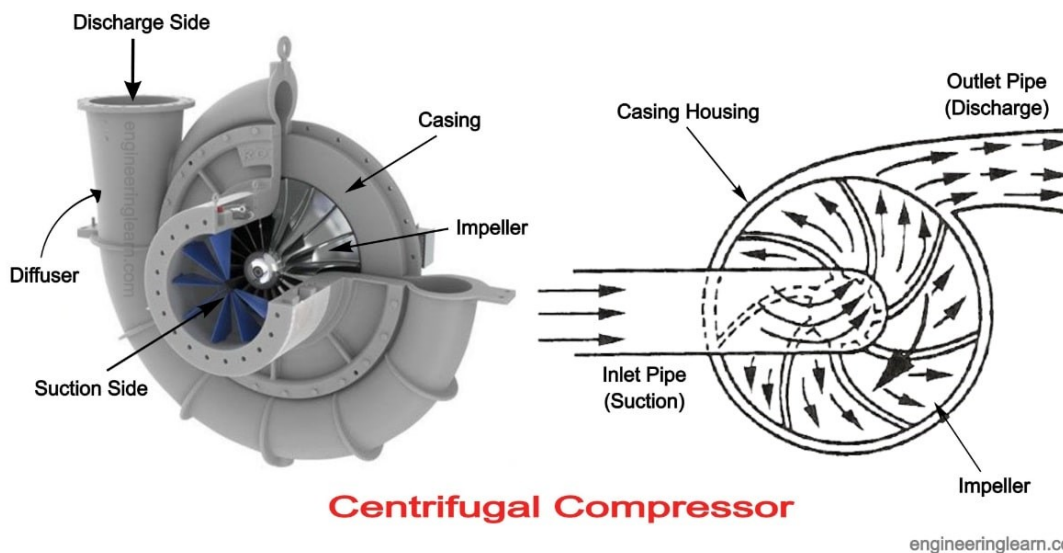


KUVA 4. Esimerkki kuva keskipakoiskompressorin toimintaperiaatteesta (Atlas Copco c. julkaisuaika tuntematon.)

Teollisuuskoneissa keskipakoiskompressorin enimmäispainesuhde on useimmiten enintään 3. Mitä suurempi painesuhde, sitä vähemmän tehokasta se on. Esimerkiksi jätevedenpuhdistamoissa käytetään useita matalapaineisia yksivaiheisia sovelluksia. Monivaiheisissa keskipakoiskompressoreissa tarvitaan yleensä vähemmän sisäistä jäähdytystä. Useita vaiheita voidaan laittaa sarjaan yhden matalanopeuksisen akselin ympärille. Tätä konseptia käytetään useimmiten öljy- ja kaasuteollisuudessa kuten myös prosessiteollisuudessa. Jokaista yksittäistä vaihetta kohti painesuhde on alhainen, mutta halutun lähtöpaineen saavuttamiseksi on käytössä useita vaiheita ja sarjaan kytkettyjä kompressoreita.

Kompressorissa siipipyörän rakenne voi olla joko avoin tai suljettu. Avoin rakenteisissa kompressoreissa akseli nopeudet ovat yleisesti ottaen erittäin suuria (15.000-100.000r/min) verrattuna muihin kompressorityyppeihin. Tästä johtuen täytyy tämän tyyppisissä kompressoreissa käyttää rullalaakereiden sijasta öljykalvolaakereita. Vaihtoehtoisesti, jos tarvitaan samaa kompressoria, mutta öljyttömänä versiona, voidaan käyttää laakerina ilmakalvolaakereita tai aktiivisia magneetti laakereita.

Akselin molemmissa päissä on kaksi siipipyörää, jotka tasoittavat paine-erojen aiheuttamia kuormituksia. Keskipakoiskompressorin modernissa kokoonpanossa käytetään erittäin nopeita sähkömoottoreita siipipyörien suoraan ajamiseen ilman vaihteistoa. Tämä mahdollistaa sen, että kompressorin koko voidaan säilyttää suhteellisen pienenä, koska se ei tarvitse enää tilaa vaihteistolle ja siihen liittyvään öljyvoitelujärjestelmään, mikä mahdollistaa sen, että se voi olla täysin öljytön kokoonpano (KUVA 5). (atlas copo b. julkaisuaika tuntematon.)

English

Centrifugal Compressor

Suction Side

Diffuser

Discharge Side

Impeller

Casing

Casing Housing

Inlet pipe (Suction)

Outlet pipe (Discharge)

Suomi

Keskipakoiskompressori

Imupuoli

Diffuusori

Tyhjennyspuoli

Juoksupyörä

Kotelo

Kotelo kuori

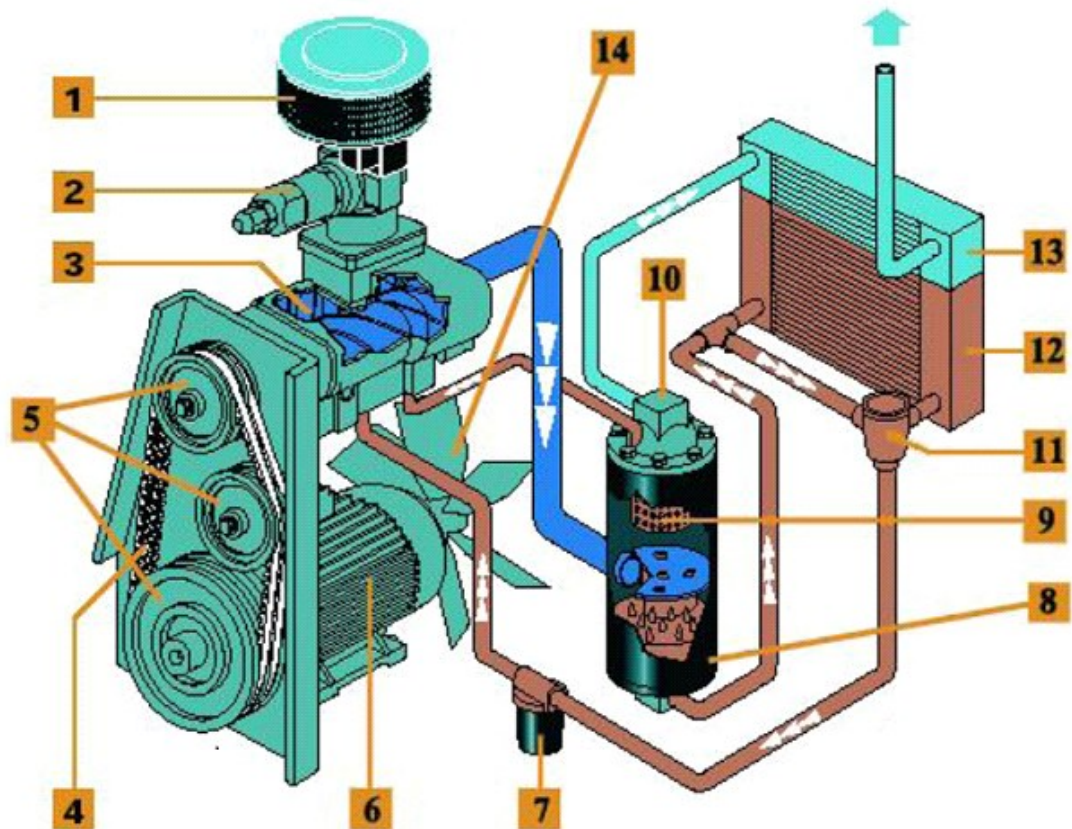
Tuloputki (imu)

Poistoputki (poisto)

KUVA 5. Esimerkki kuva keskipakoiskompressorin poikkileikkauksesta ja toiminta periaatteesta (engineeringlearn a. julkaisuaika tuntematon.)

2.4 Ruuvikompressori

Ruuvikompressori (KUVA 6) on yleisin teollisuudessa käytetty paineilmakompressorin tyyppi (noin 90%) vaikkakin siinä on heikompi energiatehokkuus kuin mäntäkompressorissa, mutta etuina siinä on, että se on yleisesti ottaen hiljaisempi, vaatii vähemmän huoltoa ja on usein käytettävissä heti asennuksen jälkeen.

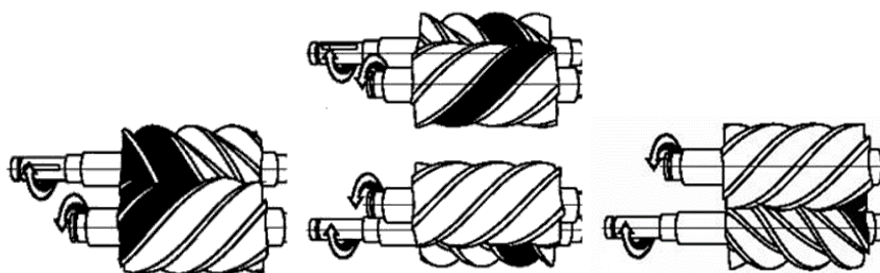


1. suodatin.
2. Imuventtiili.
3. Ruuvilohko.
4. Hihnaveto.
5. Hihnapyörät.
6. Moottori.
7. Öljynsuodatin.
8. Ensisijainen öljynerotin. Tässä laitteessa öljy erotetaan ilmasta keskipakovoimalla.
9. Öljynerottimen suodatin.
10. Turvaventtiili.
11. Termostaatti.
12. Öljynjäähdytin
13. Ilmanjäähdytin.
14. Tuuletin.

(techinfus julkaisuaika tuntematon.)

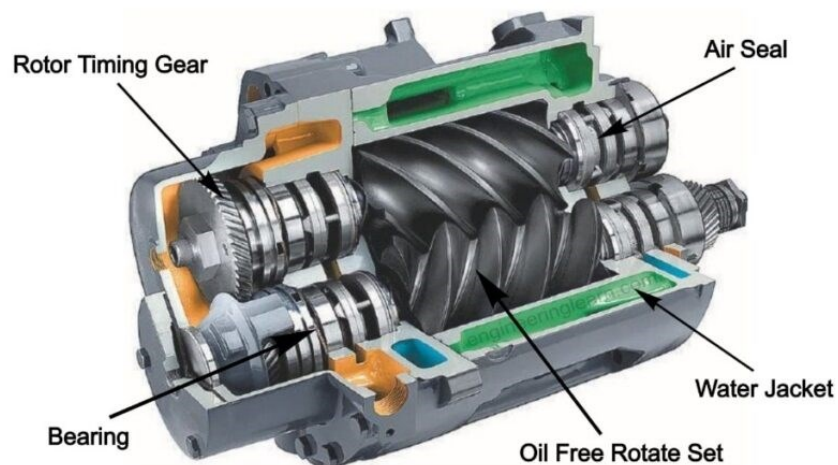
KUVA 6. Esimerkki ruuvikompressorin toiminta periaatteesta (techinfus julkaisuaika tuntematon.)

Ruuvikompressorissa on kaksi vastakkaisiin suuntiin pyörivää ruuvia, jotka alkavat pyöriä muodostaen tilan, minne ilma alkaa virrata imuaukon sisääntulon läpi, täyttäen ruuvin syvennykset koko pituudelta (KUVA 7). Roottorien pyöriessä imutilavuuden yhteys katkeaa sisääntulosta, alkaen hiljalleen paineistaa väliin jäänyttä ilmaa. Tämän tilan pienentyessä tässä vaiheessa sekaan ruiskutetaan öljyä ilmatilan tiivistämiseksi, voitelemiseksi ja siinä ohessa myös absorboimaan ilman kasaan painumisesta aiheutuvan lämmön (KUVA 8). Tämä ilman kasaan puristuminen jatkuu, kunnes ruuvin pohja osuu poistoaukon kohdalle, tällöin ilma ja öljy virtaavat poistoaukon kautta paineputkeen (KUVA 9). (techinfus julkaisuaika tuntematon.)



KUVAT 7,8 ja 9. Esimerkki ruuvikompressorin ruuveista ja paineilman kehittymisestä niissä (techinfus julkaisuaika tuntematon.)

Öljyn poistuminen ilman seasta tapahtuu suurimmaksi osaksi keskipakoiserotuksella, tästä jälkeen jäävä öljy jää öljynerotinsuodattimen poistettavaksi. Poistettu öljy kerääntyy ilmasäiliön/öljynerottimen alaosaan, joka toimii öljysäiliönä ja josta öljy matkaa edelleen öljyn jäähdyttimeen. Öljyn lämpötilan ollessa asetusarvon alapuolella on järjestelmässä ohitusventtiili, joka sulkee öljyn menemisen öljynjäähdyttimen läpi, tällöin ilmanpaineen ansiosta öljy lähtee suoraan takaisin puristuselementtiin. Öljyn syöttö jäähdyttimestä alkaa uudelleen, kun öljyn lämpötila on noussut asetuspisteeseen. Öljyn ollessa noin 15 °C- asetuspisteen yläpuolella kaikki öljy virtaa jäähdyttimeen ja jos kompressorin pysähtyy niin öljyn sulkuventtiili estää liikaöljyn päätyksen puristustilaan. Kun ilmaa puristetaan, siinä syntyy paljon lauhdetta/vettä. Sitä täytyy estää kuivattamalla ilmaa, koska se on haitallista kompressorille. (alup julkaisuaika tuntematon.)



Rotary Screw Compressor

English

Rotary Screw Compressor

Rotor Timing Gear

Bearing

Air Seal

Oil Free Rotate Set

Water Jacket

Suomi

Pyörivä ruuvikompressori

Roottorin ajoitusvaihte

Laakeri

Ilmatiiviste

Öljytön pyörytysarja

Vesivaippa

KUVA 10. Esimerkki kuva ruuvikompressorin poikkileikkauksesta (engineeringlearn b. julkaisuaika tuntematon.)

Yleensä jos käyttökohteisiin halutaan öljytöntä ilmaa, niin käytetään öljyttömiä ruuvikompressoreita (KUVA 10) mutta, koska niissä on huonompi painesuhde ja ne vaativat enemmän huoltoa.



KUVA 11. Esimerkinä kuva vedenerottimesta joka on ennen kuivainta. (Hyvärinen 2022.)

Joskus on parempi ratkaisu laittaa paineilman kuivain, jossa on vedenerotin ja öljynerotin erikseen, kuten tässä projektissa on paikan päällä (KUVAT 11/12). Tämän laitteen tarkoitus on yksinkertaisesti puhdistaa paineilma siihen kertynyt lauhdevesi ja paineilman mukana karkaava öljy ennenkun paineilma pääsee käyttökohteelle.



KUVA 12. Esimerkinä kuva öljynerottimesta joka on kuivaimen jälkeen. (Hyvärinen 2022.)

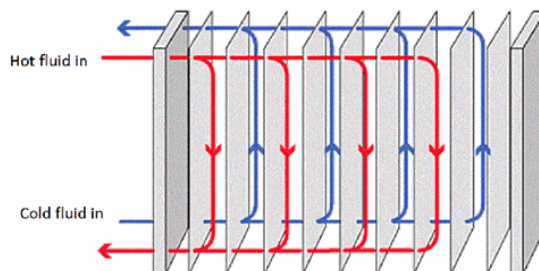
3 KOMPRESSORIN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄ

Kompressorin lämmöntalteenottojärjestelmällä (LTO-järjestelmä) kerätään kompressorin käynnistä aiheutuva hukkalämpö hyötykäyttöön, jolla lämmitetään järjestelmässä olevaa viileää vettä korkeammalle lämpötilalle, jotta sitä voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi rakennuksen tai käyttöveden lämmityksessä. Jopa 94% kompressorin syötetystä sähköenergiasta muuttuu lämmöksi ja tämän prosessin avulla siitä voidaan saada talteen kaikki paitsi kompressioilman mukana karkaava lämpö.

3.1 Lämmönvaihtimet

Lämmönsiirtimiä/vaihtimia käytetään siirtämään lämpöä yhdestä nesteestä/kaasusta tai yhdistelmästä toiseen. Nesteet voidaan erottaa kiinteällä seinällä sekoittumisen estämiseksi tai ne voivat olla suorassa kosketuksessa. Energiatehokkuutta lämmönvaihtimien järjestelmissä voidaan parantaa siirtämällä lämpöä järjestelmiin missä sitä tarvitaan järjestelmistä, joissa sitä ei tarvita (KUVA 13).

Esimerkiksi sähköä tuottavan kaasuturbiinin poistokaasussa oleva hukkalämpö voidaan siirtää lämmönvaihtimen kautta veden kiehumiseen, jolloin höyryturbiini ajaa lisää sähköä. Toinen yleinen tapa käyttää lämmönvaihtimia on käyttää järjestelmästä poistuvaa kuumaa nestettä järjestelmän sisälle menevän kylmän nesteen esilämmittämiseksi. Koska järjestelmään sisälle menevä vesi on valmiiksi lämpimämpää, se samalla vähentää energian kulutusta.



English

Hot fluid in

Cold fluid in

Suomi

Kuumaa nestettä sisään

Kylmää nestettä sisään

KUVA 13. Esimerkki levylämmönvaihtimen toiminnasta (ipieca julkaisuaika tuntematon.)

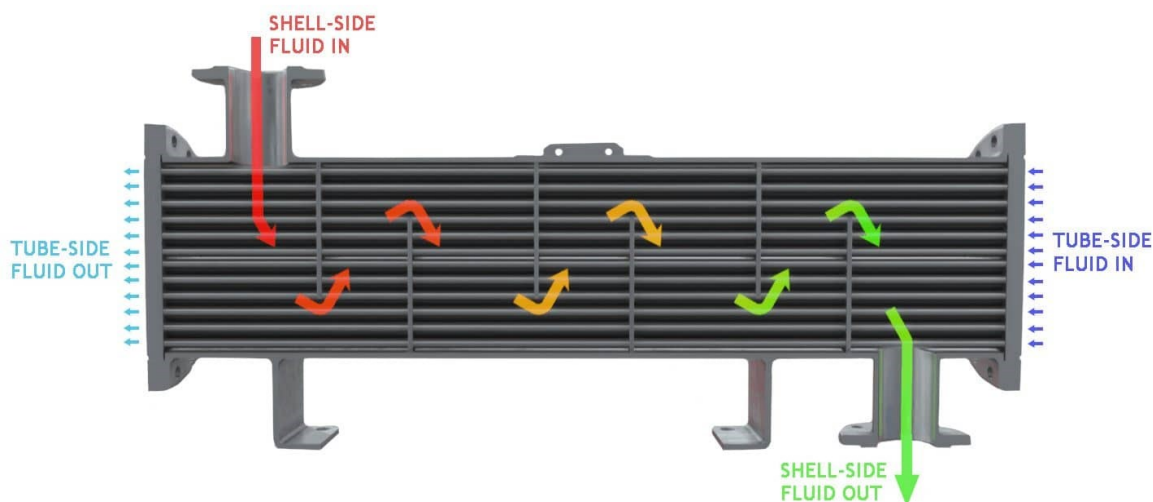
Koska tässä kohteessa on koteloitu öljyvoideltu ruuvikompressor ja lämmönvaihdin on sen sisällä niin lämmöstä saadaan talteen kaikki paitsi paineilmaan jäänyt lämpö, jonka osuus ei ole kokonaisuudessaan suuri. (ipieca julkaisuaika tuntematon)

3.1.1 Putki/vaippalämmönsiirrin

Putki- ja vaippalämmönsiirtimet ovat kaksi yleisintä lämmönsiirrin tyyppiä koska ne ovat yksinkertaisia, kestäviä ja luotettavia, joista johtuen ne ovat myös hyvin edullisia ja helppoja asentaa. Näissä on myös korkea lämmönsiirto kapasiteetti vaikkakin jos niitä verrataan levylämmönsiirtimiin, vaativat nämä huomattavasti enemmän tilaa, kuin levylämmönsiirtimet vastaavalla teholuokalla.

Putkilämmönsiirtimissä on kaksi puolta, on neste mikä menee putkissa ja on neste mikä kulkee vaipassa. Putkipuoli yleensä rakennetaan kestävämpään kovempaa painetta kuin vaippapuoli johtuen siitä että on yleisesti ottaen helpompi ja halvempi tehdä korkean paineensietäviä putkia kuin vaippoja.

Vaihtilämmön vaihtimissa käytetään yleensä vettä jäähdyttämään öljyä, joista öljy kulkee vaipan puoleisessa tilassa ja vesi putkitilassa. Koska vaippatilassa kulkeva öljy halutaan liikkuvan turbulentsisesti laitetaan vaippatilaan yleensä ”turbulaattoreita”. Nämä aiheuttavat sen, että öljy kulkee vaippatilassa paremmin joka puolelle parantaen lämmön siirtymistä ja koska virtaus on turbulentsista sillä on myös itsepuhdistava vaikutus vaipan sisällä (KUVA 14).



English

Tube-side fluid out

Tube-side fluid in

Shell-side fluid in

Shell-side fluid out

Suomi

Putken puoleinen neste ulos

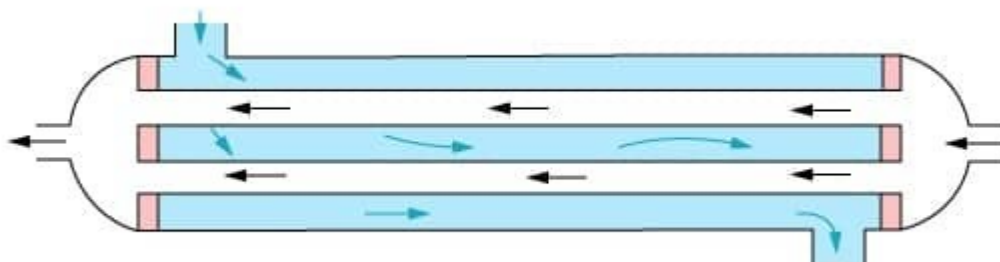
Putken puoleinen neste sisään

Vaipan puoleinen neste sisään

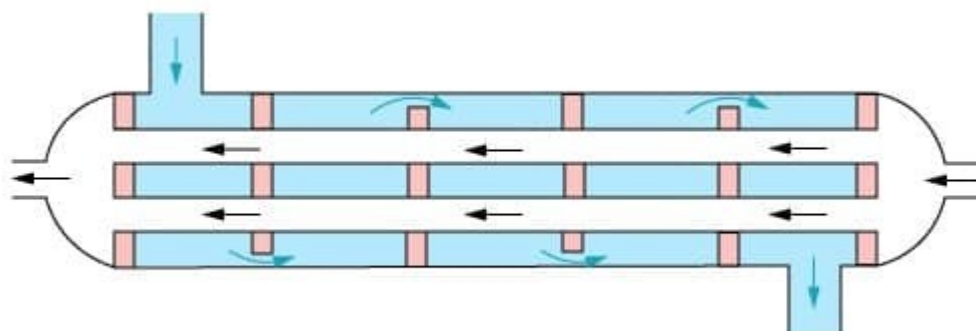
Vaipan puoleinen neste ulos

KUVA 14. Esimerkki kuva vaihtilämmönvaihtimessa tapahtuvasta monivaiheisesta nesteen kierrosta. (saVRee julkaisuaika tuntematon.)

Putkilämmönvaihtimissa voi olla yksivaiheinen tai monivaiheinen nesteen läpikierto. Yksi vaiheisessa neste vain virtaa lämmön vaihtimen läpi ilman sen enempää esteitä (KUVA 15), kun taas monivaiheisessa lämmönvaihtimessa laitetaan vaipassa virtaava neste virtaamaan lämmönvaihtoputkien ohi monta kertaa käyttäen jo ennen mainittuja turbulaattoreita (KUVA 16). Tämä on energiatehokas ja kannattava ratkaisu yksi vaiheiseen verrattuna. (saVRee julkaisuaika tuntematon.)



KUVA 15. Esimerkki kuva yksivaiheisesta putkilämmönvaihtimesta. (saVRee julkaisuaika tuntematon.)



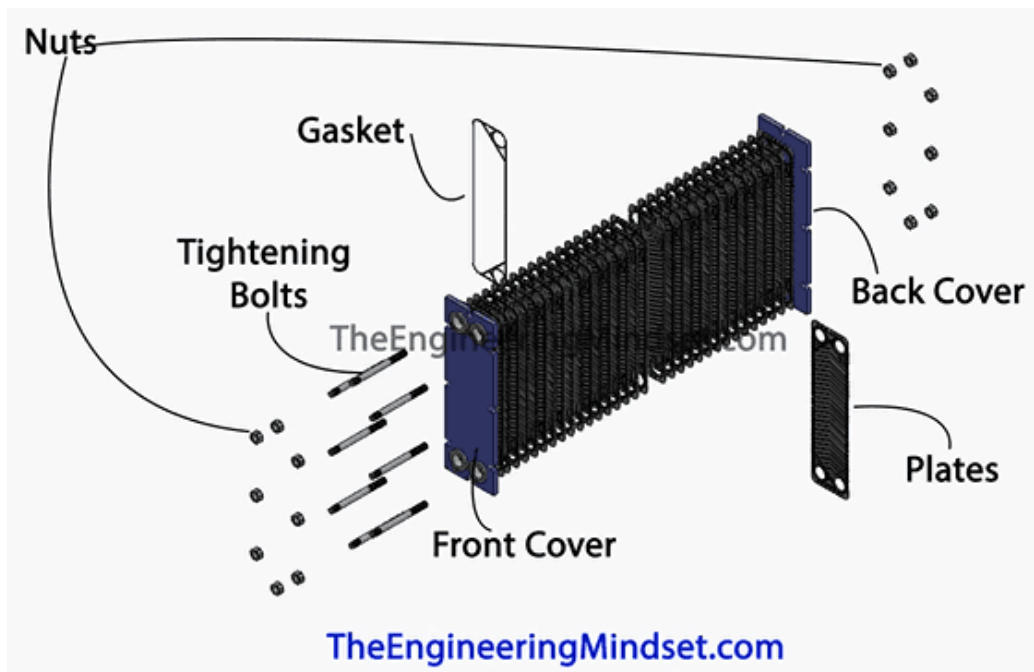
KUVA 16. Esimerkki kuva monivaiheisesta putkilämmönvaihtimesta. (saVRee julkaisuaika tuntematon.)

3.1.2 Levylämmönsiirrin

Levylämmönsiirtimen tarkoitus on vaihtaa lämpöenergiaa kahden nesteen välillä ilman että nesteet sekoittuisivat. Esimerkiksi tuotantopuolella halutaan jäähdyttää öljyä vedellä mutta ei haluta näiden kahden sekoittuvan.

Pääpiirteittäin levylämmönsiirtimessä osina on ensin isot päätylevyt, nämä on tehty kestävämmästä materiaalista kuin muut levyt, koska nämä pitävät koko järjestelmän kasassa. Tämän jälkeen on kiinnityspultit, ne menevät koko rakenteen läpi ja pitävät levyt painettuina toisiaan vasten tarpeeksi kovaa jotta ne tiivistyisivät (KUVA 17). Sitten vuorossa on itse lämmönvaihtolevyt, jotka on yleensä tehty teräksestä tai titaanista ja niissä on kuvioita ja uurteita tuodakseen niihin rakenteellista vahvuutta ja luoden veden kiertoon turbulenssia, joka auttaa veden sekoittumisessa ja pitää lämmön siirtymisen tehokkaampana. Jos levyt olisivat tasaisia niin jotkin alueet lämpiäisivät enemmän kuin toiset (KUVA 18).

Levyjen välissä ovat tiivisteet, jotka on tehty kumista ja ne ovat kiinnitetty levyn etupuolelle. Nämä varmistavat että levyt ovat tiukasti ja tiivisti toisissaan kiinni ja estää/sallii nesteen pääsyn levyjen välissä.



English

Nuts

Gasket

Tightening Bolts

Front Cover

Back Cover

Plates

Suomi

Mutterit

Tiiviste

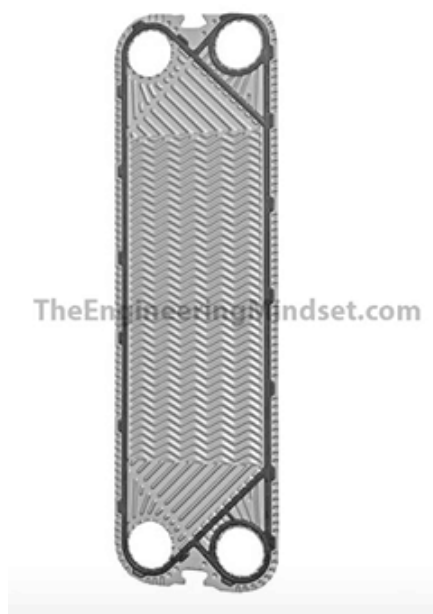
Kiristyspultit

Etukansi

Takakansi

Levyt

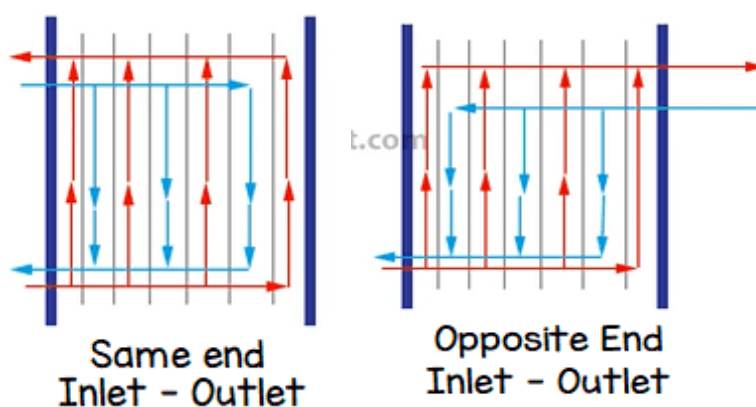
KUVA 17. Esimerkki kuva levylämmönvaihtimen kokoonpanosta. (TheEngineeringMindset julkaisuaika tuntematon.)



KUVA 18. Esimerkkikuva levylämmönvaihtimen yksittäisestä levystä ja siinä olevasta tiivisteestä.
(TheEngineeringMindset julkaisuaika tuntematon.)

Kuvassa 18 näkyy levyssä olevassa tiivisteessä oleva erimuotoisuus, tämä mahdollistaa sen että vasemman puoleisesta reiästä neste pääsee virtaamaan vapaasti levyssä ja oikean puoleisessa reiässä ei ole tätä mahdollisuutta.

Levylämmön vaihtimissa veden kierto voi tapahtua niin, että vesi kiertää ulos samasta suunnasta kuin se menee sisään tai että vesi jatkaa samaan suuntaan kuin se oli jo menossa. Yleisin versio näistä on ensimmäinen, koska jos sen kokoa tarvitsee muuttaa niin ei tarvitse uudelleenrakentaa koko järjestelmää vaan siihen voi vain lisätä levyjä. Toisessa versiossa jos halutaan lisätä levyjä täytyy kaikki putkitukset mihin lämmönvaihtimien on asennettu uudelleenrakentaa ja sovitella kohdalleen (KUVA 19/20).



English

Same end Inlet - Outlet

Opposite End Inlet - Outlet

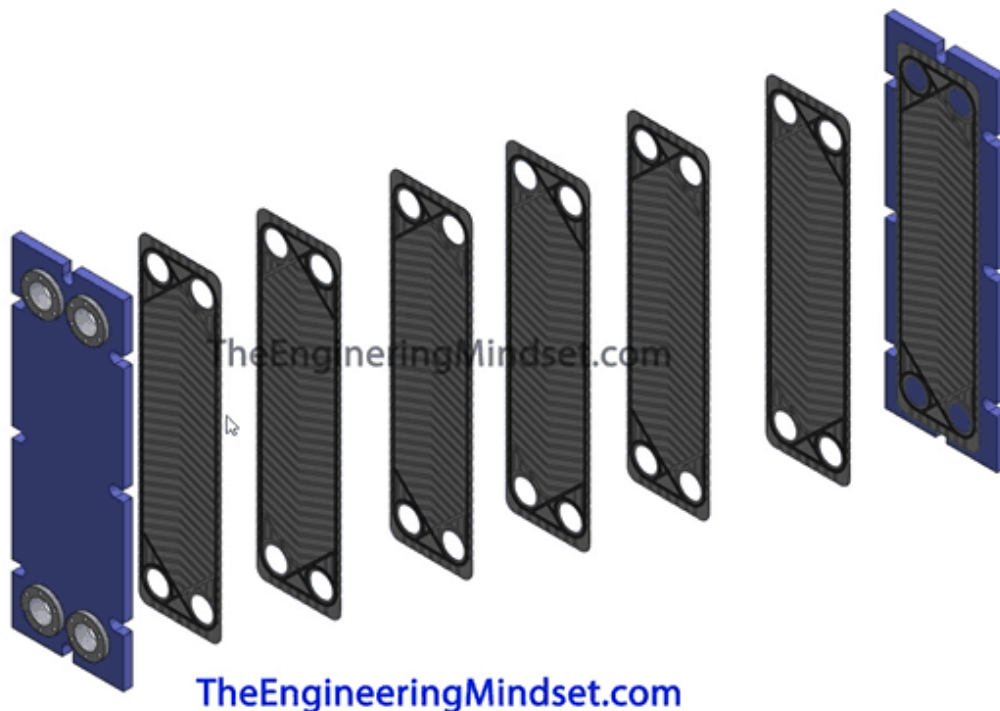
Suomi

Samanpuolen sisään- ja ulostulo

Vastapuolen sisään- ja ulostulo

KUVAT 19/20. Esimerkkinä levylämmönvaihtimissa olevia veden kierto mahdollisuuksia.
(TheEngineeringMindset julkaisuaika tuntematon.)

Levylämmönvaihtimessa toimintaperiaatteena on, että levyissä on joko vasen tai oikean puoleinen reikä tiivistetty vaihtelevasti, eli lämmin vesi virtaa joka toisessa levyvälissä ja kylmä, joka toisessa eivätkä nämä nesteet missään vaiheessa sekoitu (KUVA 21).



KUVA 21. Esimerkki kuva levylämmönvaihtimen levyissä olevien tiivisteiden puolen vaihtelusta joka toisessa levyssä. (TheEngineeringMindset julkaisuaika tuntematon.)

Koska joka toinen levyväli on kylmä ja joka toinen kuuma siirtyy lämpöenergia hyvin tehokkaasti nesteestä toiseen ilman että nesteet koskettavat toisiaan. Näissä malleissa ovat veden kiertosuunnat vastakkaisia, lämmön siirtyminen on silloin tehokkaimmillaan, koska lämpimin lämmin vesi kohtaa lämpimimmän kylmän veden alussa ja vastakkaisesti kohtaa kylmin kylmä vesi kylmimmän lämpimän veden. Tällöin on lämmön siirtyminen tasaista ja tehokkaimmillaan.

(TheEngineeringMindset. julkaisuaika tuntematon.)

3.2 Vesijäähdytteinen ruuvikompressor

Vesijäähdytteisessä ruuvikompressorissa käytetään ulkoista vesikiertoa öljynjäähdyttimen jäähdyttämiseen, koska suurin osa laitteesta kertyvästä lämmöstä on siinä (noin 77%). Näissä laitteissa on kätevää se, että lämmöntalteenotto on helppoa ja se hoitaa myös ohessa itse kompressorin jäähdytys tarpeita.

Kompressorin käydessä se tuottaa lämpöä, joka siirretään jäähdytysveteen, joka vastaavasti lämpenee ja sitä voidaan siirtää käyttökohteisiin esimerkiksi käyttöveden lämmittämiseen tai patteri verkostoon.

Kompressorin jäähdytystä ei pidä kuitenkaan jättää pelkästään lämmönvaihtimen varaan, sillä se on epäluotettavaa vuoden ajasta ja käyttötarkoituksesta riippuen ja sen mahdollinen toimintahäiriö voisi vaarantaa kompressorin.

3.3 Paikan päällä oleva järjestelmä

Paikan päällä olevassa järjestelmässä on GARDEN DENVER VS29 Ruuvikompressori, josta lämpöä otetaan talteen (KUVA 22). Laitteessa oli jo itsessään lämmöntalteenotto mahdollisuus, mutta sitä ei oltu heti asennuksessa otettu käyttöön, vaan vasta jälki asennuksena, kun öljyn hinta lähti nousemaan ja ryhdyttiin selvittämään mahdollisia säästökohteita ja kompressoreiden lämmöntalteenotto todettiin yhdeksi hyväksi vaihtoehdoksi.



KUVA 22. Paikan päällä oleva ruuvikompressori omassa kopassaan. (Hyvärinen 2022.)

Laitteistossa oli jo entuudestaan puristusilmankuivain GARDEN DENVER GDD52S, joka on varustettu vedenerottimella ja öljynerottimella. Näillä taattiin kompressio ilman puhtautta, koska sitä käytetään moniin käyttötarkoituksiin, joissa muutamassa tarvitaan täysin puhdasta ilmaa (KUVA 23).



KUVA 23. Esimerkkinä kuva paikan päällä olevasta paineilmankuivaimesta joka on yhdistetty ruuvikompressoriin. (Hyvärinen 2022.)

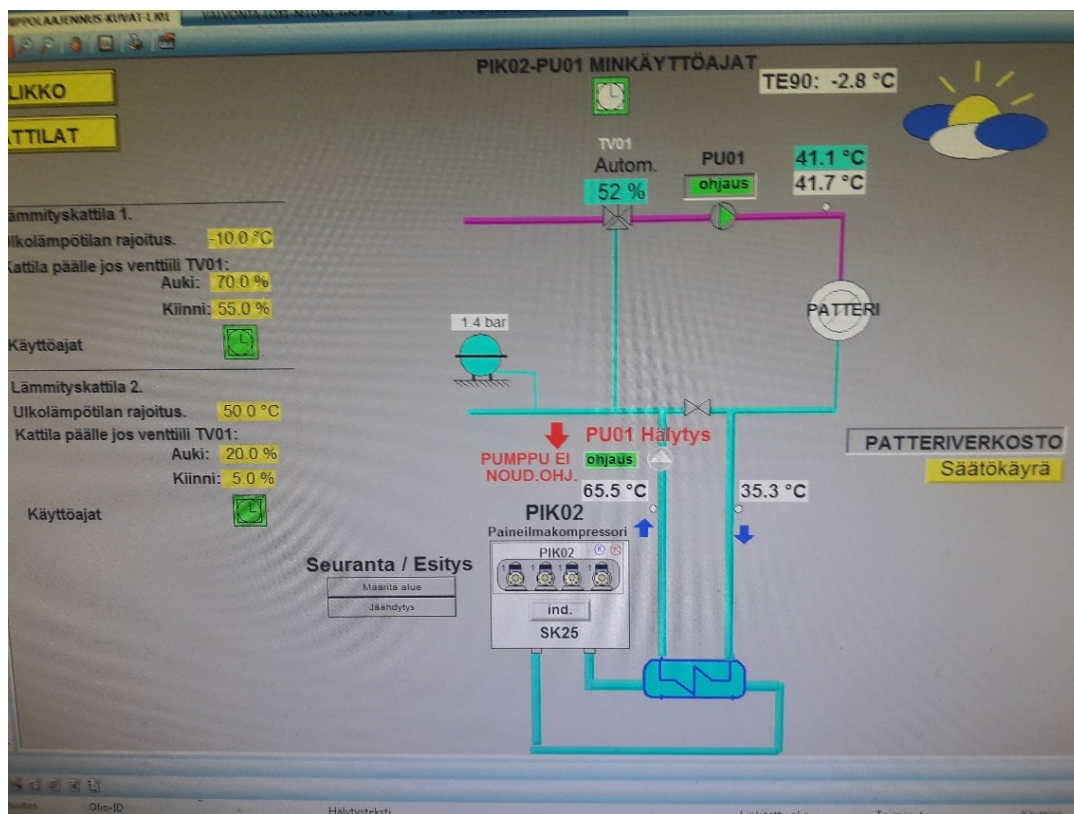
Laitteiston lisättiin lämmöntalteenoton asennuksen myötä putkitukset ja pumppu wilo Stratos ECO 25/1-5 BMS auttamaan veden kierrossa.

Lämmöntalteenotto jälkiasennuksena tuli hinnaltaan kohtuulliseksi jo etukäteen ajatellusta mahdollisuudesta lämmöntalteenotolle tulevaisuudessa ja putkistoa ei tarvinnut rakentaa lisää pitkälti sillä lämpökierto kulkee kompressorihuoneen läpi (KUVA 24).

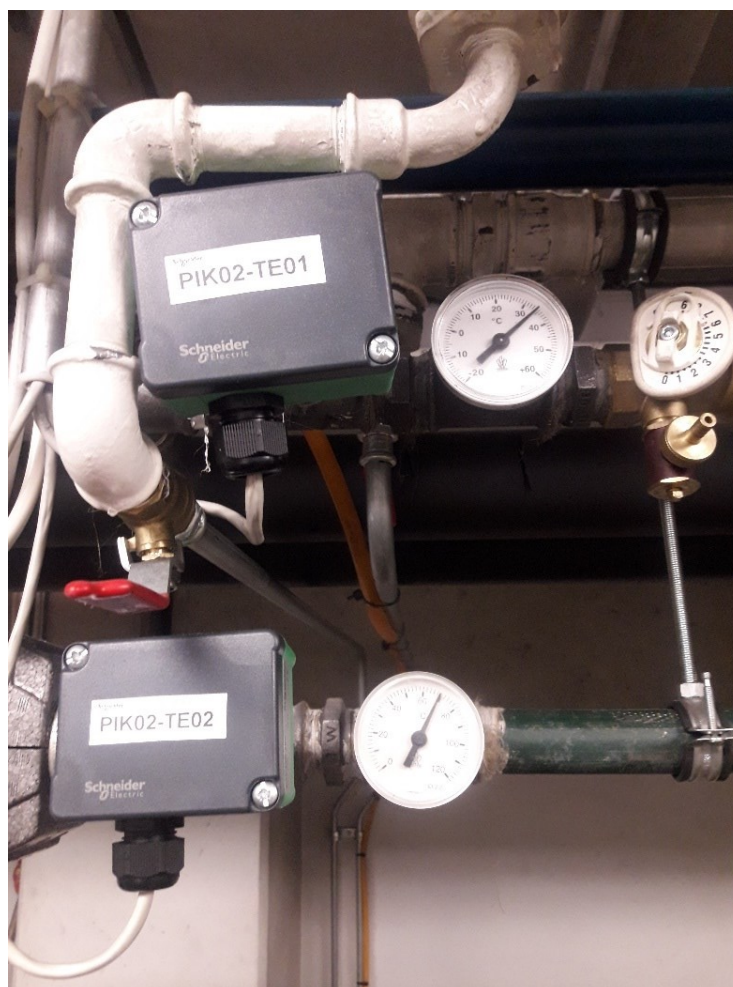


KUVA 24. Kuvassa näkyy että kompressori sijaitsi jo aika lähellä lämpöputkia. (Hyvärinen 2022.)

Järjestelmässä on antureita mitkä tarkkailevat sen toimintaa ja osa näistä on nähtävissä valvomossa olevassa kaaviossa (KUVA 25). Pumpulle ei kuitenkaan ole rakennettu kauko-ohjausta tai minkäänlaista etähallinta järjestelmää, jonka vuoksi jos siihen halutaan tehdä säätöjä, täytyy mennä paikan päälle hoitamaan säädöt laitteesta itsestään.

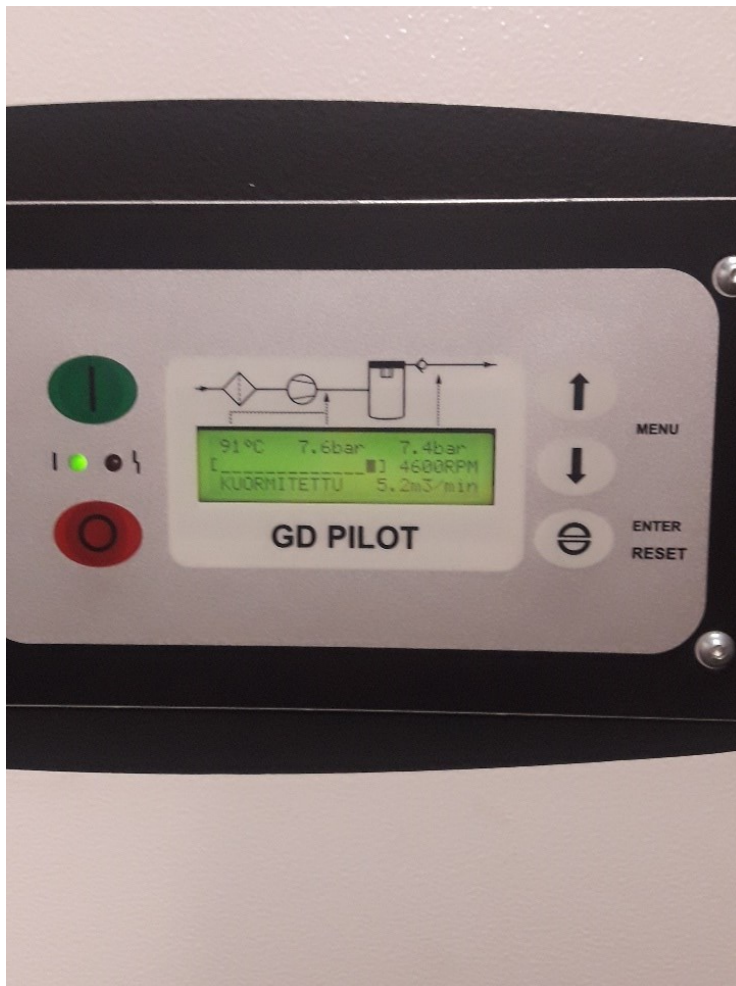


KUVA 25. Kuvassa näkyy valvomon näkymä lämmöntalteenottojärjestelmästä. Huom! kuvassa oleva hälytys on juuri aikaisemmin mainittu manuaaliohjauksella oleva pumppu. (Hyvärinen 2022.)



KUVA 26. Kuvassa näkyy lämpötilojen mittauskohdat. (Hyvärinen 2022.)

Kuvassa 26 ylempi putki on kompressorille menevää viileämpää vettä ja alempi on kompressorilta tuleva putki joka sisältää lämmintä vettä kuten kuvassa olevista lämpömittareista näkyy.



KUVA 27. Kuvassa näkyy ruuvikompressorin yksikössä oleva ohjauspaneeli. (Hyvärinen 2022.)

Kuvassa 27 ylävasemmalla näkyvä lämpötila on kompression jälkeinen ilmanlämpötila, sen oikealla puolella oleva painelukema on kompression jälkeinen paine ja oikeassa laidassa oleva painelukema on järjestelmässä oleva painemäärä.

4 LÄMMÖNTALTEENOTON SÄÄSTÖN LASKEMINEN

Tässä osiossa lasketaan lämmöntalteenoton ansiosta koituvat säästöt. Koska järjestelmä ei ole ollut vielä pitkään käytössä eikä ole saatavilla tarkkaa tietoa kaikista kohdista täytyy lukea laittaa arviolta ja laskea keskiarvojen mukaan joitain kohtia laskelmissa.

4.1 Säästöt lämmöntalteenotosta

Kyseessä oleva kompressori on Gardner Denver ruuvikompressori VS 29, jonka nimellisteho on 30 kW ja tästä saadaan korkeintaan 19,7 kW lämpöenergiaa talteen, koska se on lämmönvaihtimelle valmistajan ilmoittama maksimi.

Vuodessa käyttötunteja kompressorille kertyy paljon lukuunottamatta mahdollisia huoltoja tai sähkökatkoja, tehdas käy keskeytymättömässä kolmivuorotyössä viikot läpeensä ja verkkokoneiden tarvitsema paineilman määrä on suuri. Tarkkaa käyttöastetta kompressorille ei ole tiedossa, mutta kuulemani perusteella arvioidaan olevan 90 %. Koska ilmankäyttö tehtaalla on jatkuvaa ja tasaista, nämä ottaen huomioon kompressori olisi päällä 7776 tuntia vuodessa.

Seuraavaksi pitää arvioida lämmityksen tarve vuodessa, tästäkään ei ole olemassa tarkkaa tietoa, arviolta ettei kesäaikaan ole tarvetta lämmittää ainakaan hirveän paljoa ja koska tämä arvio on parempi laittaa alakanttiin niin arvioidaan, että 5 kuukautena vuodessa ei juurikaan tarvitse lämmitystä. Kun nämä 5 kuukautta vähentää kompressorin käynti tunneista saadaan kompressorista hyödynnettävät lämmöntalteenotto tunnit, eli $7776 \text{ h} - 3240 \text{ h} = 4536 \text{ h}$.

Nyt on arviolta tiedossa kompressorista talteenotettava lämpöteho ja vuodessa hyödynnettävät käyttötunnit, joten näistä voidaan laskea vuodessa säästettävä lämpöenergian määrä kertomalla käyttöön saatava lämpöenergia käyttötunneilla eli

$$19,7 \text{ kW} * 4536 \text{ h/a} = 89.359,2 \text{ kWh/a} \qquad \approx 89,36 \text{ MWh/a (1)}$$

Säästöjen saamiseksi täytyy myös tietää mihin verrata. Tässä tapauksessa vertaamiseen käytetään kevytpolttoöljyä, koska kaikki muu lämmitys tapahtuu sillä. Kevytpolttoöljyn hinta on ollut rajussa nousussa esimerkiksi vuoden ajalta hinnat:

21.6.2021 öljyn hinta oli 0,78 €/l

21.12.2021 öljyn hinta oli 0,92 €/l

21.5.2022 öljyn hinta oli 1,30 €/l

Koska järjestelmä on ollut jo vähän aikaa käytössä ja tarkoitukseni on laskea takaisinmaksuaikaa, käytetään nyt tähän laskemiseen näistä luvuista keskiarvoa loppulaskennassa, joka on 1.00 €/l ja koska lämmitys tapahtuu öljyä polttamalla on tällä kattilalla hyötysuhde, joka vaihtelee 90% ja 95% vaiheilla. Käytän 90%, koska se on varmempaa. Lopuksi yksi litra polttoöljyä sisältää 9,861 kWh energiaa. Nämä asiat yhdistelemällä voidaan laskea kustannus säästö

$$89.359,2 \text{ kWh/a} / (0,9 * 9,861 \text{ kWh/l}) * 1,00 = 10.068,76 \text{ €/a.}$$

(KAESER Julkaisuaika tuntematon.)

Nyt on tiedossa paljonko säästöä kertyy vuodessa lämmöntalteenotosta ja laitteen hinta- ja asennuskustannukset ovat tiedossa, voidaan laskea suora takaisinmaksuaika järjestelmälle.

Tämä tapahtuu jakamalla laitteiston hinta vuotuisilla säästöillä

$$\mathbf{2500 \text{ €} / 10.068,76 \text{ €/a} = 0,248 \text{ a}}$$

Koska takaisinmaksuaika on 0,248 vuotta eli noin 2 kuukautta ja 29 päivää niin on todettavissa hyvin nopea takaisinmaksuaika kuten oli jo arvioitu aiemmin ja itseasiassa, koska laite maksaa itsensä takaisin näinkin nopeasti on laskettava uusi takaisinmaksuaika koska öljyn hinta ei kerkeä nousta laskussa olevan takaisinmaksuajan aikana laskussa olevan arvon tasoiseksi. Suoritetaan laskenta uudella öljyn hinnalla 0,92 €/l koska tämä hinta sopii paremmin tämän laitteen takaisinmaksuaikaan. Tämä muuttaa vuotuisen säästön 9.263,26 €/a. Tämän uuden säästön perusteella takaisinmaksuaika olisi 0,270 vuotta eli noin 3 kuukautta ja 7 päivää.

5 POHDINTA

Kompressorin lämmöntalteenottojärjestelmä otettiin käyttöön viimevuoden loppupuolella, joten tämän työn tekoaikaan ei vielä ollut kaikkea tarvittavaa tietoa tarkasti saatavilla mutta riittävän hyvin tiedossa, että pystyi arvioimalla laskemaan hyvin suuntaa antavan arvon.

Tässä tapauksessa, kun laitteisto maksaa itsensä takaisin näinkin nopeasti säästöä alkaa muodostumaan jo ensimmäisen vuoden aikana merkittäviä määriä näiden arvioiden mukaan. Todellisia säästömääriä ei saa muuta kuin asentamalla mittarin, joka mittaisi ja tallentaisi laitteesta ulos saatua lämpötehoa. Tällaista mahdollisuutta ei nykyisessä järjestelmässä ole asennettuna.

Laskujen perusteella ja lähdemateriaaliin tutustumisen aikana pystyi nopeasti huomaamaan, että lämmöntalteenotto kompressoreista on todella kannattavaa ja ympäristöystävällinen vaihtoehto jos kompressori on teholtaan useita kymmeniä kilowatteja, kovalla käytöllä tai jos se rupeaa auttamaan öljy- tai maakaasu lämmitteistä järjestelmää. Etenkin nykyhinnoilla ja hinnannousu tahdilla ja kuten tässä tapauksessa, kun kaikki ovat nousussa.

LÄHTEET

ALUP. Julkaisuaika tuntematon. Ruuvikompressori. Verkojulkaisu
<https://www.alup.com/fi/ruuvikompressori>. Viitattu 14.6.2022.

Atlas Copco a. Julkaisuaika tuntematon. Scroll-kompressori. Verkojulkaisu.
<https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/scroll-compressors>.
 Viitattu 14.6.2022.

Atlas Copco b. Julkaisuaika tuntematon. Scroll-kompressori – hiljainen, kompakti ja öljytön kompressori. Verkojulkaisu. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/air-compressor-blog/scroll-compressors>. Viitattu 14.6.2022.

Atlas Copco c. Julkaisuaika tuntematon. Dynaamiset kompressorit: Keskipakois- ja aksiaalikompressorit. Verkojulkaisu. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/dynamic-compressors>. Viitattu 14.6.2022.

engineeringlearn a. Julkaisuaika tuntematon. Centrifugal Compressor: Definition, Types, Working Principle, Components, Applications, Advantages & Disadvantages. Verkojulkaisu.
<https://engineeringlearn.com/centrifugal-compressor-definition-types-working-principle-components-applications-advantages-disadvantages/>. Viitattu 14.6.2022.

engineeringlearn b. Julkaisuaika tuntematon. 7 Types of Air Compressor – Definition, Uses & Working Principle. Verkojulkaisu. <https://engineeringlearn.com/air-compressor-types-and-working-principle/>. Viitattu 14.6.2022.

GARDEN DENVER. Julkaisuaika tuntematon. GD Pilot Electronics käyttöopas. 1. Viitattu 14.6.2022.
 GARDEN DENVER. Julkaisuaika tuntematon. GDD4S-GDD100S ilmankuivaimen manuaali. SPE 004-100.indb. pdf tiedosto. Viitattu 14.6.2022.
 GARDEN DENVER. Julkaisuaika tuntematon. HEAT RECOVERY SYSTEM Technical Data. TIS ESM_VS 23-29-HR_rev0_2012-10-22. pdf tiedosto. Viitattu 14.6.2022.

GARDEN DENVER. Julkaisuaika tuntematon. pdf tiedosto 23-29
 19605_26_11_15_ESM_23_29_VS_23_29_SERIES_REF_688_ENGLISH.pdf. Viitattu 14.6.2022.
 GARDEN DENVER. Julkaisuaika tuntematon. Ruuvikompressori ESM 23 - ESM 29 VS 23 - VS 29 käyttöopas. 1 Viitattu 14.6.2022.

Hyvärinen, Ville. 2022. Omalla puhelimella otetut kuvat. jpg tiedosto. Viitattu 14.6.2022.

ipieca. Julkaisuaika tuntematon. Heat Exchangers. Verkojulkaisu
<https://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-solutions/efficient-use-of-heat/heat-exchangers/>. Viitattu 14.6.2022.

KAESER. Julkaisuaika tuntematon. Lämmön talteenotto ja hyödyntäminen lämmityksessä ja lämpimän veden tuotannossa. pdf tiedosto. <https://fi.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:24-5939>. Viitattu 14.6.2022.

Maalämpöfoorumi. Julkaisuaika tuntematon. scroll kompressorin sielunelämää. Verkojulkaisu.
<https://www.maalampofoorumi.fi/index.php?topic=6855.0> Viitattu 14.6.2022.

MOTIVA. Julkaisuaika tuntematon. Energiakatselmoijan käsikirja osa 3. pdf tiedosto.
<http://www.motiva.fi/files/1720/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-3-2-A.pdf>. Viitattu 14.6.2022.

MOTIVA. Julkaisuaika tuntematon. Energiatehokas lämmönsiirto opas. pdf tiedosto.
https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf. Viitattu 14.6.2022.

popularmechanics. 18.3.2015 How It Works: The Air Compressor. Verkkajulkaisu.
<https://www.popularmechanics.com/home/how-to/a151/how-air-compressors-work/>. Viitattu 14.6.2022.

Santorpack. Julkaisuaika tuntematon. mäntäkompressor. Verkkajulkaisu.
<https://santorpack.ru/fi/dizajjn-vannojj/zachem-nuzhny-porshnevyh-kompressory-primenenie-porshnevyh-kompressorov-na.html>. Viitattu 14.6.2022.

saVRee. Julkaisuaika tuntematon. Shell and Tube Type Heat Exchanger. Verkkajulkaisu.
<https://savree.com/en/encyclopedia/shell-and-tube-type-heat-exchanger>. Viitattu 14.6.2022.

SPX COOLING TECHNOLOGIES. Julkaisuaika tuntematon. Marley Cooling Tower Basic Control System Manual - Non Current. Verkkajulkaisu. <https://www.spxcooling.com/library/marley-cooling-tower-basic-control-system-manual-non-current/>. Viitattu 14.6.2022.

SWEP. Julkaisuaika tuntematon. B25THx30/1P-SC-S. Verkkajulkaisu
<https://www.swep.net/products/b25t/>. Viitattu 14.6.2022.

TECHINFUS. Julkaisuaika tuntematon. Ruuvikompressorien tyypit ja niiden edut. Verkkajulkaisu.
<https://fi.techinfus.com/dlya-sada/kompressor/vintovoj.html>. Viitattu 14.6.2022.

TheEngineeringmindset. Julkaisuaika tuntematon. How Plate Heat Exchangers Work. Verkkajulkaisu.
<https://theengineeringmindset.com/how-plate-heat-exchangers-work/>. Viitattu 14.6.2022.

Wilo. Julkaisuaika tuntematon. Data sheet: Wilo-Stratos ECO 25/1-5-BMS. pdf tiedosto.
<https://www.luckinslive.com/data/af0dc8ac-042f-4520-a97a-048c20ef37e0/bb047510-bd3e-43b7-9dd3-f278dbd88e7c.PDF>. Viitattu 14.6.2022.