

Juho Koivuharju

LEVY- JA PUTKILÄMMÖNSIIRTIMET LAIVAKÄYTÖSSÄ

Opinnäytetyö
Merenkulun insinööri

Maaliskuu 2016



KYAMK
University of Applied Sciences

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Juho Koivuharju	Merenkulun insinööri	Maaliskuu 2016
Opinnäytetyön nimi		
Levy- ja putkilämmönsiirtimet laivakäytössä		46 sivua 1 liitesivua
Toimeksiantaja		
Kyamk.		
Ohjaaja		
Lehtori Ari Helle		
Tiivistelmä		
<p>Tässä opinnäytetyössä käydään läpi yleisimpiä laivoilla käytettäviä lämmönsiirtimiä, keskittyen kuitenkin levy- sekä putki- ja vaippalämmönsiirtimiin. Tarkoituksena on saada lukija ymmärtämään erilaisten lämmönsiirtimien toimintaperiaatteita, lämmönsiirtymismekanismeja, rakenteita, valmistusmateriaaleja, käytettäviä väliaineita, puhdistustoimenpiteitä, huoltotoimenpiteitä, joitakin korjaustoimenpiteitä sekä kuinka lämmönsiirrinten kanssa toimitaan ja mitä ne vaativat käyttäjältään.</p> <p>Lähdemateriaalina on pääsääntöisesti käytetty englanninkielistä lämmönsiirtimiin keskittyvää kirjallisuutta, eri lämmönsiirrinvalmistajien internetsivustoja sekä muutamaa suomen kielellä kirjoitettua teosta.</p> <p>Vuotojen paikantamista ja korjaustoimenpiteitä käsittelevää kirjallista lähdemateriaalia oli vaikea löytää ja osa työssä esitetyistä toimenpiteistä on kirjoittajan omiin tai muiden, lämmönsiirtimien kanssa työskennelleiden henkilöiden kokemukseen pohjautuvia menetelmiä.</p>		
Asiasanat		
Putki ja vaippalämmönsiirrin, levylämmönsiirrin, lämmönsiirtyminen, merenkulku		

Author (authors) Juho Koivuharju	Degree Bachelor of Marine Technology	Time 2016
Thesis Title Tube and Plate Heat Exchangers in Marine Use		46 pages 1 appendix page
Commissioned by Kyamk.		
Supervisor Ari Helle, Senior Lecturer		
Abstract <p>The subjects of this thesis are various types of heat exchangers, and research is focused only common plate and tube heat exchangers on ships. The aim was to familiarize readers to operating principles, heat transfer actions, manufacturing materials, exchanger fluids, maintenance and repair procedures, and instruct how to operate with this types of heat exchangers, and what they require for operator.</p> <p>The source material for this thesis was gathered on written literature and various heat transfer internet sites.</p> <p>Exact information for maintenance and repair procedures was difficult to find, and some of the recommended procedures based on the author`s own experience.</p>		
Keywords Shell and Tube Heat Exchanger, Plate Heat Exchangers, Heat Transfer, Seafaring		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LÄMMÖNSIIRTIMET JA LAIVOJEN LÄMMÖNSIIRTOTARPEET.....	6
2.1	Lämmönsiirtyminen.....	12
2.1.1	Johtuminen	13
2.1.2	Säteily	14
2.1.3	Konvektio	15
2.2	Virtaussuunnat.	16
2.2.1	Vastavirtaus	16
2.2.2	Ristivirtaus	17
2.2.3	Myötävirtaus	18
2.3	Virtaustyypit.....	18
2.3.1	Laminaarinen virtaus	19
2.3.2	Turbulenttinen virtaus	19
3	LEVYLÄMMÖNSIIRTIMET	20
3.1	Lämmönsiirtolevyt.....	21
3.1.1	V-profiili	22
3.1.2	Pyykkilauta profiili.....	23
3.2	Tiivisteelliset levylämmönsiirtimet	24
3.2.1	Tiivisteet	25
3.3	Puolihitsatut ja hitsatut levylämmönsiirtimet	26
3.4	Kovajuotetut levylämmönsiirtimet	27
4	LEVYLÄMMÖNSIIRTIMIEN VUOTOJEN PAIKANTAMINEN JA KORJAUS	28
5	PUTKI JA VAIPPALÄMMÖNSIIRTIMET.....	28
5.1	Kaksoisputkilämmönsiirrin	30
5.2	Suoraputkilämmönsiirrin	31
5.3	U-putkilämmönsiirrin	33
6	PUTKILÄMMÖNSIIRTIMIEN VUOTOJEN PAIKANNUS JA KORJAUS.....	33
7	LÄMMÖNSIIRTIMEN LIKAANTUMINEN.....	37
7.1	Likaantumisen mekanismit ja vaikutukset.....	38

8	LÄMMÖNSIIRTIMEN PUHDISTAMINEN	39
8.1	Vastavirtahuuhtelu	39
8.2	CIP, Cleaning-in-Place	40
8.3	Mekaaninen puhdistaminen ja korkeapainepesu	41
8.4	Liuottaminen	43
8.5	Ultraäänipesu.....	44
9	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET.....	46
	KUVALUETTELO	47
	LIITTEET	
	Liite 1. Kuvaluettelo	

1 JOHDANTO

Tässä työssä käydään läpi kauppalaivoilla yleisimmin käytettäviä lämmönsiirrinsovelluksia. Pääasiassa keskitytään erilaisiin levy ja putkilämmönsiirrinmalteihin, niiden jaotteluperusteisiin, toimintamekanismeihin, rakenteeseen, valmistusmateriaaleihin, käyttökohteisiin, likaantumiseen, huolto ja korjaus toimenpiteisiin, sekä joihinkin niissä käytettäviin väliaineisiin. Tässä työssä käsiteltävät lämmönsiirtimet ovat vain suppea katsaus maailmalta löytyvistä erityyppisistä lämmönsiirtimistä ja lämmönsiirtosovelluksista, johtuen lämmönsiirtimien ja lämmönsiirtoprosessien lukemattomasta määrästä.

Erityyppisiä lämmönsiirtimiä on käytössä jokaisella teollisuuden alalla ja useat arkipäiväiset kodinkoneetkin tarvitsevat lämmönsiirtimiä toimiakseen. Esimerkkinä voidaan mainita pienet tietokoneissa käytettävät jäädyttimet tai suuret ydinvoimalaitoksien jäädytintornit. Riippumatta lämmönsiirtimien fyysisestä koosta voi niiden toiminta olla erittäin kriittisessä asemassa jonkin toisen laitteen tai järjestelmän toiminnassa.

2 LÄMMÖNSIIRTIMET JA LAIVOJEN LÄMMÖNSIIRTOTARPEET

Lämpö on energiaa, joka syntyy atomien ja molekyylien värähtelystä. Lämpöä on mahdotonta muuttaa kokonaisuudessa joksikin toiseksi energian muodoksi, mikä tekee siitä poikkeavan muihin energiamuotoihin verrattuna. Muut energian muodot on mahdollista muuttaa, myös lämmöksi (1.)

Mekaanisissa laitteissa kitka synnyttää lämpöä, myös kemialliset reaktiot voivat synnyttää lämpöä (1). Tätä syntynyttä lämpöenergiaa pyritään hyödyntämään ja siirtämään sellaisiin kohteisiin ja laitteistojen tarpeisiin, joihin muuten tarvittaisiin jokin lämpöä synnyttävä komponentti. Lämmönsiirtimillä voidaan siirtää jo olemassa oleva, jonkin laitteiston sivutuotteena syntynyt lämpöenergia kohteisiin, joihin muutoin jouduttaisiin tuottamaan uutta lämpöenergiaa. Lämmönsiirtimet tulevat useissa kohteissa huomattavasti halvemmiksi ja ovat kooltaan pienempiä kuin laitteistot, joilla muita energiamuotoja muutettaisiin lämmöksi.

Lämmönsiirtimet ovat energiatekniikan komponentteja, joita käytetään siirtämään lämpöenergiaa (entalpia) kahden tai useamman väliaineen välillä, kiin-

teän pinnan ja nesteen välillä tai kiinteiden hiukkasten ja nesteiden välillä, joskin eri lämpötiloissa ja lämpökosketuksessa. Käytettävät väliaineet voivat olla yksittäisiä yhdisteitä tai seoksia, ollen yleensä nesteitä, kaasuja tai höyryjä. Yleisimmin lämpöenergian siirto lämmönsiirtimissä tapahtuu ilman ulkoista lämmön tai työn vuorovaikutusta (2.)

Lämmönsiirtimien toiminta perustuu termodynamiikan nollas-pääsääntöön. Nollas-pääsäännön mukaan suljetussa systeemissä kaksi toisistaan erilämpötilassa olevaa kappaletta pyrkivät termiseen tasapainoon ollessaan kosketuksessa toisiinsa (3.)

Tyypillisimmin lämmönsiirtimiä käytetään eri teollisuuden aloilla esimerkiksi pastörointiin, tislaukseen, sterilointiin, jäähdytykseen, lämmitykseen, lauhduttamiseen, höyryttämiseen, lämpöenergian talteen ottamiseen ja siirtämiseen jostakin ainevirrasta toiseen eri systeemeistä. Laivoilla erityyppiset lämmönsiirtimet ovat käytössä aivan pienimmistä huvialuksista aina suurimpiin risteilijöihin ja muihin kauppa-aluksiin. Laivojen lämmönsiirtotarpeet vaihtelevat laivatyyppien ja laivojen koon mukaan. Pienimmissä huvialuksissa lämmönsiirtotarve on huomattavasti pienempää kuin suurissa kauppa-aluksissa, joissa niissäkin tarve vaihtelee huomattavasti riippuen aluksen suunnitellusta käytöstä ja laivatyyppistä.

Yleisimmät lämmönsiirtimien käyttökohteet laivatyyppistä riippumatta ovat kuitenkin koneistojen, polttoaineiden, voiteluöljyjen, käyttöveden ja ilmastointien lämmitykset tai jäähdytykset (2.)

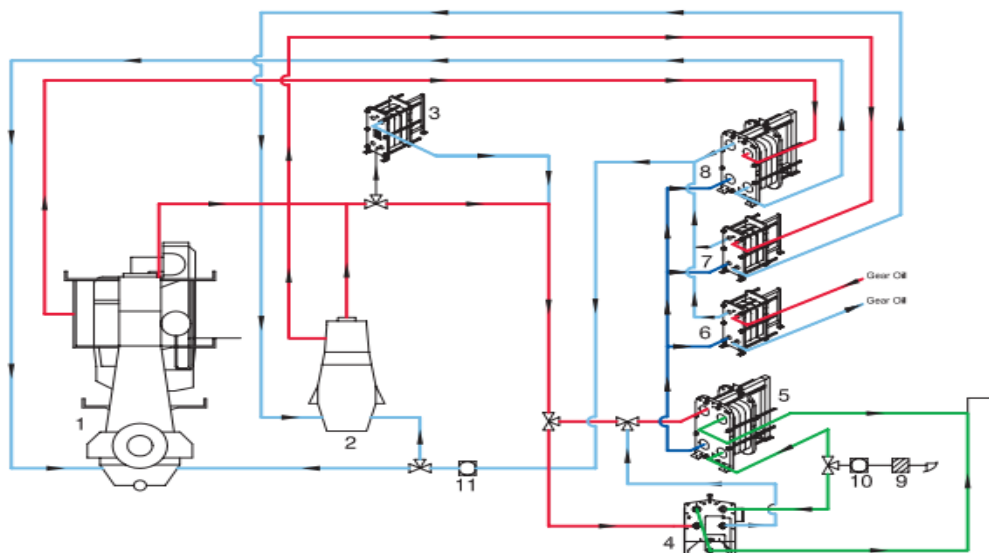
Yleisimmin aluksilla lämmönsiirtimiä käytetään nesteiden tai nesteiden ja kaasujen väliseen lämpöenergian siirtoon, kuten esimerkkinä voidaan mainita raskasta polttoöljyä voimanlähteenä käyttävän laivan tarve nostaa polttoaineen lämpötilaa varastointilämpötilasta käyttölämpötilaan. Yleisimmin se tapahtuu lämmönsiirtimellä, jossa lämpöenergiaa luovuttavana väliaineena toimii laivan höyrykattilassa tuotettu höyry, mistä lämpöenergia siirretään lämmönsiirtimen välityksellä polttoaineeseen.

Laivoilla useat eri koneet ja koneikot tuottavat tai tarvitsevat toimiakseen lämpöenergiaa. Kuten aiemmin mainittiin, lämmönsiirtimet soveltuvat jäähdyttämään ja kuljettamaan syntynyttä lämpöenergiaa eri kohteiden väillä. Niiden tehtävät voivat vaihdella sovelluksista riippuen hyvinkin kriittistä sellaisiin, jois-

sa niiden toiminta ei ole ensisijaisen tärkeää aluksen turvallisen kulun kannalta, mutta joiden avulla voidaan alentaa aluksen käyttökustannuksia ja parantaa käytettävyyttä.

Tällaiset lämmönsiirtosysteemit vaihtelevat hyvin yksinkertaisista järjestelmistä monimutkaisiin kokonaisuuksiin. Monimutkaisimmissa kokonaisuuksissa, käytettävillä väliaineilla voi olla useita eri tehtäviä ympäri piiriä, niin että toisaalla piirissä väliaine vastaanottaa lämpöenergiaa ja jäähdyyttää jotakin kriittistä laitetta ja toisaalla sama väliaine luovuttaa vastaanottamansa lämpöenergian edelleen jonkin toisen laitteen käyttöön ja näin parantaa aluksen käyttökustannuksia.

Edellä mainitut piirit voivat olla joko suljettuja tai avoimia. Ymmärtääksemme tällaisen useamman eri koneikon ja monen lämmönsiirtimen muodostavan kokonaisuuden, voidaan tarkastella kuvaa (kuva 1) jonkin laivan lämmönsiirtojärjestelmästä, jossa useita laitteita on yhdistettynä samaan piiriin niin, että joko sivutuotteena syntyvää lämpöenergiaa voidaan hyödyntää jonkin toiseen komponentin toiminnassa ja toisaalta saadaan lämpöenergiaa luovuttavat väliaineet jäähdytettyä ja johdettua uudelleen kiertoon (5.)



- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1. Main Engine | 7. Lubricating Oil Cooler, Auxiliary Engine |
| 2. Auxiliary Engine | 8. Lubricating Oil Cooler, Main Engine |
| 3. Heat exchanger for Central Heating | 9. Seawater Filter |
| 4. Freshwater Generator | 10. Seawater Pump |
| 5. Central Cooler | 11. Freshwater Pump |
| 6. Gear Oil Cooler | |

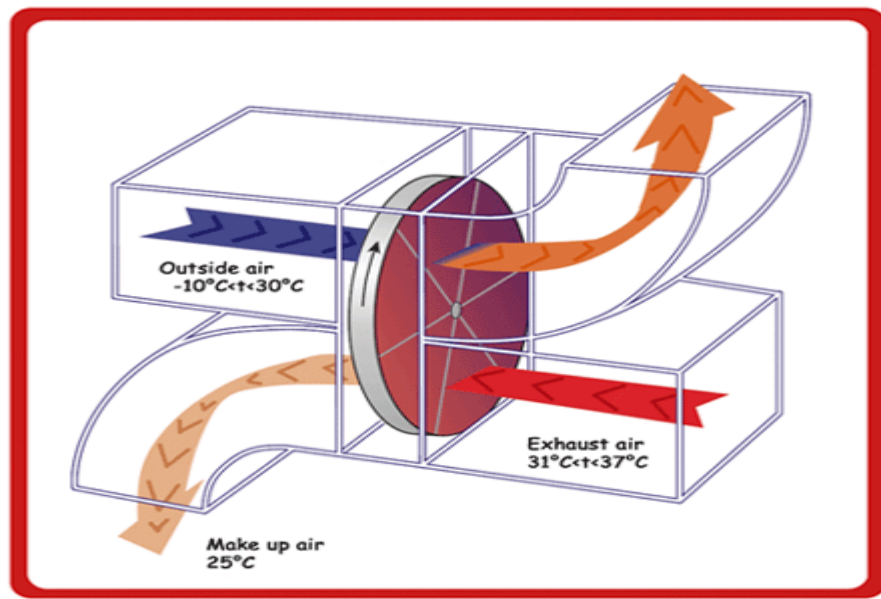
Kuva1. Jonkin laivan merivesijäähdytys järjestelmä.

Vaikka kaikilla lämmönsiirtimillä on sama funktio, lämpöenergian siirtäminen, voivat niiden rakenteet ja toiminta vaihdella suuresti toisistaan. Lämmönsiirtimet voidaan jakaa useiden niiden toiminnallisten ja rakenteellisten ominaisuuksien mukaan erilaisiin pääryhmiin. Nämä pääryhmät voidaan jakaa vielä alaryhmiin käyttökohteiden, väliaineiden, lämmönsiirtymismekanismien ja useiden muiden toimintaan vaikuttavien tekijöiden mukaan.

Ensimmäiseksi lämmönsiirtimet voidaan jakaa jatkuvatoimisiin tai jaksottaisesti toimiviin lämmönsiirtimiin. Jaksottaisesti toimivissa lämmönsiirtimissä väliaineiden virtaukset ovat jaksottaisia niin, että lämpöenergia ei siirry suoraan lämmönsiirtopinnan läpi, vaan yleensä luovuttava väliaine kulkee jonkin tilan läpi, kosketuksessa lämmönsiirtopintoihin tai varaajaan, jolloin lämpöenergia siirtyy näihin lämmönsiirtopintoihin tai varaajaan. Lämpöenergian luovuttamisen jälkeen väliaine johdetaan pois ja tilalle ajetaan vastaanottava väliaine. Toisin sanoen sekä luovuttava että vastaanottava väliaine eivät virtaa yhtäaikaisesti tämän tyyppisessä lämmönsiirtimessä, vaan jaksottaisesti samassa tilassa (2.)

Tällaisissa sovelluksissa käytettävät väliaineet pääsevät yleensä hieman sekoittumaan, eikä tämän tyyppinen lämmönsiirrin sovellu kohteisiin, joissa väliaineiden sekoittumattomuus on välttämättömyys laitteistojen toiminnalle. Tämän tyyppisiä lämmönsiirtimiä, joissa väliaineet liikkuvat samassa tilassa vuorotellen käytetään yleisimmin ilmastoinneissa, lämmittämään tai jäähdyttämään tuloilmaa (6.)

Pyörivä regeneraattori on malliesimerkki ilmastointilaitteissa käytettävästä varaavasta lämmönsiirtimestä. Lämmönsiirtimen pyörivän varaajan läpi johdetaan kierrosta palaavaa lämmintä ilmaa paluu kanavaa pitkin. Lämpöenergia siirtyy ilmasta osittain varaajaan, jonka jälkeen ilma johdetaan ulos. Kylmä ulkoilma johdetaan omaa kanavaa pitkin saman varaajan läpi, jossa lämpöenergia siirtyy kylmään ilmaan ja prosessin jälkeen, lämmennyt ilma johdetaan käyttökohteisiin. Koska sekä lämmin kierrosta palaava ilma ja ulkoa johdettu kylmä ilma kulkevat saman varaajan läpi, ei voida välttyä osittaiselta ilmojen sekoittumiselta (6.)



A diagram of a rotary heat exchanger, or "heat wheel" (From Uptime Technology BV)

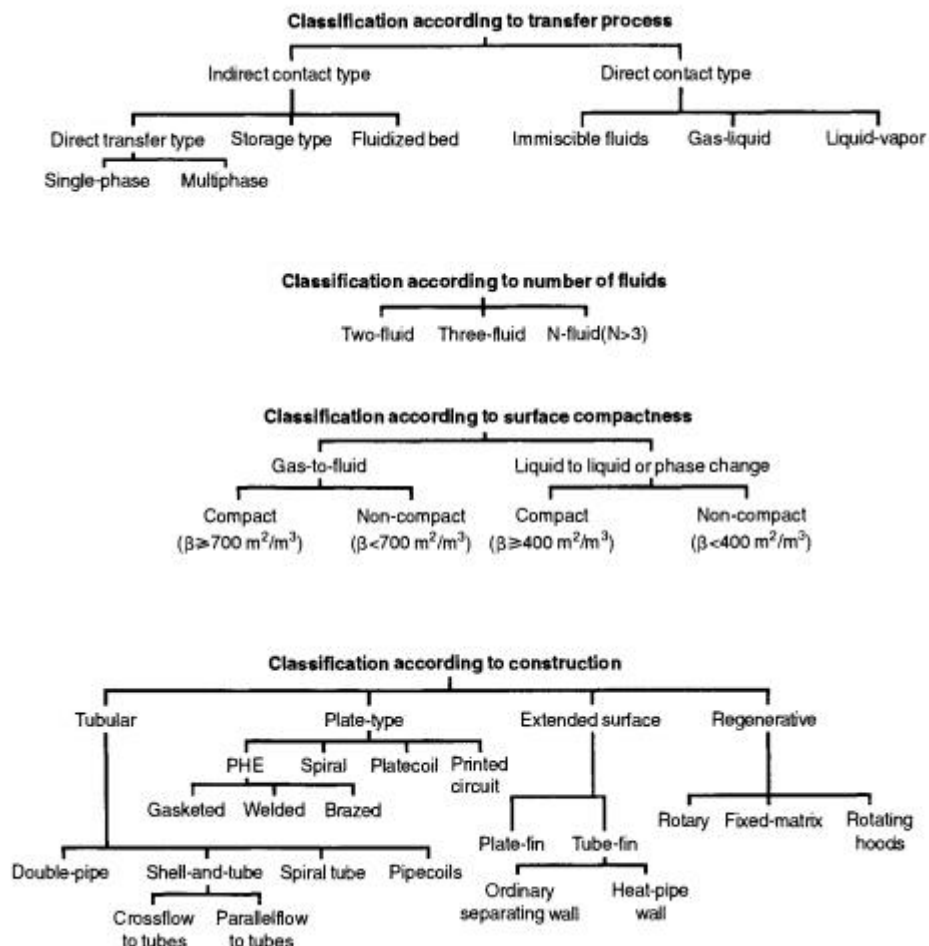
Kuva 2. Pyörivä regeneraattori.

Toisenlaisena esimerkkinä jaksottaisesti toimivasta lämmönsiirtimestä voisi käydä joissakin laivatyypeissä käytettävä kattilaveden kuumakaivo. Kuumakaivoon tuodaan epätasaisina virtoina kylmää uutta vettä syöttövesisäiliöstä, sekä lauhduttimien kautta kierrosta palautuvaa höyryä lauhteena. Kuumakaivossa sekä uusi, että vanha kattilavesi ovat, kosketuksessa toisiinsa ja lämpöenergia pyrkii tasaantumaan aineiden välillä. Koska höyrynkulutus ei yleensä ole tasaista, vaihtelee palautuvan lauhteen määrä ja tästä syystä kylmemmän veden ja lauhteen määrät vaihtelevat kuumakaivossa. Myöskään lämpötila ei pysy vakiona ja yleensä kuumakaivot on varustettu termostaattiventtiilein ohjatuilla lämmityshöyrylinjoilla, jotta tilanteessa jossa lauhdetta ei ole riittävästi saatavana, saadaan kaivossa olevan veden lämpötila pidettyä valitussa arvossa. Kuumakaivo onkin oikeastaan sekä jaksottaisesti toimiva suorankontaktin, että epäsuorankontaktin lämmönsiirrin, jossa prosessiin osallistuu kolme väliainetta, kylmä uusivesi, kuuma kierrosta palaava vesi eli lauhte, sekä lämmitys linjoissa kiertävä höyry.

Myöskään tämän tyyppisissä lämmönsiirtimissä ei väliaineiden sekoittumiselta voida välttyä ja tästä syystä niiden käytettävyys rajoittuu vain sellaisiin soveluksiin, joissa väliaineiden sekoittumisella ei ole vaikutusta muiden laitteistojen toimintaan. Tällaisia jaksottaisesti toimivia lämmönsiirtimiä ovat edellisten lisäksi esimerkiksi polttoilman esilämmittimet ja jäähdytystornit masuunilaitoksissa.

Jatkuvatoimiset lämmönsiirtimet voidaan jakaa vielä kontaktilämmönsiirtimiin, joissa eri lämpötilan omaavat väliaineet ovat suorassa kosketuksessa toisiinsa tai epäsuoriin lämmönsiirtimiin, joissa väliaineet erotetaan väliseinillä. Jatkuvatoimisissa epäsuorankontaktin lämmönsiirtimissä väliaineet erottavat seinämät toimivat myös lämmönsiirtimen lämmönsiirtopintoina.

Jatkuvatoimisissa lämmönsiirtimissä väliaineet pyritään saamaan virtamaan yhtäaikaaisesti tasaisilla virtausnopeuksilla. Näin lämpöenergian siirtyminen on keskeytymätöntä väliaineiden välillä koko käyntiprosessin ajan. Esimerkiksi levy- ja putkilämmönvaihtimet ovat jatkuvatoimisia epäsuoran kosketuksen lämmönsiirtimiä, vaikkakin ovat rakenteeltaan täysin erilaisia keskenään. Eri-tyyppisiä lämmönsiirtimien jakoperusteita voidaan tarkastella kuvasta 3.



Kuva 3. Lämmönsiirtimien jaottelu.

2.1 Lämmönsiirtyminen

Kuten aiemmin mainittiin, on lämpöenergia molekyylien ja atomien liikettä josakin aineessa. Kahteen erilämpöiseen kappaleeseen sitoutuneet lämpöenergiat pyrkivät tasaantumaan niin, että lämpöenergia siirtyy aina kuumasta aineesta kylmempään niin pitkään, että kappaleiden tai aineiden välillä ei enää ole lämpötilaeroa. Kappaleiden sitomat lämpöenergian määrät eivät silti ole välttämättä samat. Tämä johtuu siitä, että kaikilla aineilla, kiinteistä nesteisiin ja kaasuihin on ominaislämpökapasiteetit, mikä tarkoittaa, että riippuen aineen massasta, lämpötilaerosta, vallitsevasta paineesta sekä olomuodosta, vaihtelee aineen kyky sitoa lämpöenergiaa. Samassa lämpötilassa oleva 1 kilogramman painoinen metallikappale sitoo vähemmän lämpöenergiaa, kuin 2 kilogramman painoinen metallikappale. Lämpöenergian siirtyminen aineesta tai kappaleesta pois on sitä nopeampaa, mitä suurempi kappaleen ulkopuolella vallitseva lämpötilalämpötilaero on (7.)

Niin pitkään kuin aineeseen tuodaan energiaa ja sen olomuoto ei muutu, kohoaa sen lämpötila eli sisäenergia. Saavutettaessa piste, jossa kappaleen kyky siinä olomuodossa sitoa lämpöenergiaa lakkaa, pysähtyy myös aineen lämpötilan nousu. Edelleen lämmitettäessä kappaletta, vaikkakin sen lämpötilan nousu on keskeytynyt, jatkaa aineen sisäenergia kasvuaan ja aineen olomuoto alkaa muuttua, mikä ei kuitenkaan vaikuta aineen massaansa. Aineen täydellisen olomuodon muutoksen jälkeen, aineella on sille siinä olomuodossa uusi kyky sitoa lämpöenergiaa ja lämpötila voi jatkaa nousuaan (7.)

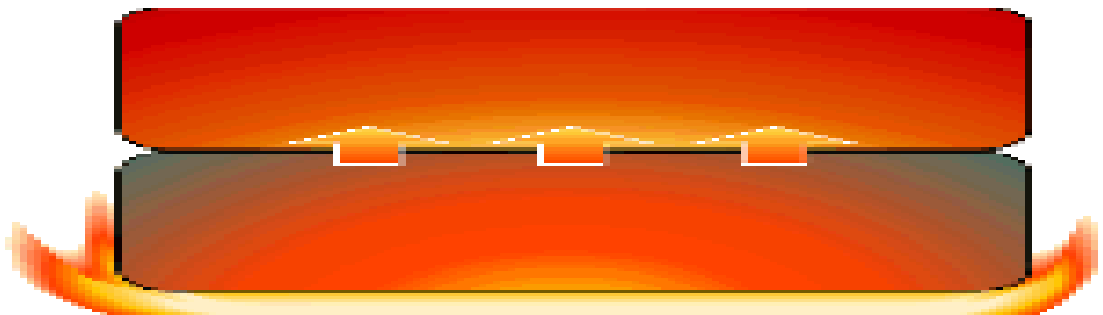
Esimerkiksi veden kiehumispiste on normaalissa ilmanpaineessa 100 celsiusastetta. Saavutettaessa tuo lämpötila alkaa vesi kiehua ja muuttua höyryksi. Veden lämpötila ei milloinkaan tuossa paineessa nouse yli sadan asteen. Veden muutettuaan olomuotonsa höyryksi voi lämpötilan nousu jatkua, joskin myös höyrynpaine nousee.

Lämpöenergia voi siirtyä aineiden välillä kolmella eri tavalla. Nämä tavat ovat johtuminen, säteily ja konvektio eli kulkeutuminen. Lämmönsiirtimissä lämpöenergia voi siirtyä kaikilla kolmella tavalla, yleisesti kuitenkin siirtyen johtuen ja konvektiolla. Lämpöenergian siirtyminen on palautumaton prosessi (1.)

2.1.1 Johtuminen

Lämmönsiirtymiseen johtumalla (konduktio) tarvitaan jokin kiinteä materiaali, levossa oleva neste tai kaasu, jonka sisällä johtuminen tapahtuu. Johtuminen voi tapahtua kappaleen sisällä ja kappaleesta ulos. Kappaleen sisällä lämpöenergia johtuu vain siinä tapauksessa, että kappaleessa on sisäisiä lämpötilaeroja (1.) Esimerkiksi jonkin kappaleen jotakin kohtaa lämmitettäessä alkaa kappaleeseen siirtyä lämpöenergiaa lämmönlähteestä. Lämmitettäessä kappaleen molekyyli rakenne muuttuu ja atomien liike nopeutuu lämmitettävässä kohdassa ja näin kappaleeseen syntyy sisäinen lämpötilaero. Atomien liike lämmitettävässä kohdassa on nopeampaa kuin kappaleen viileämissä kohdissa. Atomien törmäillessä toisiinsa kappaleen sisällä pyrkii lämpötilaero tasaantumaan niin, että atomien liike kappaleen jokaisessa kohdassa olisi yhtä nopeaa. Mikäli lämpöenergian siirtyminen kappaleesta pois estetään, jatkuu lämpötilan nousu ja atomien kiihtyvä liike siihen asti, että kappaleen ja sitä lämmittävän kohteen välillä ei enää esiinny lämpötilaeroa (6.)

Lämpöenergia voi myös johtua kappaleesta toiseen niin, että kappale on suorassa kosketuksessa toiseen aineeseen. Esimerkiksi seuraavan kaltaisessa tilanteessa, jossa lämmitetty kappale eristetään täysin niin, että kappaleen lämpötila pysyy vakiona siihen asti kuin eristekerros pysyy kappaleen ympärillä. Jos eriste poistetaan jostakin kohtaa kappaleen ympäriltä ja eristämättömään kohtaan asetetaan jokin toinen kappale, niin että kappaleet ovat suorassa kosketuksessa toisiinsa, alkaa kuumempaan kappaleeseen sitoutunut lämpöenergia johtua tästä eristämättömästä kohdasta kylmempään kappaleeseen niin pitkään, että kappaleet ovat samassa lämpötilassa toistensa kanssa (7.)



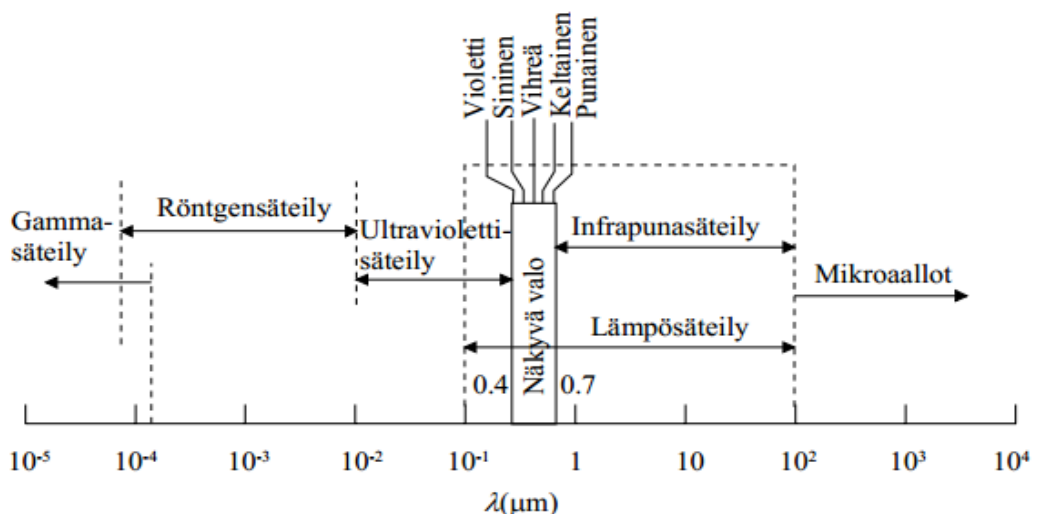
Kuva 4. Lämmönjohtuminen kappaleesta toiseen.

2.1.2 Säteily

Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä. Tyhjiössä oleva kappale ei voi luovuttaa lämpöenergiaa itsestään ulos konvektiolla eikä johtumalla. Tämä ei silti tarkoita, että kappale pysyisi vakio­lämpötilassa, mikäli kappaleen ja ympäristön välillä esiintyy lämpötilaero. Tyhjöä ympäröivän aineen tai materian lämpötilaerosta, verrattuna tyhjän sisällä olevaan kappaleeseen, pyrkii lämpöenergia säteilemällä siirtymään joko kappaleeseen tai siitä pois (1.)

Värähdellessään jossakin kappaleessa molekyylit ja atomit johtuvat kohti aineen kylmintä osaa, tässä tapauksessa kappaleen pintaa. Saavuttaessaan kappaleen pinnan nämä lämpöliikkeessä olevat molekyylit ja atomit lähettävät eri aallonpituuksilla olevaa säteilyä ja pyrkivät näin termiseen tasapainoon ympäristön kanssa (6.)

Kappaleen sisäenergian määrästä riippuen kappale lähettää eri aallonpituuksilla olevaa säteilyä. Aallon pituuksista riippuen voidaan lämpösäteily jakaa Infrapunasäteilyyn, ultraviolettisäteilyyn ja näkyvään valoon. Esimerkiksi auringosta maahan saapuvasta lämpösäteilystä noin puolet on infrapunasäteilyä, kymmenesosa ultraviolettisäteilyä ja loput näkyvää valoa. Säteilemällä siirtyvä lämpöenergia ei siis tarvitse siirtyäkseen välittäjäainetta, toisin kuin johtumalla ja konvektiolla siirryessään. Tästä johtuen lämpöenergia voikin siirtyä tyhjiössä ainoastaan säteilemällä (7.)



Kuva 5. Sähkömagneettisen säteilyn spektri.

2.1.3 Konvektio

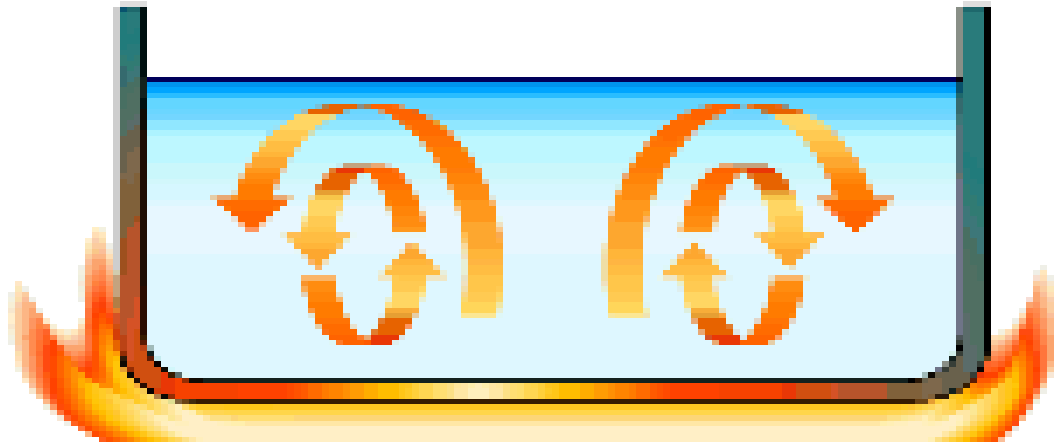
Konvektio eli kulkeutuminen poikkeaa muista lämmön siirtymisen muodoista siten, että materian tai aineen, jossa konvektio tapahtuu, pyrkii lämpöenergian lisäksi materia vaihtamaan paikkaa.

Jotta konvektio voisi tapahtua, täytyy aineen olla nestemäisessä tai kaasumaisessa muodossa. Kuten aiemmissa johtumista ja säteilyä koskevissa kappaleissa todettiin, lämmitettäessä jotakin ainetta sen molekyylit ja atomit virittyvät ja alkavat liikkua. Kappaleen sisäenergian kasvaessa, lämpötila pyrkii tasaantumaan samaan arvoon kaikkialla kappaleessa. Nesteissä ja kaasuissa tapahtuu myös näin. Lisäksi niissä tapahtuu aineen sisäistä siirtymistä, eli kulkeutumista, mitä kiinteissä aineissa ei niiden olomuodon vuoksi tapahdu (6.)

Kaikilla aineilla on niille ominainen tiheys, johon vaikuttaa, sekä vallitseva paine ja lämpötila. Aineita lämmitettäessä niiden tilavuus muuttuu, mikä suhteessa aineen massaan on aineen tiheys. Tiheyden muutos ei vaikuta aineen massaan.

Kiinteiden ja nestemäisten aineiden tilavuuden muutokset niiden lämpötilan muuttuessa ovat varsin vähäisiä verrattuna kaasumaisiin aineisiin. Tiheyden muutokset aineissa saavat aikaan sisäisiä virtauksia, mikä taas tekee lämmönsiirtymisestä tehokkaampaa pelkkään johtumiseen ja säteilyyn verrattuna.

Esimerkiksi lämmitettäessä vettä kattilassa hellalla, lämpenee kattilan pohjalla oleva vesi ensimmäisenä ja veden tiheys muuttuu lämmitessään niin, että verrattuna pinnalla olevaan viileämpään veteen, syntyy sisäisiä virtauksia ja lämmennyt vesi pyrkii nousemaan pintaan. Lämmentyneen ja viileämmän aineen sekoittumisen lisäksi vedessä tapahtuu myös sisäistä lämmönjohtumista, mistä syystä lämmönsiirtyminen nesteessä yhtäaikaisesti kulkeutumalla ja johtumalla on tehokkaampaa kuin ainoastaan johtumalla tapahtuva. Tällaisessa tapauksessa kulkeutuminen on niin sanottua luonnollista kulkeutumista tiheuseroista johtuen. Lämmönsiirtimissä käytetään myös, niin kutsuttua pakotettua konvektiota, joka eroaa luonnollisesta siten, että ainevirran liikkumista lämmönsiirtimen läpi avustetaan pumpuilla. Pumpun tehoa säätämällä voidaan vaikuttaa väliaineen virtausnopeuteen, millä taas on vaikutusta lämmönsiirtimen lämmönsiirtotehoon (7.)



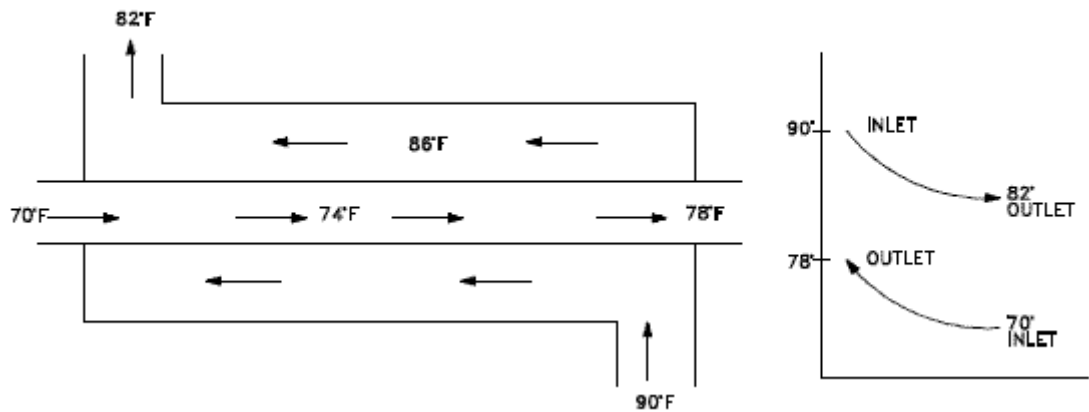
Kuva 6. Konvektio.

2.2 Virtaussuunnat.

Lämmönsiirtimissä virtaussuunnilla tarkoitetaan väliaineiden kulkusuuntia toisiinsa nähden lämmönsiirtimen sisällä. Levylämmönsiirtimissä sekä putki- ja vaippalämmönsiirtimissä voidaan käyttää kolmea eri väliaineiden virtaussuuntaa tai niiden yhdistelmiä. Nämä virtaussuunnat ovat vastavirtaus, ristivirtaus, sekä myötävirtaus. Putki- ja levylämmönsiirtimissä selvästi yleisintä on vastavirtaus ja ristivirtauksen käyttäminen. Toisaalta levylämmönsiirtimissä hyvin usein väliaineet johdetaan kulkemaan toisiinsa nähden niin, että sekä vastavirtaus että ristivirtaus vuorottelevat eri osissa lämmönsiirtintä (6.)

2.2.1 Vastavirtaus

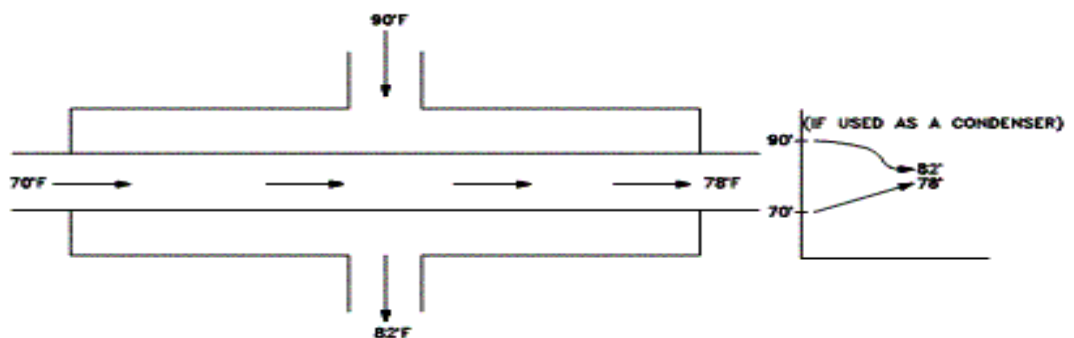
Vastavirtauksessa ainevirrat kulkevat toisiinsa nähden vastakkaisiin suuntiin, mikä mahdollistaa suurimman väliaineiden välisen lämpötilaeron lämmönsiirtimen joka kohdassa ja näin myös tehokkaimman lämmönsiirtymisen. Vastavirtauksessa lämpöä vastaanottavan aineen loppulämpötila voi olla suurempi kuin luovuttavan aineen lämpötila lämmönsiirtimen jälkeen. Yleisimmin sekä putki, että levylämmönsiirtimissä väliaineet johdetaan vastakkaisista päädyistä sekä lämmönsiirtimien sisään että ulos. Tällaisesta rakenteesta johtuen, sekä putki- että levylämmönsiirtimissä voidaan virtaussuuntia, myötä sekä vastavirtauksen osalta vaihtaa, muuttamalla toisen väliaineen kulkusuuntaa. Tämä mahdollistaa myös vastavirtahuuhtelumenetelmän käytön lämmönvaihtimen lämmönsiirtopintojen puhdistamisessa (8.)



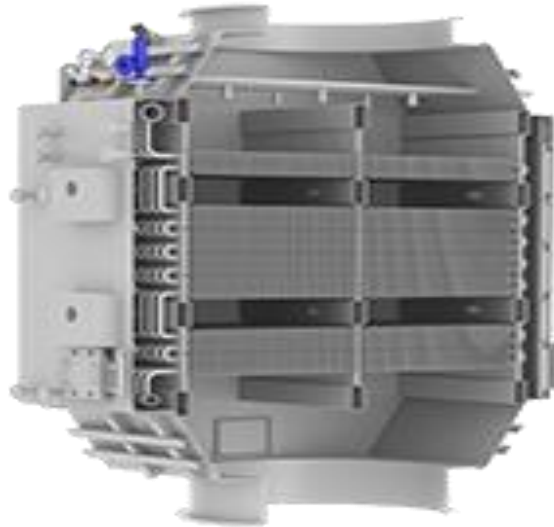
Kuva 7. Vastavirtaus.

2.2.2 Ristivirtaus

Ristivirtauksessa ainevirrat kulkevat yhdeksänkymmenen asteen kulmassa toisiinsa nähden. Ristivirtausta käytetään yleisesti pakokaasukattiloissa, joissa laivamoottoreiden tuottamista pakokaasuista siirretään lämpöenergiaa kattilaveteen. Pakokaasukattiloissa, tai toiselta nimeltään lämmöntalteenottokattiloissa, kattilavettä johdetaan suorien tai spiraalimaisten putkien läpi. Putket on sijoitettu vaakatasoon, useisiin päällekkäisiin riveihin kattilan sisään ja ne ovat yleisimmin rivoitettu lämmönsiirtymiseen vaikuttavan pinta-alan kasvattamiseksi sekä tukemaan rakennetta. Pakokaasut johdetaan kulkemaan näiden ripaputkistojen läpi.



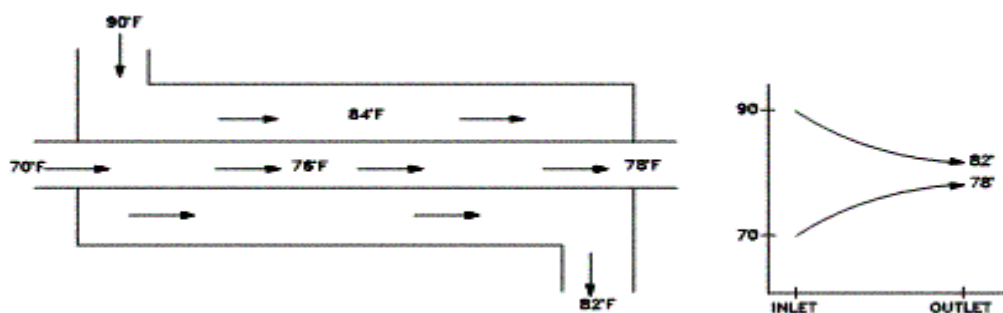
Kuva 8. Ristivirtaus.



Kuva 9. Pakokaasukattila jossa ristivirtaus.

2.2.3 Myötävirtaus

Myötävirtauksessa ainevirrat kulkevat samaan suuntaan toisiinsa nähden. Myötävirtauksessa huomioitavaa on, että lämpöä vastaanottavan aineen lämpötila ei voi nousta korkeammaksi kuin lämpöä luovuttavan aineen loppulämpötila on. Kuten vastavirtausta käsittelevässä kohdassa mainittiin, voidaan myös myötävirtaus useissa tapauksissa muuttua vastavirtaukseksi vaihtamalla toisen väliaineen virtaussuuntaa (8.)



Kuva 10. Myötävirtaus.

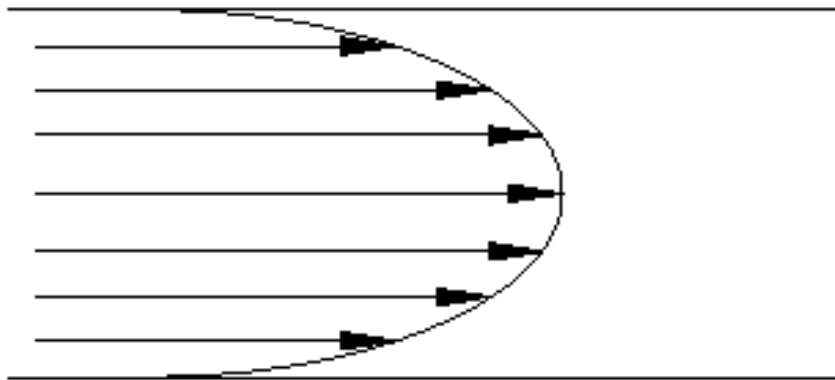
2.3 Virtaustyytit

Virtaussuuntien lisäksi käytettävien väliaineiden virtaustyytit ovat yksi tärkeä lämmönsiirtimen lämmönsiirtotehoon vaikuttava asia. Väliaineiden virtaukset voivat olla joko laminaarista tai turbulenttia tyyppiä, mikä riippuu väliaineiden virtauksen nopeudesta lämmönsiirtimen sisällä. Virtaustyytit voivat myös

vaihdella lämmönsiirtimien sisällä lämmönsiirtimen rakenteesta tai likaantumisesta johtuen.

2.3.1 Laminaarinen virtaus

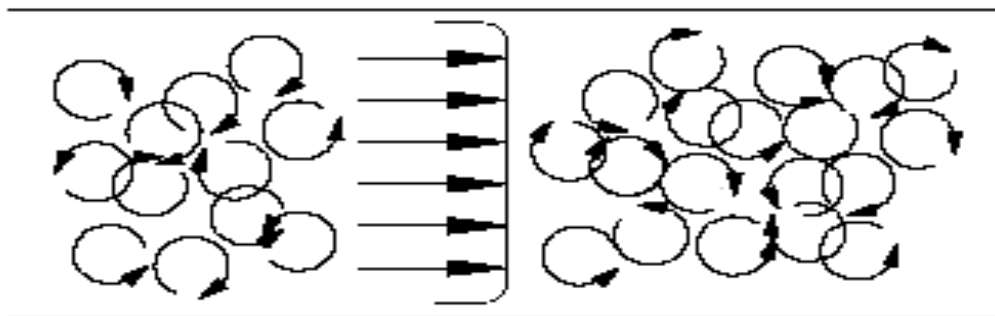
Laminaarisessa virtauksessa käytettävä väliaine virtaa lämmönsiirtimessä niin, että sen sisältämät ainehiukkaset etenevät rinnakkain ja voivat ohittaa toisiaan sekoittumatta kuitenkaan keskenään ja virtaus on niin sanotusti tasaista. Lämmönsiirtimen sisäpintojen karheus ei kasvata laminaarisessa virtauksessa virtausvastusta. Aineen molekyylin sekoittumattomuus kuitenkin huonontaa aineen sisäistä lämmön siirtymistä, mikä vaikuttaa lämmönsiirtimen kokonaislämpötehoon alentavasti. Virtauksen laminaarisuutta voidaan mitata dimensiottomalla Reynoldsin luvulla (9.)



Kuva 11. Laminaarinen virtaus.

2.3.2 Turbulenttinen virtaus

Turbulenttinen virtaus esiintyy laminaarista virtausta suuremmilla virtausnopeuksilla ja toisin kuin laminaarisessa virtauksessa väliaineen sisältämät hiukkaset etenevät pyörteillen ja sekoittuen keskenään, kuitenkin edeten keskimääräisellä nopeudella virtauksen suuntaan. Myös turbulenttista virtausta voidaan mitata Reynoldsin luvulla (9.)



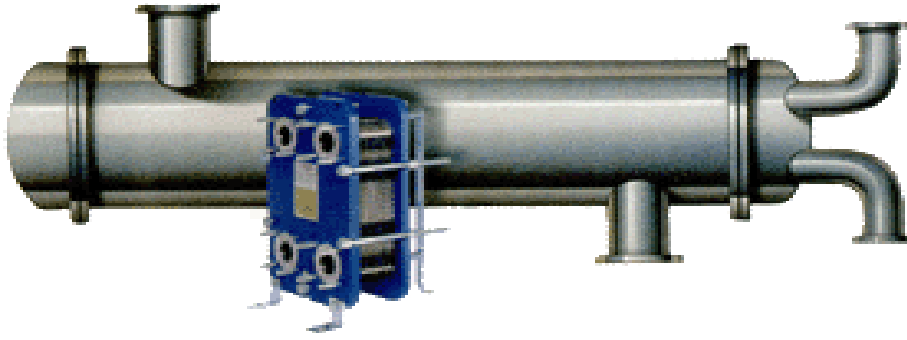
Kuva 12. Turbulenttinen virtaus.

3 LEVYLÄMMÖNSIIRTIMET

Levylämmönsiirtimet saavat nimensä niissä käytetyistä lämmönsiirtolevyistä. Ne ovat yksi tyypillisimmistä lämmönsiirtimistä laivakäytössä. Ahtaat tilat konehuoneessa asettavat rajoituksia lämmönsiirtimien fyysiselle koolle ja levylämmönsiirtimet voivat ollakin kooltaan vain noin kolmasosan saman lämmönsiirtotehon omaavista putkilämmönsiirtimistä (10.)

Kompaktin kokonsa ja lämmönsiirtolevyillä aikaansaadun erinomaisen lämmönsiirtotehon lisäksi joidenkin levylämmönsiirrin tyyppien eduiksi voidaan laskea niiden helpohko puhdistaminen ja tietyin apulaittein, kuten väliaineiden virtausta parantavien pumppujen lisääminen järjestelmään mahdollistaa niille hyvinkin vapaan sijoittelun konehuoneeseen. Ne soveltuvat tyypistä ja rakenteesta riippuen hyvin monenlaisiin eri tehtäviin ja suurimmat rajoitukset levylämmönsiirtimien käytölle asettavat erittäin liikaavat väliaineet, sekä korkeat käyttöpaineet ja lämpötilat, joille ne eivät sovellu (10.)

Suurimmat rakenteelliset erot eri levylämmönsiirrintyyppien kesken ovat lämmönsiirtolevyjen kiinnitystavoissa toisiinsa, valmistusmateriaaleissa, sekä väliaineiden kulkuun vaikuttavien yhteiden sijoittelussa ja määrässä. Joissakin levylämmönsiirtimissä levyt puristetaan toisiaan vasten, kun taas toisissa ne voi olla juotettu tai hitsattu niin, että levyjen irrottaminen toisistaan rikkomatta rakennetta ei ole mahdollista. Yhteiden sijoittelu taas vaikuttaa, kuinka monivaiheisesta lämmönsiirtimestä on kyse (6.)



Kuva 13. Saman lämpötehon omaavien levy- ja putkilämmönsiirtimien kokoero.

3.1 Lämmönsiirtolevyt

Kaikissa levylämmönsiirtimissä toiminnan kannalta keskeisin osa on lämmönsiirtolevyt, riippumatta levylämmönsiirtimen tyypistä. Lämmönsiirtolevyt on kiinnitetty toisiinsa niin, että ne muodostavat tiiviin levypaketin. Kiinnitystavat, levyjen määrä ja levyjen muodostama pinta-ala levypaketissa vaihtelevat lämmönsiirtimen suunnitellun käyttökohteen, lämmönsiirtimen tyypin sekä lämmönsiirtotarpeen mukaan.

Yleisimmin levyt ovat suorakaiteen muotoisia ohuita, joko tasaisia tai profiloituja eri metalliseoksista valmistettuja levyjä. Valmistusmateriaali sekä profiilit vaihtelevat suunnitellun käytön ja käytettävien väliaineiden ominaisuuksien mukaan (6.)

Levyjen vahvuus vaihtelee myös lämmönsiirtimen tehtävän, sekä käytettävien paineiden mukaan. Yleisimmin levyt ovat 0,5 – 1,5 mm vahvuisia.

Profiileilla voidaan vaikuttaa levyjen väleihin syntyvien virtauskanavien koon, painehäviöön, virtaustyyppiin, korroosion syntymiseen, kanavien puhautana pysymiseen sekä levyn jäykkyyteen. Mitä jäykemmäksi levyt saadaan, sitä ohuempia levyjä voidaan käyttää, mikä parantaa lämmönjohtumista levy-materiaalin läpi. Yleisimmät levyprofiilit ovat erityyppiset v-profiilit (kalanruoto kuvio) sekä suorakaiteen muotoiset painatukset (pyykkilauta kuvio).

Levylämmönsiirtimiä valmistavat yritykset käyttävät kuitenkin lämmönsiirtolevyissään, yleensä omia patentoimiaan profiilikuvioita ja markkinoilla onkin yli 60 toisistaan poikkeavaa profiilia saatavilla. Eri valmistajien tarjoamien läm-

mönsiirtolevyjen toiminnan, valmistusmateriaalien, eikä profiilien kesken ole kuitenkaan suuria eroavaisuuksia (6.)



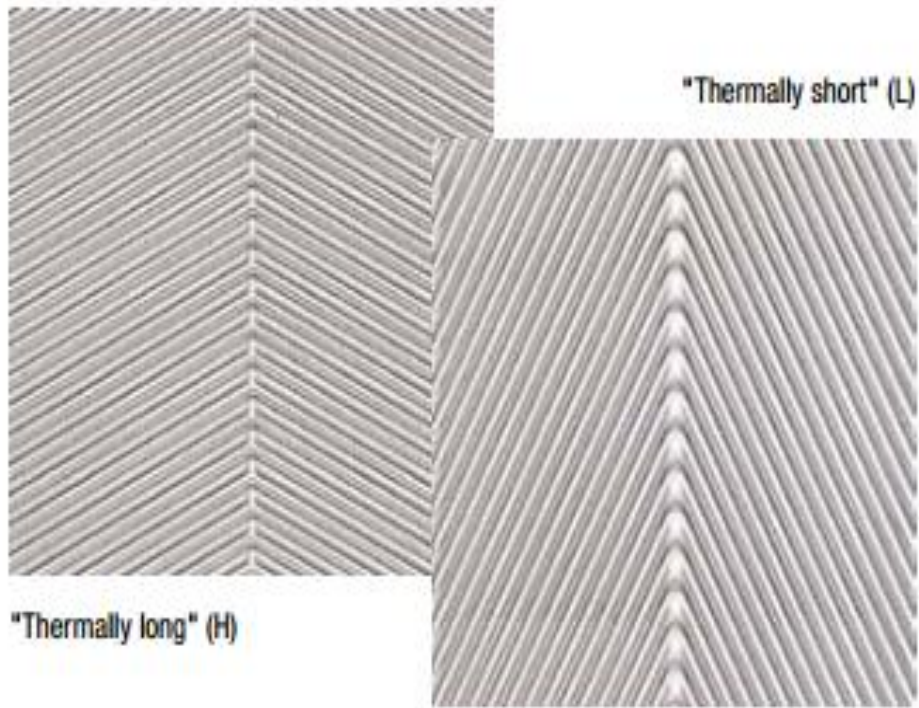
Kuva 14. Eri profiilein varustettuja lämmönsiirtolevyjä.

3.1.1 V-profiili

Yleisimmissä v-profiililla (kalanruoto) varustetuissa levyissä itse v-kuviointi on keskittynyt levyn keskialueelle, missä lämmönsiirtyminen on tehokkainta. Levyn ylä- sekä alaosissa, joissa väliaineiden virtauksen levyjen sisään johtavat yhteet sijaitsevat, käytetään vain kuviointeja joilla väliaineet saadaan virtaamaan tasaisesti lämmönsiirron pääalueelle (2.)

Painettu kuviointi voi olla niin sanottua matalakulmaista tai jyrkkäkulmaista ja näitä merkitään kirjaimilla H (thermally long) ja L (thermally short). Matalakulma parantaa lämmönsiirtotehoa johtuen väliaineiden kulkemasta pidemmästä matkasta levyn sisällä, mutta myös kasvattaa painehäviötä. Jyrkkäkulmainen profiili on lämmönsiirtoteholtaan heikompi, mutta painehäviö saadaan pidettyä pienenä (2.)

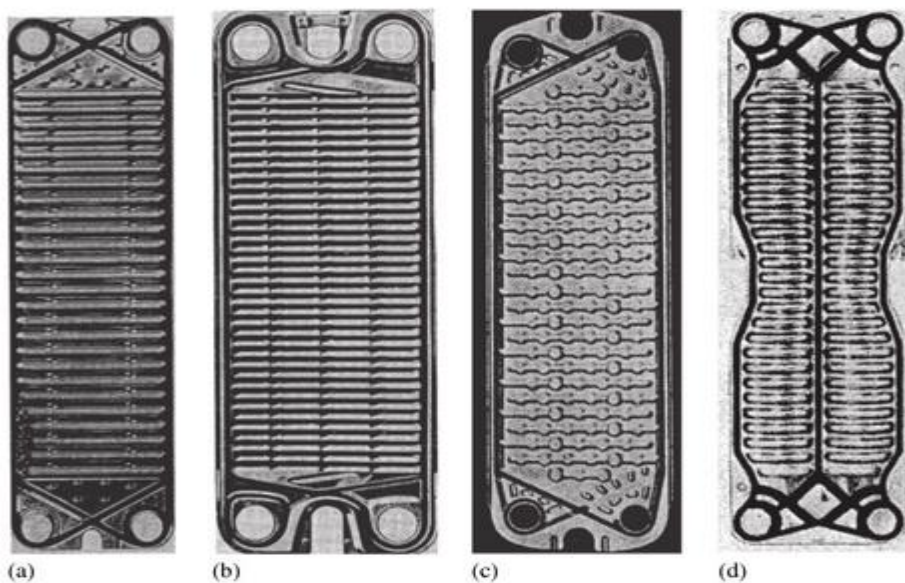
Levypaketin sisässä v-profiiliset levyt ovat tosiinsa nähden ylösalaisin, näin saadaan syntymään virtauskanavat levyjen väleihin niin, että käytössä on sekä risti-, että vastavirtaus. Vastakohtaisesti asennettuina levypaketista tulee myös huomattavasti kestävämpi painetta kohtaan, koska virtauskanavien yhtymäkohdat muodostavat useita tukipisteitä levypaketin sisään (6.)



Kuva 15. Matala- ja jyrkkäkulmainen v-profiili.

3.1.2 Pyykkilauta profiili

Toinen yleisimmin käytetty levyprofiili on niin kutsuttu pyykkilautakuviointi, eli suorakaiteen muotoisista lokeroista koostuva profiili. Tämä levyprofiili soveltuu paksummille ja kuitupitoisimmille väliaineille johtuen toisiinsa kiinnitettyjen levyjen sisään syntyvien virtauskanavien suuremmasta koosta. Levyjen väleihin syntyvät virtaussolat ovat yleisimmin noin: 5mm -12mm (4.)



Kuva 16. Eri tyyppisiä pyykkilautaprofiileja.

3.2 Tiivisteelliset levylämmönsiirtimet

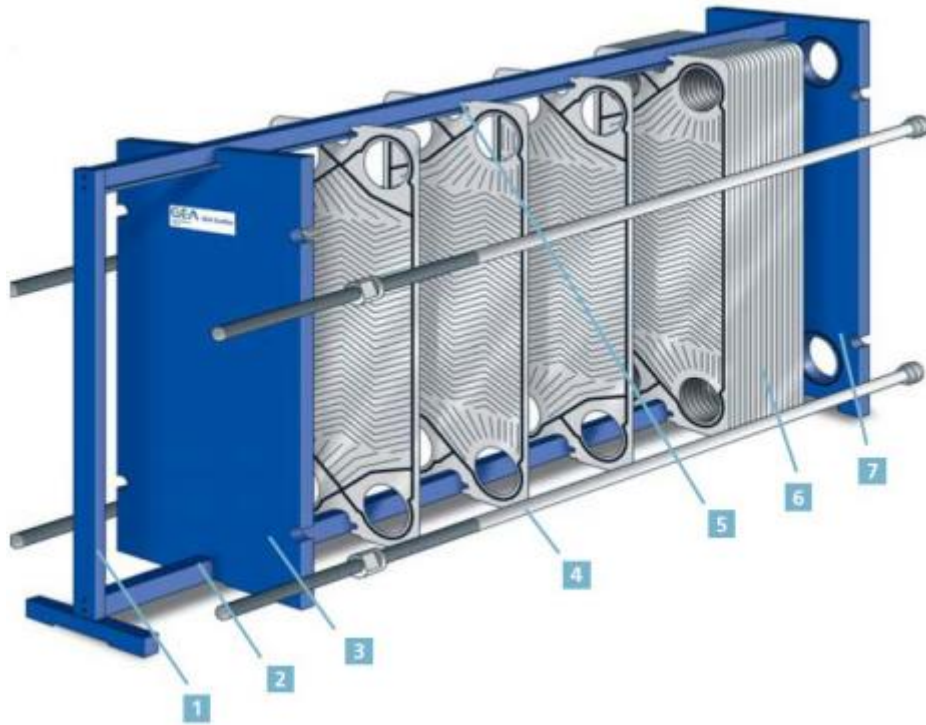
Yleisimmin tiivisteelliset levylämmönsiirtimet toimivat laivojen keskusjäähdyttiminä, voiteluöljyn jäähdyttiminä ja evaporaattoreiden höyryttiminä, mutta niitä voidaan käyttää myös muiden lämpöenergiaa tuottavien koneikkojen yhteydessä (5.)

Tiivisteellisissä levylämmönsiirtimissä käytetään yleensä nestemäisiä väliaineita, mutta ne soveltuvat käytettäväksi myös matalapaineisten höyryjen kanssa.

Rakenteensa ansiosta tiivisteelliset levylämmönsiirtimet ovat puolihitsattujen levylämmönsiirtimien ohella ainoita levylämmönsiirtimiä joiden lämmönsiirtopinta-alan kasvattaminen tai pienentäminen ja lämmönsiirtolevyjen mekaaninen puhdistaminen ja sisäinen tarkastaminen on tarpeen vaatiessa mahdollista. Niiden lämmönsiirtopinta-alan muunneltavuus on helppoa joko lisäämällä tai vähentämällä levyjä. Samasta syystä myös niiden tarkastaminen ja mekaaninen puhdistaminen sisältä on mahdollista (2.)

Tiivisteellisissä lämmönvaihtimissa pyritään käyttämään vastavirta periaatetta väliaineiden virtauksessa. Väliaineiden virratessa toisiaan vastaan lämmönsiirtimen jokaisessa osassa saadaan väliaineiden välinen lämpötilaero suurimmaksi ja lämmönsiirtimen lämmönsiirto tehokkaimmaksi.

Tiivisteelliset levylämmönsiirtimet rakentuvat metalliraamien ympärille. Raamien molemmissa päissä on päätylevyt. Päätylevyistä toinen on kiinteästi asennettu raamiin ja toinen on liikuteltavissa. Kiinteästi asennetussa päätylevyssä on putkiyhteet, joista väliaineet virtaavat lämmönsiirtimeen. Päätylevyjen väliin on asennettu lämmönsiirtolevyt. Kuten päätylevyissä, myös lämmönsiirtolevyissä on yhteet, joista väliaineet virtaavat levyjen väleihin. Levyjen väleissä on kumitiivisteet, jotka estävät väliaineiden vuotamisen levypaketin ulkopuolelle ja ohjaavat väliaineet niille tarkoitettuihin virtauskanaviin levyjen molemmin puolin niin, että erilämpöiset väliaineet virtaavat levyjen eri puolilla. Lämmönsiirtolevyt puristetaan vetotangoin päätylevyjen väliin ja näin ne muodostavat tiiviin levypaketin (2.)

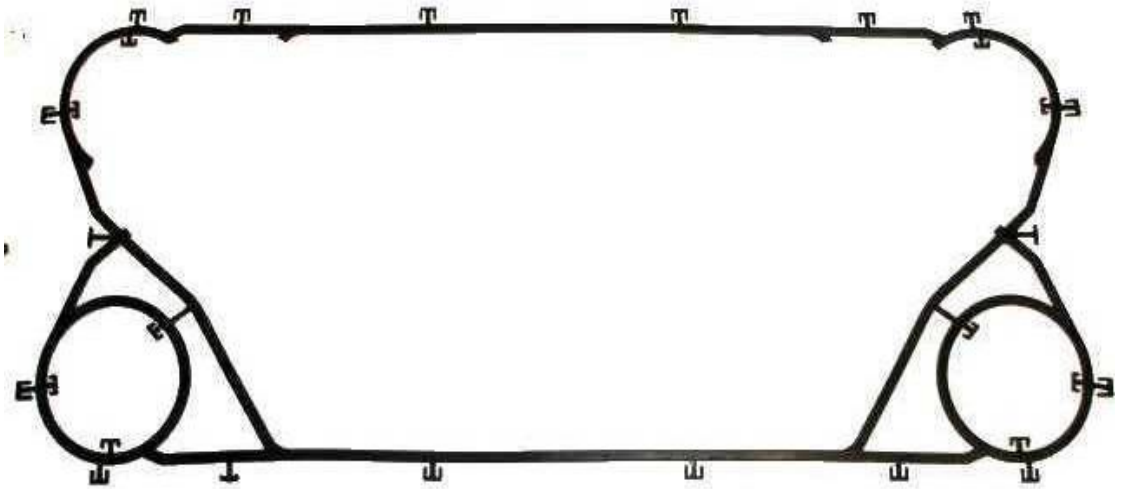


Kuva 17. Tiivisteellisen levylämmönsiirtimen rakenne.

3.2.1 Tiivisteet

Levyjen väleissä kulkevat tiivisteet on yleensä valettu yhdeksi kappaleeksi. Tiivisteiden valmistusmateriaaleina käytetään erilaisia elastomeerejä, kuten luonnonkumi, styreeni, butadienikumi, nitriitti, tai butyylikumi. Myös erilaiset silikonit, neopreeni, hypaloni tai viton voivat toimia tiivisteiden valmistusmateriaaleina

Tiivisteet valitaan sopimaan lämpötilan ja käytettävien väliaineiden mukaan. Ne kiinnitetään kulkemaan levyjen reunalla omissa urissaan, sekä yhteiden ympärillä. Ne voidaan kiinnittää levyyn liimalla, tai joissakin malleissa tiivisteisiin on valettu kiinnikeosat, joilla ne kiinnitetään levyjen reunoihin ja kiristettäessä levyt toisiaan vasten ne painautuvat niille tarkoitettuihin uriin. Tiivisteiden tehtävä on pitää väliaineet niille kuuluvissa virtauskanavissa ja estää väliainetta vuotamasta lämmönsiirtimestä ulos (6.)

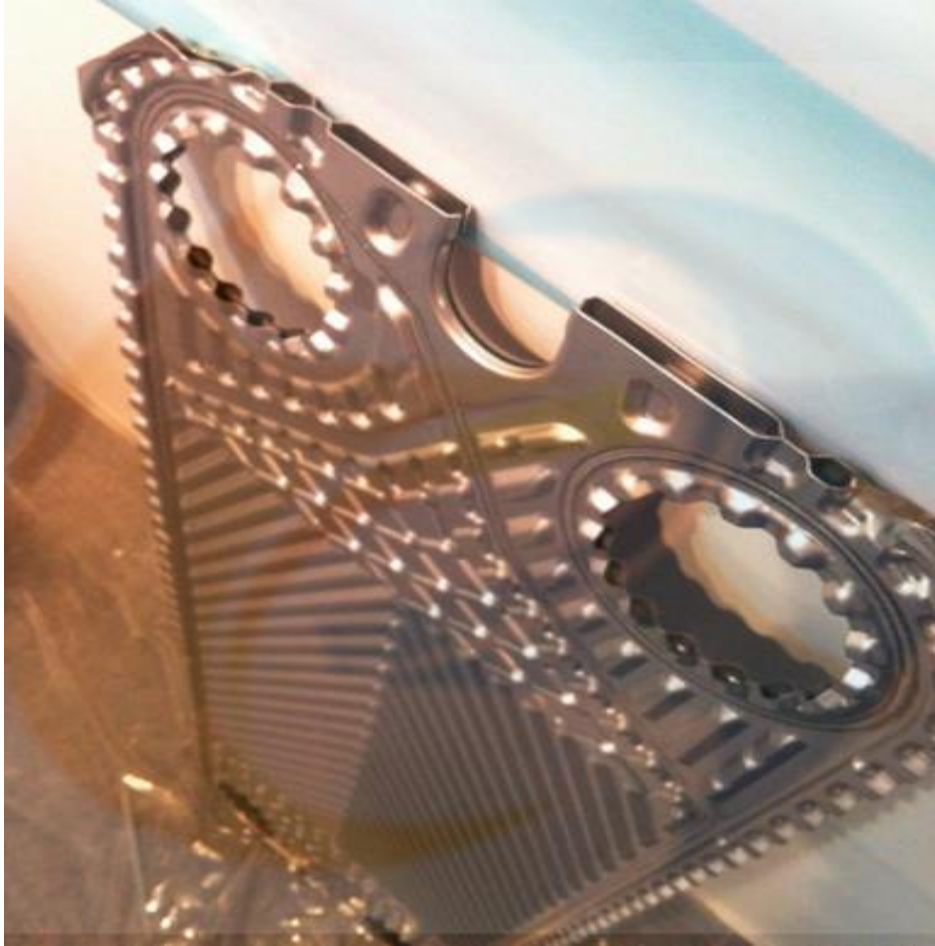


Kuva 18. Tiiviste varustettuna kiinnikkeillä.

3.3 Puolihitsatut ja hitsatut levylämmönsiirtimet

Puolihitsatut levylämmönsiirtimet ovat ulkonäöltään hyvin samankaltaisia kuin tiivisteelliset mallit. Suurin erottava tekijä on käytettävät lämmönsiirtolevyt. Ne koostuvat kahdesta toisiinsa hitsatusta lämmönsiirtolevystä, jolloin levyjen sisään jää ontto virtauskanavin varustettu tila. Toinen käytettävistä väliaineista virtaa siis levyjen hitsisaumoin kiinnitetyissä virtauskanavassa, ja tästä rakenteesta johtuen, voi levyjen välissä kulkeva väliaine olla luonteeltaan aggressiivisempaa ja tiivisteille sopimatonta, tai käytettävä paine ja lämpötila voi olla korkeampi, kuin tiivisteellisellä puolella. Toinen väliaineista virtaa levyjen tiivisteiden puolella. Levyjen tiivisteet asennetaan näiden kokonaisuuksien väleihin ja levypaketti kasataan raamien ja päätylevyjen väliin, sekä kiristetään vetotangoon kuten tiivisteellisessä lämmönsiirtimessäkin.

Puolihitsatun levylämmönsiirtimen mekaaninen puhdistaminen on mahdollista vain tiivisteiden puolelta. Hitsauksen puolelta puhdistusvaihtoehdoiksi jäävät vain liuottaminen ja huuhtelu (6.)



Kuva 19. Puolihitsatun levylämmönsiirtimen lämpölevyn rakenne.

Hitsattu levylämmönsiirrin on toiminnaltaan samanlainen kuin puolihitsattu, sillä erotuksella, että jokainen levysauma on hitsattu eikä lämmönsiirtimessä ole yhtään levyjen välistä tiivistettä. Hitsatun levylämmönsiirtimen molemmilla lämmönsiirtolevyjen puolilla voidaan käyttää aggressiivisempia väliaineita, korkeampia paineita ja korkeampia lämpötiloja, kuin tiivisteellisissä levylämmönsiirtimissä. Hitsatun levylämmönsiirtimen avaaminen on mahdotonta ja ainoa puhdistusmahdollisuus on liottaminen tai lämmönsiirtimen huuhtelu (6.)

3.4 Kovajuotetut levylämmönsiirtimet

Kovajuotettuja lämmönsiirtimiä voidaan käyttää lämmitykseen ja jäähdytykseen. Laivoilla kovajuotettuja lämmönsiirtimiä yleensä käytetään käyttöveden lämmitykseen, johon ne soveltuvat erinomaisesti niiden pienen koon ja kevyen rakenteen vuoksi. Kovajuotettujen lämmönsiirrinten koko ja paino onkin vain noin 10 -20 % tavanomaiseen putki- ja vaippalämmönsiirtimeen verrattuna.

Kovajuotetut lämmönsiirtimet rakentuvat etu- ja takakannen väliin sijoitettuun levypakettiin, eivätkä ne sisällä tiivisteitä, vaan niiden haponkestävästä teräksestä (AISI 316) valmistetut lämpölevyt on juotettu yhteen kuparilla. Tämän rakenteen ansiosta lämmönsiirtimen levypaketti ei myöskään tarvitse raskaita runkolevyjä, mikä omalta osaltaan keventää lämmönsiirtimen kokonaispainoa. Väliaineiden sisään- ja ulosmenoyhteet voivat sijaita etu-, tai etu- ja takakan-nessa ja sijainnista riippuen kovajuotetut levylämmönsiirtimet voidaan jakaa yksi, kaksi, tai useampi vaiheisiin sovelluksiin. Kovajuotetun lämmönsiirtimen juotetuista saumoista johtuen lämmönsiirtimen paineen- ja lämmönkesto on korkea. Avaamattomasta levypaketista johtuen kovajuotetuissa lämmönsiirtimissä käytetään väliaineina sellaisia puhtaita nesteitä tai kaasuja, jotka likaa-avat lämmönsiirtilevyjä mahdollisimman vähän (11.)

4 LEVYLÄMMÖNSIIRTIMIEN VUOTOJEN PAIKANTAMINEN JA KORJAUS

Levylämmönsiirtimien levyjen välisten vuotojen paikannus on tarpeellista vain sellaisten lämmönsiirtimien yhteydessä, joissa lämmönsiirtilevyt voidaan irrottaa toisistaan. Myös muun mallisten levylämmönsiirtimien sisäisiä levyjen väliisiä vuotoja on mahdollista paikantaa esimerkiksi ultraäänellä tai ilmamääriä mittaamalla lämmönsiirtimen yhteistä, täytettäessä lämmönsiirtimen toista väliaineen virtauskanavaa. Laivalla näistä ei ole apua, koska avaamattoman levypaketin sisäisten vuotojen korjaaminen ei ole käytännössä mahdollista.

Avatun lämmönsiirtimen lämmönsiirtilevyt tarkastetaan silmämääräisesti ja vuotavat ja syöpyneet levyt korvataan uusilla. Sellaisissa tapauksissa, joissa vuodot ovat niin pieniä, ettei niitä voida havaita silmämääräisesti, on hyvä käyttää apuna halkeamien ja vuotojen paikantamiseen tarkoitettuja tunkeuma-aineita.

Uudelleen lämmönsiirintä käyttöön otettaessa on lämmönsiirtimen molemmat lämmönsiirtopuolet hyvä koeponnistaa, jolloin saadaan varmuus lämmönsiirtimen vuotamattomuudesta. Koeponnistus tapahtuu niin, että toinen väliaineen puolista täytetään ensin suunnittelupaineeseen ja toisen puolen yhteistä tarkastellaan mahdollisia vuotoja.

5 PUTKI JA VAIPPALÄMMÖNSIIRTIMET

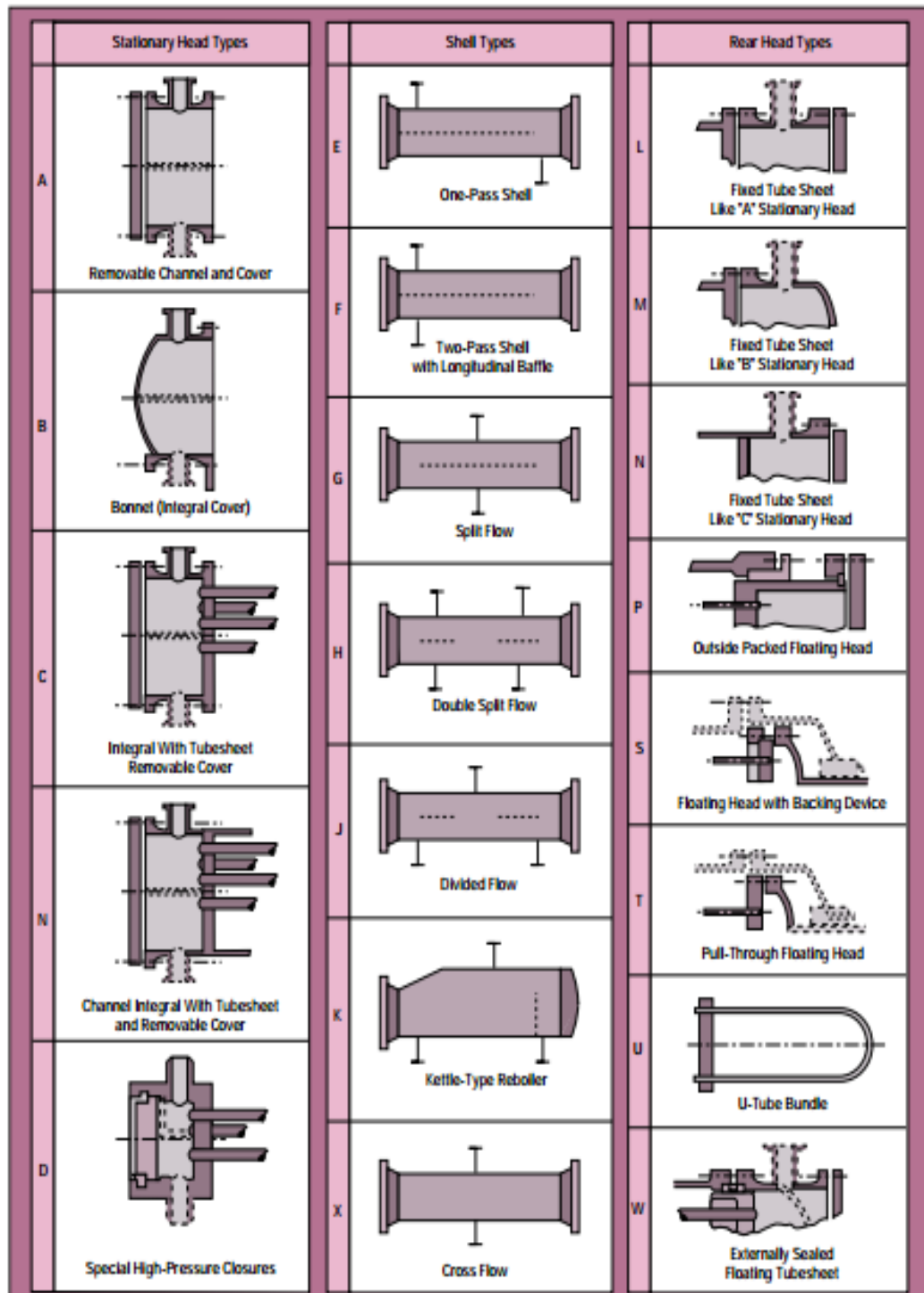
Putki- ja vaippalämmönsiirtimiä voidaan käyttää levylämmönsiirtimiä korkeamman lämpötilan ja paineen sovelluksissa. Lisäksi putkilämmönsiirtimiä käy-

tetään usein sellaisten komponenttien yhteydessä, joissa käytettävien väliaineiden luonteen vuoksi vuotaminen lämmönsiirtimen ulkopuolelle ja ympäristöön voisi aiheuttaa vaaraa käyttöhenkilöstölle sekä ympäristölle. Tämä johtuu niiden huomattavasti kestävämmästä rakenteesta, sekä niiden vähäisestä tiivisteiden määrästä, verrattuna levylämmönsiirtimiin. Tiivisteet ovat lämmönsiirrinten vuotoon johtavien vikaantumisien pääsyy.

Kestävämmästä rakenteesta ja valmistusmateriaaleista johtuen, niiden lämmönsiirto pinta-ala on kuitenkin levylämmönsiirtimiä pienempi ja saman lämmönsiirtotehon omaavaan levylämmönsiirtimeen verrattuna ne ovat huomattavasti suurempia kooltaan ja yleensä ne ovat mitoitettu huomattavasti todellista tarvetta suuremmiksi johtuen osaksi niiden tiivisteellistä levylämmönsiirrintä hankalammasta puhdistamisesta. Myöskään lämmönsiirtopinta-alan kasvattaminen jälkikäteen ei ole mahdollista (2.)

Putkilämmönsiirtimiä valmistetaan useita erityyppisiä sovelluksia, riippuen niiden käyttötarkoituksesta ja niissä käytettäväksi suunniteltujen väliaineiden luonteesta ja ominaisuuksista. Yleisesti putki- ja vaippalämmönsiirtimien rakenne voidaan jakaa kolmeen osaan; etupäätyyn, vaippaosaan ja takapäätyyn. Lämmönsiirrinten etu- ja takapäädyissä sijaitsevat yleensä lämpöenergia vastaanottavan väliaineen sisään-, että ulostuloyhteet, sekä tiivisteinnat. Keskimmaisessä, eli vaippaosassa sijaitsee lämmönsiirtimen putkisto, jossa väliaineiden välinen lämmönsiirtoprosessi tapahtuu. Etu-, taka-, sekä keski-osa on kuitenkin useita erilaisia ja osa putkilämmönsiirtimistä koostuu vain kahdesta osasta (2.)

Kuvassa (17) on esitelty TEMA:n (Tubular Exchangers Manufacturers Association) standardi määritelmät putki- ja vaippalämmönsiirtimien rakenteille. TEMA:n standardien mukaan putki- ja vaippalämmönsiirtimien rakenne voidaan jakaa erilaisin kirjainyhdistelmin.

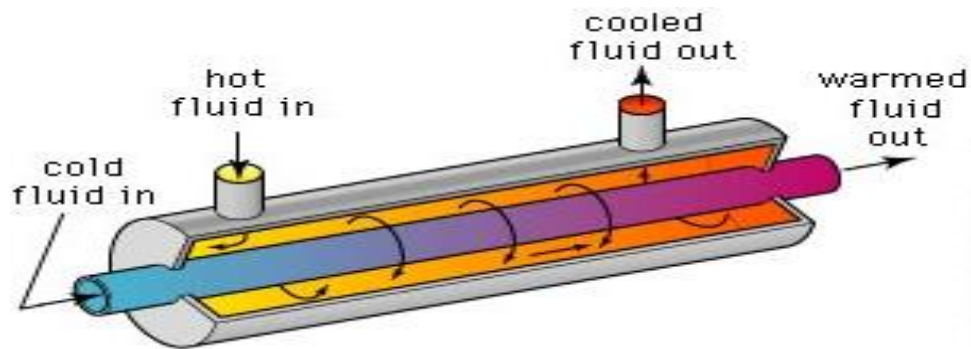


Kuva 20. TEMA standardit.

5.1 Kaksoisputkilämmönsiirrin

Rakenteeltaan yksinkertaisin putki – ja vaippalämmönsiirtimistä on kaksoisputkilämmönsiirrin. Kaksoisputkilämmönsiirrin koostuu kahdesta putkesta, joista toinen on sijoitettu toisen sisään niin, että ulompi putki toimii lämmönsiirrimen vaippaosana. Väliaineista lämpöenergiaa vastaanottava syötetään sisemmän, ja lämpöenergiaa luovuttava ulomman putken sisään. Kaksoisputki-

lämmönsiirtimissä voidaan käyttää joko vasta- tai myötävirta periaatetta. tämän tyyppin lämmönsiirtimissä lämmönsiirtoteho on huomattavan heikko useamman putken lämmönsiirtimeen verrattaessa, johtuen lämmönsiirtopinta-alan pienestä määrästä lämmönsiirtimen sisällä. Kaksoisputkilämmönsiirtimiä voidaan kuitenkin asentaa sarjaan, mikä kasvattaa kokonaislämmönsiirtymisen pinta-alaa valitun sovelluksen yhteydessä. Sarjaan asennettuina lämmönsiirtimet vievät kuitenkin huomattavan paljon tilaa, sekä mahdollisen vuodonpaikantaminen hankaloituu. Kaksoisputkilämmönsiirtimet ovat kuitenkin huomattavan harvinaisia laivakäytössä (12.)



Kuva 21. Kaksoisputkilämmönsiirtimen toimintaperiaate.



Kuva 22. Kaksoisputkilämmönsiirrin.

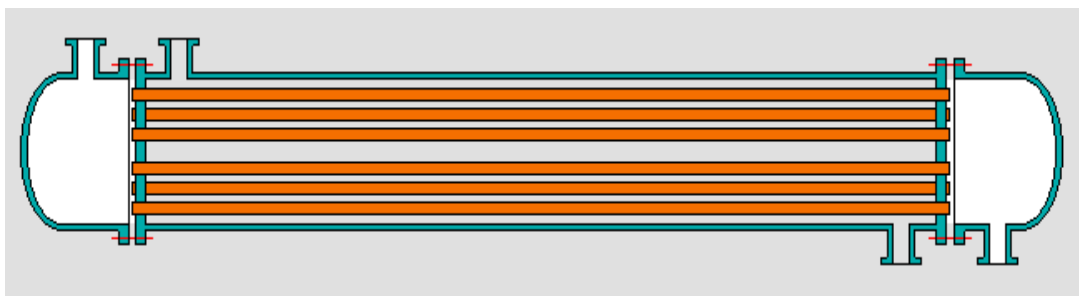
5.2 Suoraputkilämmönsiirrin

Suoraputkilämmönsiirrin on yksi yleisimmistä putkilämmönsiirrin malleista U-putkilämmönsiirtimen ohella laivakäytössä. Sen rakenne on hyvin samankaltainen kuin kaksoisputkilämmönsiirtimen, mutta lämmönsiirtopinta-alaa on

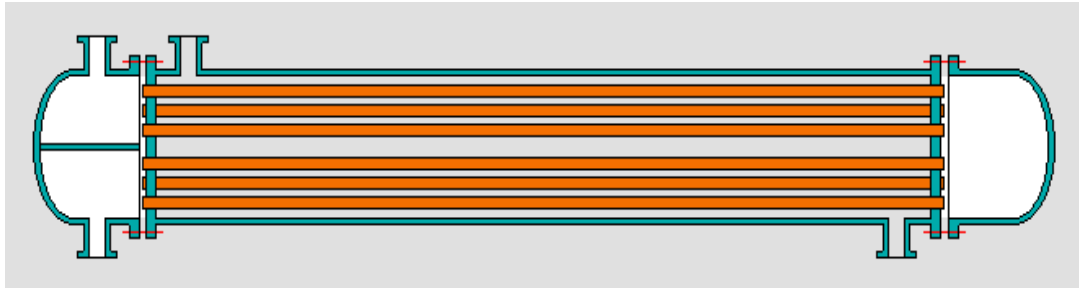
kasvatettu lisäämällä vaippaosan sisään yhden putken sijasta useita putkia. Vaippaosan päädyissä sijaitsevat tukiseinät (tubesheet), joihin vaippaosan sisällä kulkevat lämmönsiirtoputket on kiinnitetty.

Kiinnitys menetelmät voivat vaihdella, mutta yleisimmin putket on prässätty tai hitsattu kiinni seinämiin. Vaippaosan sisälle on asennettu ohjauslevyjä, joiden läpi lämmönsiirtoputket kulkevat. Ohjauslevyt parantavat lämpö-energiaa luovuttavan aineen turbulentsuutta vaipassa ja antavat rakenteelle kestävyyttä. Tyypillisessä suoraputkilämmönsiirtimessä vaippaosan molempiin päihin on kiinnitetty väliaineiden virtausta ohjaavat kupupäädät. Kupujen ja vaippaosan tukipäätyjen väleissä sijaitsevat tiivisteet ja päädät on kiinnitetty vaippaosaan pulteilla, jotta ne on mahdollista irrottaa vaippaosasta, jolloin tukiseinän ja lämmönsiirtoputkien saumat saadaan esille (6.)

Toisin, kuin kaksoisputkilämmönsiirrin tai U-putkilämmönsiirrin, voi suoraputkilämmönsiirtimet olla jaettu useisiin vaiheisiin niin, että putkissa virtaava väliaine kulkee vaippaosan läpi useita kertoja ennen poistumista lämmönsiirtimestä. Kupupäädät määrittävät, kuinka useassa vaiheessa väliaine kulkee lämmönsiirtimen sisässä. Esimerkiksi; kaksivaiheisessa suoraputkilämmönsiirtimessä, sekä ulostulo-, että lähtöyhteet sijaitsevat samassa päädyssä. Kuvun sisällä on väliseinä, joka ohjaa väliaineen kulkemaan osassa putkia vaippaosan läpi ja toisessa päässä sijaitsee päätykupu, mistä väliaine jatkaa matkaa uudelleen vaippaosan läpi ja poistuu lämmönsiirtimestä takaisin kiertoon (6.)



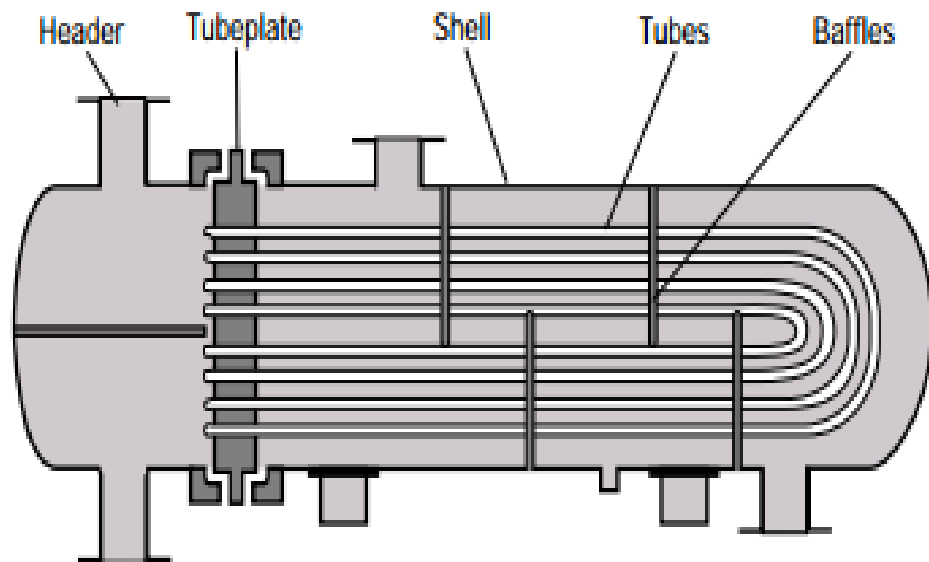
Kuva 23. Yksivaiheinen suoraputkilämmönsiirrin.



Kuva 24. Kaksivaiheinen suoraputkilämmönsiirrin.

5.3 U-putkilämmönsiirrin

U-putkilämmönsiirrin eroaa suoraputkilämmönsiirtimestä siten, että lämmönsiirtoputkien sisässä kulkeva väliaine ohjataan aina sisään ja ulos samasta päädyistä. Tämä on mahdollista siten, että vaippaosaan kiinnitetyn kupupäädyn sisään on rakennettu eristävä väliseinä ja lämmönsiirtoputket tekevät mutkan vaippaosassa ja palaavat takaisin. U-putkilämmönsiirtimissä ristivirta, myötävirta, sekä vastavirtaan perustuvat lämmönsiirtyminen vaihtelee eri osissa lämmönsiirrintä (2.)



Kuva 25. U-putkilämmönsiirrin.

6 PUTKILÄMMÖNSIIRTIMIEN VUOTOJEN PAIKANNUS JA KORJAUS

Yleisimmin putkilämmönsiirtimet vikaantuvat niin, että jokin lämmönsiirtimen putkista vuotaa ja näin käytettävät väliaineet pääsevät sekoittumaan. Tällaisessa tilanteessa putkilämmönsiirrin täytyy ottaa pois käytöstä ja avata, jotta

vuotokohta voidaan paikantaa. Putki- ja vaippalämmönsiirtimissä yleisimpiä sisäisiä vuotokohtia ovat putkien ja tukilevyn liitokset, putkiin syntyneet halkeamat tai lämmönsiirtimen eri osastojen välisten tiivisteiden peittäminen.

Yleisimpiä vaurioon johtavia syitä putkilämmönsiirtimissä on putkien resonoinen johtuen sopimattomasta virtausnopeudesta, mikä yleensä tapahtuu lähellä vaippapuolen ulos- ja sisääntuloyhteitä lähimpinä olevissa lämmönsiirto-putkissa, minkä seurauksena putket voivat murtua tai resonanssin voimasta osua toisiinsa ja ajan kuluessa osua kohtiin syntyy vuoto. Muita syitä vikaantumiseen ovat lämmönsiirtimen vääränlainen kiinnittäminen alustaan niin, että lämmönsiirtimen materiaalit eivät pääse lämpölaajenemisen johdosta riittävästi liikkumaan ja lämmönsiirrin altistuu sisäisille rasituksille, mikä voi johtaa esimerkiksi lämmönsiirto-putken murtumaan ja edelleen vuotoon. Putkilämmönsiirrintä asennettaessa alustaan tulisi lämpölaajeneminen ottaa huomioon. Lämmönsiirtimen sisässä olevat virtausta parantavat tukilevyt voivat myös irrota ja aiheuttaa vuotoja osuessaan lämmönsiirto-putkiin (6.)

Epäiltäessä vuotoa, täytyy lämmönsiirtimeen ulkoisesti kytketyt putkistot irrottaa ja poistaa, sekä lämmönsiirtimen päädyt avata ja irrottaa vaippaosasta. Tämä mahdollistaa vuotokohdan paikantamisen ja korjausmenetelmän valinnan. Putkilämmönsiirtimen tyypistä, käyttökohteesta ja käytettävistä väliaineista riippuen, lämmönsiirtimen korjaaminen voi olla laivoolosuhteissa hyvin hankalasti toteutettavissa. Yleisimmät laivoilla tehtävät korjaustoimenpiteet jäävät putkien tulppaamiseen, tai valmiina löytyvien varaosien vaihtamiseen. Lämmönsiirrinten vian etsintään ja vaikeampiin korjaustoimenpiteisiin on kuitenkin mahdollista tilata ulkopuolisia ammattilaisia. Usein myös erilaiset lämmönsiirtimiin erikoistuneet konepajat tarjoavat palvelujaan. Tällaisissa tapauksissa lämmönsiirrin on kuitenkin lähetettävä maihin korjattavaksi.

Tulpattaessa putkilämmönsiirtimiä täytyy muistaa, että lämmönsiirtopinta-ala pienenee huomattavasti jo yhdenkin putken ollessa pois käytöstä ja lämmönsiirtimen lämmönsiirtoteho laskee. Tästä johtuen putkien tulppaaminen on yleensä vain väliaikainen toimenpide ja lämmönsiirrin täytyy vaihtaa uuteen, tai vuotavat putket vaihtaa kokonaisuudessaan (14.)

Lämmönsiirtimen vuotavat putket voidaan paikantaa helpohkosti avaamalla lämmönsiirtimen päädyt niin, että putkien päät tulevat näkyviin. Suoraputki-

lämmönsiirtimissä täytyy molemmat päädyt poistaa, kun taas u-putkilämmönsiirtimissä riittää, että putkien sisään- ja ulostulopääty avataan.

Vuotavat putket paikannetaan niin, että yksi kerrallaan lämmönsiirtoputket paineistetaan toisesta päästä ja tulpataan toisesta väliaikaisesti. Lämmönsiirtimen lämmönsiirtoputkien vuodon paikantamiseen tarvittavat työkalut löytyvät yleensä laivalta valmiiksi tilattuina lämmönsiirtimen valmistajalta, tai ne voidaan valmistaa itse laivan verstaalla.



Kuva 26. Painemittarilla ja hanalla varustettu ilmansyöttöinstrumentti



Kuva 27. Väliaikaisia tulppia.

Ilmansyöttöinstrumentti tulee olla varustettu painemittarilla ja hanalla. Sekä suutinpäähän, että tulpan tulee olla sellaisia, että paineistettaessa ne eivät pääse vuotamaan. Tulpan tulee olla jotakin, putkea pehmeämpää materiaalia, jotta se ei vahingoita itse putkea. Tulppa tulee olla myös mahdollista poistaa testin jälkeen. Tulpan asennuksen jälkeen putki paineistetaan ilmalla suurimpaan sallittuun käyttöpaineseen ja painemittarista havainnoidaan putken mahdollinen vuoto. Tällä tavoin käydään jokainen putki erikseen läpi ja vuotavat putket merkitään ja tulpataan väliaikaisella tulpalla. Tulppia on saatavilla joko tilaamalla lämmönsiirtimen valmistajalta, tai ne voidaan valmistaa itse.

Tulppa tulee valmistaa jostakin itse putkea heikommasta materiaalista, jotta putki tai tukiseinä eivät vahingoitu. Valittu materiaali työstetään niin, että se on pituudeltaan vähintään kolme kertaa tulpattavan putken sisähalkaisijan pituinen ja paksuudeltaan noin 1 millimetrin lämmönsiirtoputken ulkohalkaisijaa paksumpi. Tulppa työstetään sorvissa 2 asteen kulmassa kartioksi niin, että tulpan toinen pää jää koskemattomaksi. Valmis tulppa tulisi asentaa putkeen niin, että vähintään kaksi kolmas osaa tulpasta on asennuksen jälkeen putken sisässä.



Kuva 28. Putkitulppia.

Mikäli vuoto ei löydy putkista, täytyy lämmönsiirtimen päätyosien tiivisteet, ja tukilevyn ja putkien liitokset tarkastaa silmämääräisesti lämmönsiirtimen molemmista päistä ja mahdolliset suuremmat vuodot voidaan näin havaita. Riippuen lämmönsiirtimessä käytettävistä väliaineista, vuotokohdat voivat olla hyvinkin selvästi näkyvissä.

Mikäli tiivisteistä ei tällä tavalla löydy vuotoja eikä tukilevyjen ja putkien liitoksista voida silmämääräisesti vuotokohtia havainnoida, täytyy lämmönsiirtimen vaippapuoli painetestata. Huomioon täytyy ottaa, että vaippapuolen painekestävyyden ollessa pienempi kuin putkissa, ei vuotoa yleensä voida paikantaa vaippapuolta paineistamalla. Vaippapuolen testauksessa käytetään samaa periaatetta, kuin putkien testauksessa. Yhteen vaippapuolen yhteistä kiinnitetään painemittarilla varustettu pumppu ja muut yhteet tulpataan esimerkiksi laipoilla. Tämän jälkeen vaippaosa paineistetaan jollakin kyseiselle lämmönsiirtimelle soveltuvalla nesteellä, yleensä vedellä. Nestettä käytettäessä tulee vaippaosa täyttää niin, että tukilevyn ja putkien liitoskohdat peittyvät nesteellä. Tämän jälkeen vaippaosa paineistetaan suurimpaan sallittuun käyttöpaineeseen. Pumpun painemittarista voidaan jälleen tarkistaa, pysyykö paine vaippaosassa. Putkien ja tukiseinään liitoskohtia tarkkailemalla voidaan todeta vuotavat putket, käytettävän ponneaineen virratessa vuotavasta liitoskohdasta (14.)

Putken vuotaessa tukiseinän liitoskohdasta, jää korjausvaihtoehdoiksi, riippuen putken alkuperäisestä kiinnitys menetelmästä, joko hitsaaminen, putken poisto ja tukiseinän putkiaukon tulppaus, tai putken uudelleen prässääminen kiinni tukiseinään. Putken poistaminen, tai uudelleen kiinnittäminen, ei ilman erikoistyykaluja onnistu ja yleensä lämmönsiirrin on joko lähetettävä maihin korjattavaksi, tilattava lämmönsiirtimiin erikoistunut korjausmies, tai vaihdettava uuteen.

7 LÄMMÖNSIIRTIMEN LIKAANTUMINEN

Lämmönsiirtimien likaantuminen on yksi suurimmista lämmönsiirtimien suunnittelun ja käytönaikaisen kunnossapidon ongelmista. Likaantumisesta puhuttaessa tarkoitetaan jonkin ei-toivotun materiaalin kiinnittymistä lämmönsiirtimen lämmönsiirtopintoihin. Lämmönsiirtopintojen likaantumisella on useita lämmönsiirto prosessia heikentäviä vaikutuksia ja likaantumisen jatkuessa

niin, että siihen ei puututa, se voi lamaannuttaa lämmönsiirtimen tai vaarantaa siihen liitetyn yhden tai useamman komponentin toiminnan, tai aiheuttaa jopa niiden vikaantumisen.

7.1 Likaantumisen mekanismit ja vaikutukset

Lämmönsiirtimien lämmönsiirtopintojen likaantumiseen johtavat ilmiöt ovat hyvin monimutkaisia ymmärtää, mutta lähtökohtaisesti levy- ja putkilämmönsiirtimien likaantuminen on hyvin samankaltaista, joitain poikkeuksia lukuun ottamatta, ja usein likaantumisprosessi on usean tekijän summa. Tällaisia tekijöitä ovat käytettävät väliaineet, käytettävät lämpötilat ja paineet, valmistusmateriaalit, sekä korroosio.

Yleensä likaantuminen alkaa jonkin käytetyn väliaineen sisältämän hiukkasen kiinnittymisestä lämmönsiirtopintaan. Syitä tällaiselle kiinnittymiselle voi olla useita, tai kiinnittyminen voi tapahtua monen asian yhteisvaikutuksesta, kuten lämmönsiirtopinnan vauriosta tai väliaineen sisältämän epäpuhtauden palamisesta kiinni lämmönsiirtopintaan.

Merivettä käytetään hyvin usein jäähdyttävänä väliaineena lämmönsiirtimissä laivoilla. Meriveden käyttöön vaikuttavat useat eri asiat, mutta ennen kaikkea laivaolosuhteissa sen helppo saatavuus ja veden mukana ylimääräisen lämpöenergian siirtäminen lämmönsiirtimen kautta mereen, tekee siitä muihin väliaineisiin verrattuna halvimman vaihtoehdon. Merivesi sisältää kuitenkin aina suolaa sekä pieneliöitä, ja vaikka vettä suodatetaan ennen käyttöä lämmönsiirtimissä, kulkeutuu sen mukana mikro- ja makro-organismeja lämmönsiirtimiin. Mikro-organismien likaannuttamat lämpöpinnat muuttuvat limaisiksi ja pintoihin syntyy makro-organismeille otollisia kiinnityskohtia. Tällaista likaantumista kutsutaan biologiseksi likaantumiseksi.

Lämmönsiirtimet, joissa on suunniteltu käytettäväksi merivettä, ovat yleensä valmistettu materiaaleista, jotka kestävät veden sisältämän suolan vaikutukset, eikä korroosioista johtuvaa likaantumista juurikaan tapahdu. Korkeissa lämpötiloissa suola saattaa silti kiinnittyä ja kerääntyä lämmönsiirtopintaan, mikä aiheuttaa lämmönsiirtotehon heikkenemistä ja muutoksia virtausnopeuteen.

Kemiallisesti tapahtuvaa likaantumista ja korroosiota voi tapahtua esimerkiksi joissakin raskasöljyn lämmitykseen tarkoitetuissa lämmönsiirtimissä, joissa

korkeista lämpötiloista johtuen öljyssä olevia yhdisteitä palaa kiinni lämmönsiirtopintoihin.

Esimerkkinä; merivettä väliaineina käytävissä lämmönsiirtimissä veden sisältämät hiukkaset voivat kiinnittyä lämmönsiirtopintaan kemiallisesti lämpötilan ja paineen vaikutuksesta, tai meriveden sisältämät mikrobit ja pieneliöt kiinnittyvät pintoihin biologisesti. Tällainen levyypintaan tarttunut hiukkanen kerää itseensä muita väliaineen sisältämiä epäpuhtauksia ja kohtaan alkaa muodostua kerrostumaa. Lämmönjohtuminen väliaineiden välillä heikentyy kerrostuman läpi ja lämmönsiirtopintaan voi syntyä kuumempi tai viileämpi kohta. Lämpöpinnan kohonneen lämpötilan seurauksena syntyy kuumemman väliaineen puolelle epäpuhtauksien kiinnittymiselle varsin otollinen kohta, lisäksi jo lämpöpintaan viileämmän väliaineen puolelle tarttuneet hiukkaset voivat lämpötilan noususta johtuen kiinnittyä pintaan vieläkin tiukemmin.

8 LÄMMÖNSIIRTIMEN PUHDISTAMINEN

Putkilämmönsiirtimien ja levylämmönsiirtimien puhtaana pysyminen on niiden toiminnan ja käytettävyyden kannalta erityisen tärkeää ja se tulisikin sisällyttää niiden ennakkohuoltojärjestelmään tehtäväksi tietyin väliajoin, vaikka lämmönsiirtimen toiminnassa ei havaittaisikaan poikkeavuutta normaaliin. Pitämällä lämmönsiirtimen puhtaana, säästytään monilta ongelmilta.

Lämmönsiirtimen tyyppi ja rakenne vaikuttavat ratkaisevasti siihen, millä tavalla lämmönsiirtimen on käytännöllisintä, tai mahdollista puhdistaa laivaolosuhteissa. Yleisimpiä puhdistusmenetelmiä ovat mekaaninen puhdistus, vastavirtahuuhtelu, koneellinen pesu (CIP), jossa kemikaalia tai pesuainetta kierrätetään lämmönsiirtimen sisällä, erilaiset liuottamismenetelmät, ultraäänipesu tai korkeapainepesu (13.)

8.1 Vastavirtahuuhtelu

Vastavirtahuuhtelu on yleisin laivan keskusjäähdytysjärjestelmään kuuluvien levylämmönsiirtimien ennakkohuoltoon kuuluva toimenpide, mutta sitä voidaan käyttää myös joidenkin muiden lämmönsiirtimien yhteydessä.

Vastavirtahuuhtelussa lämmönsiirtimen sisällä kulkevan, joko toisen, tai muiden väliaineiden kulkusuunta muutetaan päinvastaiseksi normaalista ja

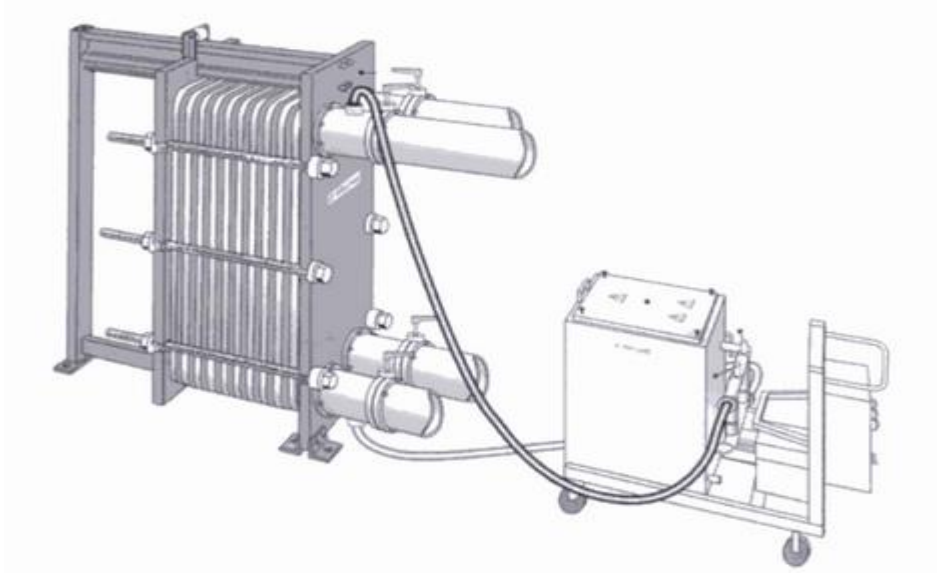
virtausta pidetään yllä tietyn ajan. Vastavirtahuuhtelu on mahdollista vain sellaisten lämmönsiirtimien yhteydessä, joihin on asennettu vastavirtauksen mahdollistavat putkistot ja venttiilit. Virtauksen kulkusuunnan muutos irrottaa mahdollisia epäpuhtauksia lämmönsiirtimen lämmönsiirtopinnoista (13.)

8.2 CIP, Cleaning-in-Place

Cleaning-in-Place eli koneellinen pesu on yksi helpommista, ja vähiten työtä vaativista pesumenetelmistä lämmönsiirtimille. Se soveltuu lähes kaiken tyyppisille levy- ja putkilämmönsiirtimille, missä väliaineina toimivat nesteet tai höyryt. Kuten vastavirtahuuhtelu, myös koneellinen pesu on hyvä suorittaa tasan ajoon, vaikkei lämmönsiirtimen toiminnassa olisikaan merkkejä lämpöpintojen likaantumisen. Näin mahdollisesti vältetään lämmönsiirtimen avaamiselta ja mekaaniselta puhdistamiselta.

Koneellista pesua käytetään yleensä laivoilla sellaisten lämmönsiirtimien yhteydessä, joissa on käytössä jokin likaava väliaine, kuten voiteluöljy tai rasvasöljy. Koneellista pesua varten lämmönsiirtimessä täytyy olla asennettuna sellaiset yhteet joihin pesulaite voidaan kytkeä.

Itse pesulaitteessa käytetään vettä, veden ja pesuaineen yhdistelmää, tai jotakin sellaista kemikaalia, mikä soveltuu sekä pesurille, että puhdistettavalle lämmönsiirtimelle. Käytettävän pesuaineliuoksen yhteensopivuudesta laitteiston kanssa tulee varmistua ennen käyttöä. Pesulaitteessa on säiliö pesuainelle, pesuaineen kierrätyspumppu, säätöventtiileitä, sekä letkuyhteet, joilla pesuri kytketään lämmönsiirtimeen. Säätöventtiileillä säädetään paine, jolla pesuaine kiertää lämmönsiirtimessä. Pesuri kierrättää pesunestettä lämmönsiirtimen sisällä ja irronnut lika kerääntyy pesulaitteiston säiliöön. Pesuneste voidaan vaihtaa jossakin kohtaa pesua, ja kun lämmönsiirtimen sisältä ei enää irtoa likaa, suoritetaan huolellinen huuhtelu, jotta pesuaine saadaan pois lämmönsiirtimestä. Puhdistettu ja huuhdeltu lämmönsiirtin on valmis otettavaksi käyttöön (13.)



Kuva 29. CIP -pesuri kiinnitettynä lämmönsiirtimeen.

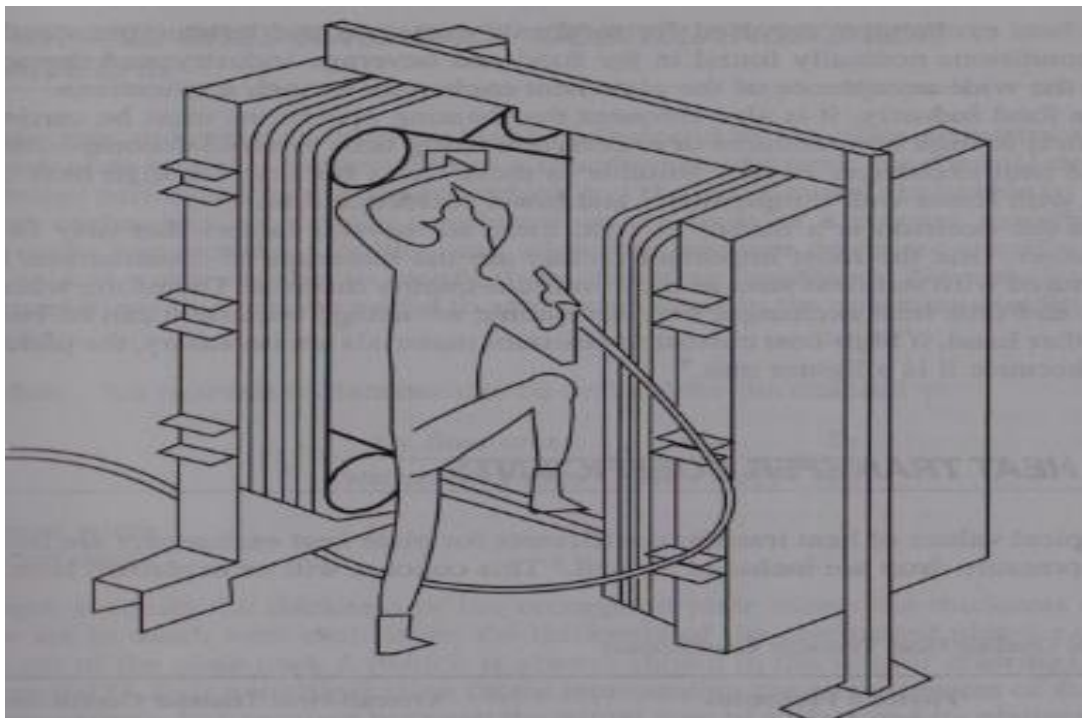
8.3 Mekaaninen puhdistaminen ja korkeapainepesu

Koska lämmönsiirtimen avaaminen rasittaa lämmönsiirtimen tiivisteitä, sekä lämmönsiirtimen mekaaninen puhdistaminen voi vaurioittaa lämmönsiirtopintoja, suositellaan sen tekemistä vain silloin, kun muita lämmönsiirtimen puhdistus mahdollisuuksia ei ole tai muut puhdistusmenetelmät eivät ole tuottaneet haluttua lopputulosta.

Levylämmönsiirtimien mekaaninen puhdistaminen on mahdollista vain sellaisten mallien yhteydessä, jotka voidaan avata. Avatun lämmönsiirtimen lämmönsiirtilevyt tarkastetaan ja tiivisteet poistetaan. Levyt voidaan pestä jollakin niille soveltuvalla pesuaineella tai kemikaalilla, samalla harjaten tai raaputtaen tiukkaan kiinnittynyttä likaa. Pinttyneen lian irrottamiseen on hyvä käyttää jotain lämmönsiirtilevyä pehmeää materiaalia, esimerkiksi puuta tai muovia, jotta vältetään vaurioittamasta lämmönsiirtopintaa. Naarmuuntunut pinta ei enää toimi kuten se on suunniteltu ja likaantuminen nopeutuu huomattavasti naarmuuntuneen kohdan toimiessa otollisena tartunta-alustana epäpuhtauksille.

Levyjä voidaan pestä myös korkeapainepesurilla. Kun haluttu lopputulos on saavutettu, huuhdellaan levyt ja niiden annetaan kuivua. Ennen uudelleen käyttöönottoa tarkistetaan levyt vielä korroosiolta ja muilta vaurioilta, kiinnitetään tiivisteet ja kiristetään levypakka valmistajan määrittämään kireyteen.

Yleensä kireys on ilmoitettu päätylevyjen välisenä etäisyytenä toisiinsa, mikä mitataan levypaketin kiristyksen jälkeen. Tämä ilmoitettu mitta vaihtelee levyjen määrän mukaan. Kiristäminen tapahtuu ristiin niin, että jokaista kulmaväliä kiristetään tasaisesti. Jotta mikään kulmista ei karkaa, mitataan päätylevyjen väliä myös kiristyksen aikana.



Kuva 30. Levylämmönsiirtimen mekaaninen pudistaminen ja pesu

Putki- ja vaippalämmönsiirtimien lämmönsiirtoputkien sisäpuolen puhdistaminen onnistuu sellaisten lämmönsiirtimien ollessa kyseessä, joiden päädyt voidaan avata ja lämmönsiirtoputket saadaan näkyviin. Vaippapuolen mekaaninen puhdistaminen onnistuu sellaisten mallien yhteydessä, joissa lämmönsiirtoputkisto saadaan irrotettua vaippapuolen sisältä. Joidenkin mallien vaippapuolen mekaaninen puhdistaminen ei ole mahdollista ja joudutaan turvautumaan johonkin muuhun puhdistusmenetelmään.

Yleisimmin putki- ja vaippalämmönsiirtimissä likaantuminen tapahtuu joko lämmönsiirtoputkien ulko- ja sisäpinnoilla, myös vaippapuolella putkien ympärillä olevien ohjaus levyjen pienet virtauskanavat voivat tukkeutua.

Avatun putki- ja vaippalämmönsiirtimen putkien sisäpuolet voidaan pestä korkeapainepesurilla. Tällaista pesua varten tarvitaan sellainen suutin, joka mahtuu kulkemaan putken sisässä. Myös tuubiharjaa voidaan käyttää irrottamaan pinttynyt lika putkien sisältä. U-putki lämmönsiirtimissä putkien mekaaninen

puhdistaminen sisäpuolelta onnistuu vain silloin, kun käytössä on taipuisa tuubiharja tai korkeapaine pesurin suutin saadaan kulkemaan koko putken läpi (13.)



Kuva 31. Lämmönsiirtoputken korkeapainepesu.

Myös irrotetun lämmönsiirtoputkiston ulkopuolen mekaaninen puhdistaminen voi olla hankalaa, johtuen lämmönsiirtoputkiston sisimpien putkien vaikeasta sijainnista putkinipun keskellä. Uloimpia putkia voidaan helpohkosti puhdistaa harjaamalla tai pestä puhtaaksi korkeapainepesurilla, mutta putkinipun sisimmät putket voivat jäädä niin piiloon, että niiden mekaaninen puhdistaminen on mahdotonta. Myös lämmönsiirtimien puhdistamisessa joudutaan joskus turvautumaan ulkopuoliseen palveluntarjoajaan.

8.4 Liuottaminen

Sellaisissa tapauksissa joissa mekaanista puhdistamista ei voida syystä tai toisesta toteuttaa, eikä koneellisella pesulla ole saatu haluttua lopputulosta, voidaan lämmönsiirrintä yrittää puhdistaa liuottamalla jollakin kemikaalilla tai pesuaineella. Liuottaminen soveltuu kaikille lämmönsiirtimille mallista tai tyy-pistä riippumatta. Ainoastaan käytettävän pesuaineen tai kemikaalin tulee soveltua lämmönsiirtimen materiaaleille niin, että ne eivät vahingoitu tai syövy liuottamisen aikana.

Omat hankaluutensa liuottamiselle asettavat lämmönsiirtimen tai sen osien koko. Liuottamista varten tarvittaisiin jokin niin iso astia tai saavi, johon likaantuneet osat, tai koko lämmönsiirrin upotetaan valittuun pesuaineliuokseen. Liuoksen vaikutusta voidaan tehostaa esimerkiksi syöttämällä ilmaa liuoksen sekaan, mikä parantaa liuoksen siirtymistä ja sekoittumista lämmönsiirtimen sisällä tai osien ympäristössä. Liuoksen tehtävänä on irrottaa ja pehmentää lika niin, että se voidaan poistaa huuhtelemalla valitun ajan jälkeen (13.)

8.5 Ultraäänipesu

Ultraäänipesuun tarvitaan ultraäänipesuri, mutta itse pesu voidaan suorittaa oikeastaan kaiken tyyppisille ja mallisille lämmönsiirtimille. Lämmönsiirrin asetetaan pesurin altaaseen ja pesuri suorittaa ultraäänipesun. Vaikka ultraäänipesurit ovat hyvin tehokkaita, ei tälläkään menetelmällä aina saada kaikkea likaa irtoamaan. Yleensä laivoilta löytyvät ultraäänipesurit ovat lisäksi niin pieniä, että vain pienimmät lämmönsiirtimet on mahdollista pestä niillä.



Kuva 32. Ultraäänipesuri.

9 YHTEENVETO

Lämmönsiirtimet ovat erittäin suuressa roolissa kaikessa teollisuudessa ja niiden kehitystyö on jatkunutkin 1800-luvun lopulta näihin päiviin asti, eikä lopua ole näkyvissä. Materiaalitekniikka ja ymmärrys lämmönsiirtymismekanismeista ovat myös kehittyneet ajansaatossa, ja tällä hetkellä levylämmönsiirrinvalmistajat tuntuvatkin keskittyvän erityyppisten levyprofiilien kehittämiseen. Työn aikana tuli yllätyksenä, kuinka monta erityyppistä profiilia lämmönsiirtolevyihin onkaan valittavana, riippuen valmistajasta.

Suurimmat muutokset tulevaisuudessa luultavimminkin ovat lämmönsiirtopintojen kehittyminen niin, että likaantuminen ja sen vaikutukset vähenevät. Lisäksi tulevaisuudessa voidaan päästä levylämmönsiirtimissä vieläkin ohuempiin levypaksuuksiin, kuitenkin niin, ettei paineenkesto lämmönsiirtimissä vähene. Myös tiivisteet tulevat uskoakseni muuttumaan niin, että yhä useammassa tapauksessa levylämmönsiirtimet ajavat putki- ja vaippalämmönsiirtimien ohi.

Nykypäivänä erityyppisiä lämmönsiirtimiä ja niiden malleja löytyy markkinoilta sekä laivoilta todella paljon. Tätä työtä tehdessäni rajausta lämmönsiirtimien kesken oli hyvin hankalaa tehdä. Tähän työhön valitut lämmönsiirtimet ovat tutuimpia allekirjoittaneelle, sekä ehkä yleisimpiä laivoilla. Täytyy kuitenkin muistaa, että laivoilta löytyy useita muunkin tyyppisiä sekä mallisia lämmönsiirtimiä, joilla jokaisella on oma tärkeä tehtävänsä monimutkaisessa järjestelmässä, eikä niitä tässä työssä mainittu.

LÄHTEET

1. Fagerholm N-E 1986. Termodynamiikka. Otatieto Oy Espoo.
2. Wang L., Sunden B. & Manglik R. M. 2007. Plate Heat Exchangers: Design, Applications and Performance. Great Britain: WIT Press. Verkkodokumentti. <http://books.google.fi/books?id=P3qTR8YHLHgC&printsec=frontcover&hl=fi#v=onepage&q&f=true> [Viitattu 15.10.2015]
3. Verkkodokumentti. <http://personal.inet.fi/private/procyon/pub/Termo.pdf> [Viitattu 15.10.2015.]
4. Kelvion yhtiön kotisivu. Kirjoittaja ei tiedossa. Verkkodokumentti. <http://www.gea-heatexchangers.com/us/products/plate-heat-exchangers/gasketed-plate-heat-exchangers/free-flow/> [Viitattu 27.10.2015]
5. Häkkinen P 1998. Laivan koneistot, 6 painos. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.
6. Eduardo C 2009. Heat Transfer in Process Engineering. The McGraw-Hill Companies
7. Inkinen P & Tuohi J 1986. Momentti 1 Insinöörifysikka, 2 painos. Otavan Kirjapaino Oy
8. Sarang N 2014. Verkkodokumentti. <https://www.quora.com/Why-is-a-counter-flow-heat-exchanger-better-than-a-parallel-flow-heat-exchanger> [Viitattu 4.4.2016]
9. Wiki.metropolia.fi. Kirjoittaja ei tiedossa. Verkkodokumentti. <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus> [Viitattu 4.4.2016]
10. Sam K 2012. Verkkodokumentti. <http://www.inclusive-science-engineering.com/comparison-between-four-types-of-heat-exchangers/> [Viitattu 4.4.2016]
11. Alfa Laval. Kirjoittaja ei tiedossa. Verkkodokumentti. <http://docplayer.fi/1184012-Juotetut-levylammonsiirtimet-lvi-tuoteluettelo.html>. [Viitattu 4.4.2016]

12. Bengtson H 2010. Verkkodokumentti.

<http://www.brighthubengineering.com/hvac/64548-double-pipe-heat-exchanger-design/#> [Viitattu.5.4.2016]

13. Müller-steinhagen H 2000. Heat Exchanger Fouling Mitigation and Cleaning Technologies. PUBLICO Publications.

14. Verkkodokumentti.

<http://www.dmimfg.com/pdf/Shell%20%20Tube%20Installation,%20Operation%20%20Maintenance%20Manual.pdf> [Viitattu.11.4.2016]

KUVALUETTELO

Kuva 1. Jonkin laivan merivesijäähdytys järjestelmä.

Saatavissa: <http://boedakbintan.blogspot.fi/2010/04/cooling-system.html>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 2. Pyörivä regeneraattori.

Saatavissa: <http://www.sunech.com/2008/11/14/alternativ-luftkoling/>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 3. Lämmönsiirtimien jaottelu.

Saatavissa: <http://www.slideshare.net/KJSavaliya/classification-of-heat-exchanger-50655291>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 4. lämmönjohtuminen kappaleesta toiseen

Saatavissa: <http://www.daikin.fi/support-and-manuals/faq/general/faq9.jsp>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 5. Sähkömagneettisen säteilyn spektri

Saatavissa: file:///H:/luento_3.pdf
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 6. Konvektio

Saatavissa: <http://www.daikin.fi/support-and-manuals/faq/general/faq9.jsp>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 7. Vastavirtaus.

Saatavissa: <http://me1065.wikidot.com/micro-scale-heat-exchangers>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 8. Ristivirtaus. Saatavissa: <http://me1065.wikidot.com/micro-scale-heat-exchangers>

[viitattu 11.4.2016]

Kuva 9. Pakokaasukattila, jossa ristivirtaus. Saatavissa:
<http://www.saacke.com/products/marine-boilers/emb-eme/>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 10. Myötävirtaus. Saatavissa: <http://me1065.wikidot.com/micro-scale-heat-exchangers>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 11. Laminaarinen virtaus. Saatavissa:
<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 12.. Turbulenttinen virtaus. Saatavissa:
<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 13. Saman lämpötehon omaavien levy- ja putkilämmönsiirrinten ko-koero. Saatavissa: <http://www.promarmatura21.ru/page-alfa3.html>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 14. Eri profiilein varustettuja lämmönsiirtolevyjä. Saatavissa:
<http://nkr.com.pk/plateheat.html>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 15. Matala ja jyrkkäkulmainen v-profiili. Saatavissa:
http://www.funke.de/files/funke_phe_e.pdf
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 16. Eri tyyppisiä pyykkilautaprofiileja. Saatavissa:
<https://books.google.fi/books?id=P3gTR8YHLHgC&printsec=frontcover&hl=fi#v=onepage&q&f=true>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 17. Tiivisteellisen levylämmönsiirtimen rakenne. Saatavissa:
<http://blog.daum.net/blog/BlogTypeView.do?blogid=0MZC0&articlno=7644013>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 18. Tiiviste varustettuna kiinnikeillä. Saatavissa:
<http://www.indiamart.com/patilthermoplastics/milk-dairy-material-product.html>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 19. Puolihitsatun levylämmönsiirtimen lämpölevyn rakenne. Saatavissa
<http://jsyjojo.en.made-in-china.com/product-group/belJkilHCrWs/Semi-Welded-Plate-Heat-Exchanger-catalog-1.html>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 20. TEMA standartit. Saatavissa:
<http://www.slideshare.net/KJSavaliya/classification-of-heat-exchanger-50655291>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 21. Kaksoisputkilämmönsiirtimen toimintaperiaate. Saatavissa: <http://global.britannica.com/technology/concentric-tube-heat-exchanger>
www.webbustertz.org/what-is-shell-and-tube-heat-exchanger/
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 22. Kaksoisputkilämmönsiirrin. Saatavissa: <http://stamixco-mex.com/english.htm>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 23. Yksivaiheinen suoraputkilämmönsiirrin. Saatavissa: http://www.engineeringpage.com/heat_exchangers/tema.html
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 24. Eduardo Cao. Heat Transfer in Process Engineering. ISBN 978-0-07-162408-4

Kuva 25. U-putkilämmönsiirrin. Saatavissa: <http://www.ansonindustry.com/pressure-vessel/u-tube-heat-exchanger.html>
[viitattu 11.4.2016]

Kuva 26. Painemittarilla ja hanalla varustettu ilmansyöttö instrumentti.
24.1.2016. Koivuharju Juho

Kuva 27. Väliaikaisia tulppia. 24.1.2016 Koivuharju Juho

Kuva 28. Putki tulppia. 24.1.2016 Koivuharju Juho

Kuva 29. Hans Müller-steinhausen. Heat Exchanger Fouling Mitigation and Cleaning Technologies. 2000. ISBN 0-85295-436-0

Kuva 30. Eduardo Cao. Heat Transfer in Process Engineering. ISBN 978-0-07-162408-4

Kuva 31. Hans Müller-steinhausen. Heat Exchanger Fouling Mitigation and Cleaning Technologies. 2000. ISBN 0-85295-436-0

Kuva 32. Saatavissa: <https://www.ultrasoniccleaning.com/ultrasonic-cleaning-faqs/> [viitattu 11.4.2016]