

Anssi Koskenoja

KENTÄNHEIKENNYKSEN KÄYTTÖ POTKURILAITTEISSA

Kone- ja Tuotantotekniikan koulutusohjelma

2015

KENTÄNHEIKENNYKSEN KÄYTTÖ POTKURILAITTEISSA

Koskenoja, Anssi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tammikuu 2015
Ohjaaja: Juuso, Jarmo
Sivumäärä: 44
Liitteitä: 0

Asiasanat: Kentänheikennys, jäähdytys, potkurilaitte, tehohäviö

Opinnäytetyössä tutkittiin kentänheikennyksen käyttöä potkurilaitteissa. Työn tarkoituksena oli selvittää mitä tutkittavissa potkurilaitteissa tapahtuu, kun kentänheikennys on käytössä. Opinnäytetyössä tutkittiin jäähdytystä, voitelu, akseleita sekä potkurin hyötysuhdetta. Varsinkin jäähdytys ja voitelu nousivat työssä keskeiseen asemaan, sillä niiden toiminta sanelee koko potkurilaitteen toiminnan.

Jäähdytystä tutkittiin siltä siitä näkökulmasta miten paljon tehohäviötä syntyi jäädytysöljyn ja hammaspyörästöjen aiheuttaman vatkauksen vuoksi. Tutkimisessa käytettiin apuna vanhoja Rolls-Roycen henkilökunnan potkurilaitteiden koekäyttö päiväkirjoja. Päiväkirjojen avulla selvitettiin potkurilaitteen jäähdytysöljyn käyttäytymistä, kun kierrosnopeudet kasvoivat sekä mitä tehohäviön kasvulle kävi eri kierrosnopeuksilla. Opinnäytetyössä käytiin myös hieman läpi box cooler ja PF-P jäähdytysmenetelmät, joita on käytössä aluksilla.

Opinnäytetyössä käytiin läpi, miten potkurin hyötysuhdetta mitattiin sekä yleisesti potkurin toimintaa työntövoiman synnyttämisessä. Opinnäytetyön kappaleessa käytiin myös läpi miten ideaaliruuvipotkuri teoriaa sekä ruuvipotkurin rakennetta. Kappaleessa käytiin myös läpi kavitaation perusteet.

Akseleiden herätteiden syntyyn vaikuttivat laakerivälien sijainti suhteessa akseliin. Liian pitkin tai lyhyin välein asennetut laakerivälit synnyttivät akselille herätteitä, jolloin akselien toiminta alkoi kärsiä. Akselien värähtelyä kyettiin estämään sijoittamalla akselien väliin joustavat kiinnikkeet, joiden avulla yksittäisen akselin värähtely ei päässyt leviämään muuhun akseli ryhmään.

Työssä myös otettiin kantaa mitä pitäisi suunnittelussa ottaa huomioon, kun suunnitellaan kentänheikennyksellä varustettua potkurilaitetta. Suurin painopiste annettiin jäähdytyksen sekä voitelun suunnittelulle. Ilman niiden kunnollista toimintaa tulisi potkurilaitteen toimintaan häiriöitä tai sen toiminta ei olisi 100 %. Kappaleessa myös pohdittiin akselien kykyä toimia kentänheikennyksellä sekä ei-kentänheikennyksellä varustettujen potkurilaitteiden akseleina, ilman että niitä muokattaisiin.

FIELD WEAKENING IN THRUSTERS

Koskenoja, Anssi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical & Production Engineering

February 2015

Supervisor: Juuso Jarmo

Number of pages: 44

Appendices: 0

Keywords: Field weakening, cooling, thrusters, power dissipation

The purpose of this thesis was to discover the use of field weakening in thrusters. The main purpose of this thesis was to research what happened to machine parts while using field weakening. These machine parts were cooling oil, lubricant, axis and the efficiency of azimuth- and contax-thrusters. Research of cooling and lubrication where in the main part, as they dictate mainly how the thruster works.

Cooling was researched from view as how much of power dissipation is generated because of whipping lost made by cooling oil and gear wheel. Old Rolls-Royce Oy Ab's staffs test diaries were used on research of cooling oil and dependence of rpms to warming up of cooling oil.

In this thesis also researched how propel efficiency rate was measured out and how propel creates thrust for motion. Thesis also researched ideal screw propeller theory and the structure of screw propeller.

Axis impulses birth is in correlation to spacing of bearings which support the rotating axis. Axis space bearings that are placed too widely or too close to other bearings would create axis impulses. Thesis researched how birth of axis impulses could be blocked out.

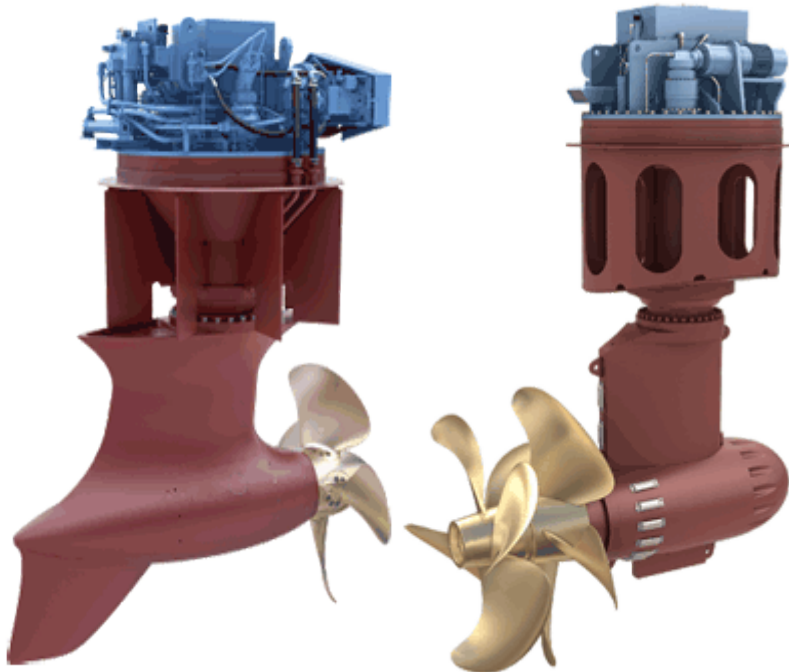
In this thesis is told what should be taken in to consideration while designing thruster which uses field weakening. Largest value in this paragraph was given to designing of cooling and lubrication as they are one of the most important parts of thruster.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	YRITYS ESITTELY	7
2.1	Rolls-Royce plc.....	7
2.2	Rolls-Royce Marine	8
2.3	Rolls-Royce Oy Ab.....	9
3	KENTÄNHEIKENNYKSEN PERUSPERIAATE.....	12
3.1	Kentänheikennyksen luominen.....	12
3.2	Miksi kentänheikennystä käytetään	15
4	VAIKUTUKSET POTKURILAITTEESEEN	16
4.1	Missä kentänheikennystä käytetään	16
4.1.1	Azipull-potkurilaite	16
4.1.2	Contaz-potkurilaite	17
4.1.3	Jäänmurtajat	18
4.2	Kunnonvalvonta/Kunnossapito.....	20
4.3	Potkuri.....	20
4.4	Laakerointi	21
5	VOITELU JA JÄÄHDYTYS.....	23
5.1	Lämmöntuotto ja vatkauhäviöt.....	23
5.2	Jäähdytys.....	25
6	POTKURIN HYÖTYSUHDE	29
6.1	Ideaalipropulsorin teoria	29
6.2	Ruuvipotkuri	31
6.3	Kavitaation synty yleisesti	33
7	TAIVUTUSVÄRÄHTELY/AKSELIT.....	35
7.1	Akseleiden välitykset	36
7.2	Akseleiden herätteet	36
8	TIIVISTEIDEN KULUMINEN.....	38
8.1	Yleisesti.....	38
8.2	Pv-arvon muutos	39
9	SUUNNITTELUPROSESSISSA HUOMIOITAVAA.....	41
10	TULOKSET	42
11	PÄÄTELMÄT.....	44
11.1	Kiitokset.....	45
	LÄHTEET	46
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutustutaan kentänheikennykseen sekä mitä kentänheikennys vaikuttaa azipull- ja contaz-potkurilaitteisiin. Työssä tarkennetaan vain kyseisiin potkurilaitteisiin, sillä niissä käytetään eniten kyseistä potkurilaitteen käyttötapaa. Työssä tarkastellaan voitelua, jäähdytystä, akseleita sekä potkurilaitteita ja selvitetään mitä näille tapahtuu kentänheikennyksen aikana. Työn teettämiseksi syntyi tarvetta, kun Rolls-Royce Oy Ab:n asiakkailta on tullut yhteydenottoja koskien kyseistä potkurilaitteen käyttötapaa kohtaan. Nykyään varustamot haluavat karsia polttoaine kuluja sekä lyhentää siirtymäaikoja kokonaiskulujen karsimiseksi.



Kuva 1. Azipull-potkurilaite (Rolls-Royce Marine www-sivut)

Kuva 2. Contaz-potkurilaite (Rolls-Royce Marine www-sivut)

Kentänheikennys eroaa tavallisesta potkurilaitteen käytöstä siinä, että kentänheikennyksellä ajettaessa potkurilaitteen käyttökierrokset ovat korkeammat, kuin mihin alun perin laitteen suunnittelussa on ajateltu. Kentänheikennystä potkurilaitteissa käytetään vielä vähän, mutta tulevaisuudessa sen käyttöä tullaan lisäämään. Kentänheikennyksen etuja on saavutetun nopeuden lisääminen, josta

korreloituu myös säästyvä aika, aluksen käyttäessä kentänheikennystä kevyen lastin off-transit ajossa.

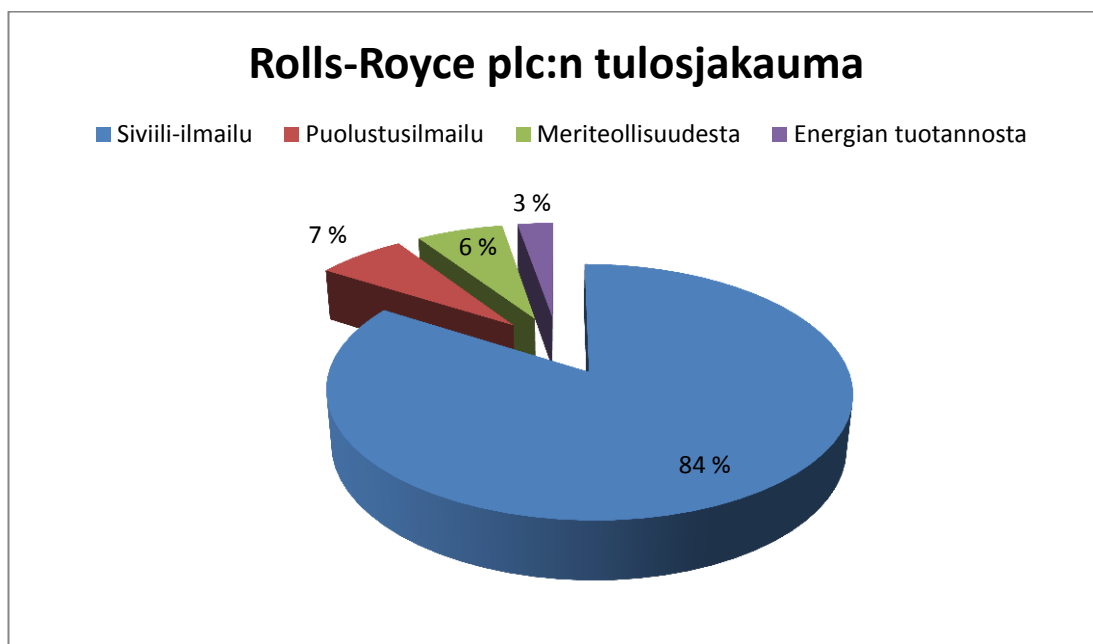
Työssä tarkennutaan edellä mainittuihin tarkastelu kohteisiin. Työn tavoitteena on selkeyttää lukijalle, mitä kentänheikennys on, missä sitä käytetään sekä miten sitä käytetään. Työssä tarkastellaan miten jäähdytys/voitelu toteutuu tarkasteltavissa potkurilaitteissa sekä mitä niissä pitää huomioida kentänheikennyksen vuoksi. Potkurin hyötysuhdetta tarkastellessa, tutkitaan miten kentänheikennys vaikuttaa potkurin toimintaan, kun ylitetään ns. suunnittelupiste. Akseleita tarkastellessa, tutkitaan miten kentänheikennys vaikuttaa akseli herätteiden syntyyn ja miten niitä voitaisiin pienentää. Työn lopussa käydään läpi saadut tulokset ja luodaan päätelmät niiden pohjalta.

2 YRITYS ESITTELY

2.1 Rolls-Royce plc

Rolls-Royce perustettiin vuonna 1906, kun Henry Royce ja Charles Rolls muodostivat yhdessä yrityksen, joka alkoi valmistaa autoja sekä lentokoneen moottoreita 1900-luvun alussa. Siitä yritys on kasvanut globaaliksi pörssiyhtiöksi, joka työllistää yli 30 000 henkilöä ympäri maailmaa. Rolls-Royce konserni on jakautunut neljään osaan, jotka ovat siviili-ilmailu, puolustus ilmailu, meriteollisuus ja energiateollisuus. Yhtiö on tunnettu varsinkin sen valmistamista lentokoneen moottoreista, joista syntyy yrityksen suurimmat tulon lähteet.

Vuonna 2013 tilauskirjan arvo oli 71,612 miljardia puntaa. Kasvua vuoteen 2012 tuli 19%. Yrityksen tilauskirjan arvosta noin 84% tuli siviili-ilmailusta, 5,7% tuli puolustus ilmailusta, 5,6% tuli meriteollisuus yksikön toiminnasta ja 2% energian tuotannosta. (Rolls-Royce www-sivut, viitattu 11.09.2014)



Kaavio 1. Tuloksen jakautuminen vuonna 2013.

2.2 Rolls-Royce Marine

Rolls-Royce Marinen laitteita on asennettu yli 30 000 alukseen ympäri maailmaa, sekä yritys palvelee yli 4000 asiakasta globaalisti. Yrityksen juuret ovat vuodessa 1831, jolloin J. Stone-yritys perustettiin. J. Stone valmisti kuparisia nauvoja, niittejä ja kiinnittimiä lontoolaisille telakoille. (Rolls-Royce Oy Ab intra, Ei saatavilla)

Rolls-Royce Marinen tuotepaletti koostuu

- Diesel ja sähkömoottoreista
- Laivan suunnittelusta
- Propulsio peräsimestä? (podded propulsors)
- ydinkäyttöisistä propulsio voimanlähteistä
- Sähköjärjestelmistä
- Laakereista
- Peräsimestä
- Automaatiosta/ohjauslaitteistoista
- Propulsio/Potkureista
- Azimuth potkurilaitteista
- Vesipropulsiolaitteet
- Vakaajista
- Tunnelipotkureista
- Ohjausvälineistöstä
- Kansikone
- Huolto

(Rolls-Royce Marine www-sivut, viitattu 11.09.2014)

2.3 Rolls-Royce Oy Ab

Rauman yksikön historia alkaa 1940-luvulta, kun ensimmäiset RAUMA-vintturit valmistettiin. Vuonna 1965 valmistuivat Raumalla ensimmäiset Aquamasters-potkurilaitteet. Vuonna 1988 Hollming konepaja ja Rauma-Repolan kansikonetehtas yhdistyivät ja muodostivat Aquamaster-Rauman.

Vuonna 1995 englantilaisperäinen Vickers plc osti Aquamasters-Rauma Oy:n ja yrityksen nimeksi muuttui Kamewa group. Raumalla toiminta pysyi ennallaan ja vuonna 1999 Rolls-Royce osti Vickers plc yhtiön kokonaisuudessaan. Vesivetolaitteita valmistava FF-Jet fuusioitui Rolls-Royce Oy Ab:n kanssa vuonna 2001.

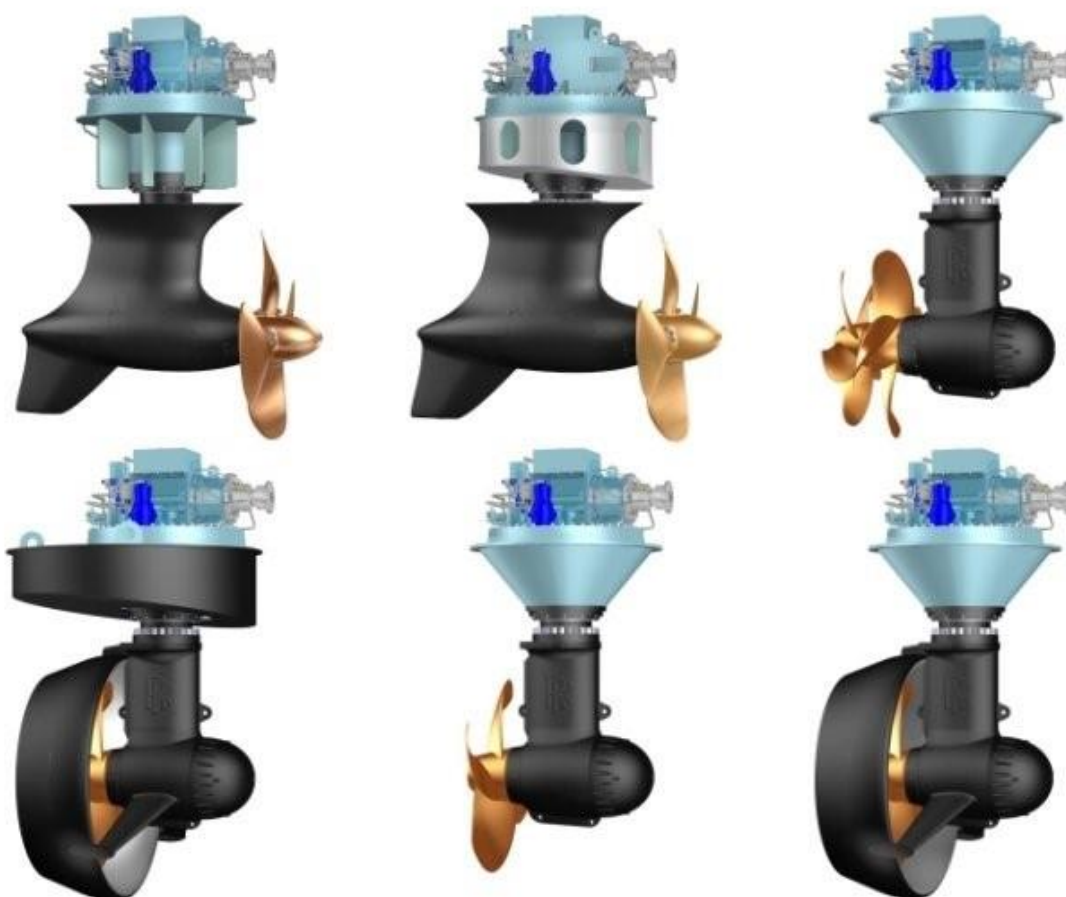
Rolls-Royce Oy Ab vuoden 2013 liikevaihto oli lähes 580 miljoonaa euroa ja liikevoiton osuus oli noin 103 miljoonaa euroa. Yritys työllisti suoraan 605 henkilöä vuonna 2013 ja tuhansia epäsuorasti.



Kaavio 2. Rolls-Royce Oy Ab:n vuoden 2013 tulostjakauma.

Rolls-Royce Oy Ab on osa Rolls-Royce Marine toimialaa. Rolls-Royce Oy Ab:n Suomen kaksi toimipaikkaa sijaitsevat Raumalla ja Kokkolassa. Raumalla valmistetaan potkurilaitteita ja vintturijärjestelmiä. Kokkolassa valmistetaan vastaavasti vesipropulsiolaitteita.

Rauman toimipisteessä valmistetaan lähes kaikki Rolls-Roycen Marinen tuottamat potkurilaitteet. Rolls-Royce on maailman johtavin 360° potkurilaitte valmistaja. Käyttökohteita, joissa potkurilaitteita käytetään ovat hinaajat, maantielautat, kauppa-alukset sekä Offshore-huoltoalukset. Rolls-Royce Oy Ab on valmistanut Suomessa toimivien Nordica ja Fennica monitoimijäänmurtajien suuret potkurilaitteet. Molemmissa aluksissa on kaksi kappaletta 7500 kW:n potkurilaitetta, joiden korkeus on noin 10 m ja potkurilaitteen halkaisija on noin 4,2 m.



Kuva 2. Potkurilaitteet, joita Rolls-Royce Oy Ab valmistaa. (Rolls-Royce Oy Ab intra, Ei saatavilla)

Vintturijärjestelmissä Rolls-Royce Marine on maailman johtavin ankkuri- ja kiinnitysjärjestelmien valmistaja. Raumalla suunniteltavien vintturijärjestelmien tuotevalikoimaan kuuluvat sähköiset ja hydrauliset ankkuri- ja kiinnitysjärjestelmät, hinausjärjestelmät sekä offshore-järjestelmät, joihin kuuluvat mm. ankkurinkäsittelyjärjestelmät. Suurimmat toimitetut laitteet ovat olleet vetovoimiltaan yli 600 Ton. Kyseisiä järjestelmiä käytetään pääasiassa konttialuksissa, tankkereissa, matkustaja-aluksissa ym. kauppalaivoissa. Lähes 95 % vientiin menevistä tuotteista lähtee telakoille valmistuviin laivoihin. Vintturijärjestelmien markkinointi, suunnittelu ja myynti tapahtuvat Rauman toimipisteessä. (Rolls-Royce Oy Ab intra, Ei saatavilla)

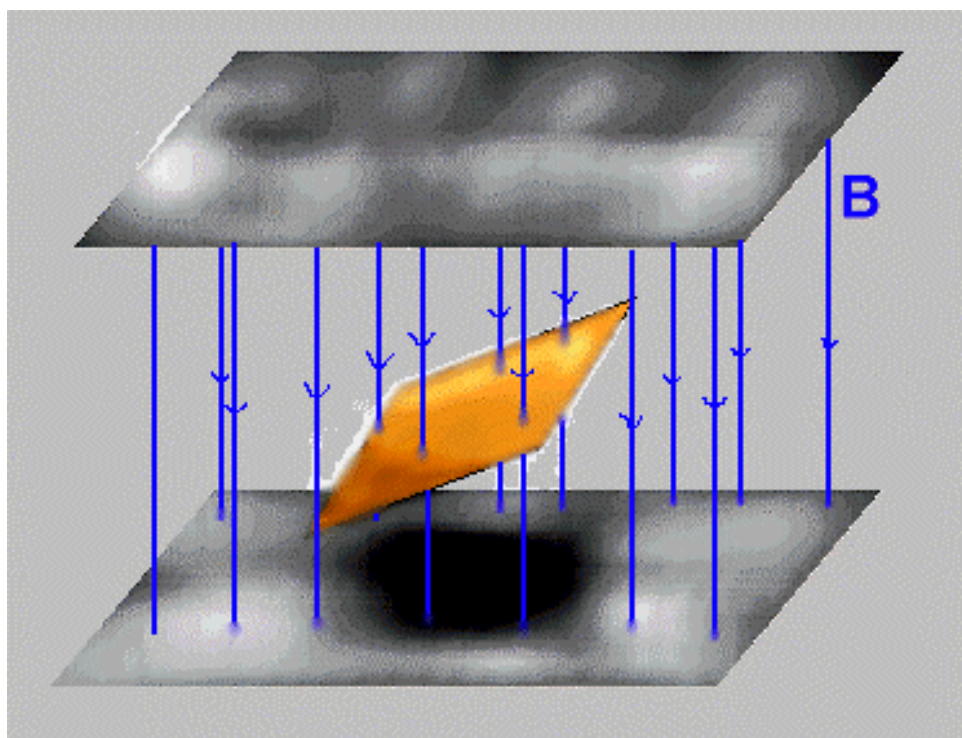


Kuva 3. Kansi vintturijärjestelmä (Rolls-Royce Oy Ab intra, Ei saatavilla)

3 KENTÄNHEIKENNYKSEN PERUSPERIAATE

3.1 Kentänheikennyksen luominen

Kun sähkövirta kulkee sähköjohtoa pitkin se luo johdon ympärille sähkömagneettisen kentän. Samalla se luo myös magneettivuon. Magneettivuo sekä sähkömagneettinen kenttä yhdessä läpäisevät joitakin pintoja. Kuvassa 3. tätä on havainnollistettu.



Kuva 4. Kuvaus magneettivuoasta ja tiheydestä B. (Rolls-Royce Oy Ab, sisäinen dokumentti, Ei saatavilla)

Nykyään on olemassa useita erilaisia sähköohjattuja moottori vaihtoehtoja potkurilaitteille. Tänä päivänä on yleistä käyttää taajuusmuuntajaa moottorin ohjauksessa. On olemassa taajuusmuuttajia, jotka perustuvat virransäätöön sekä taajuusmuuttajia, jotka perustuvat jänniteensäätöön.

Vääntövoiman hetkittäistä lisäämiskykyä ei tule sekoittaa kentänheikennys kyvyn kanssa. Kentänheikennys mahdollistaa sähkökoneen toiminnan muulla kuin suunnitellulla taajuudella. Kentänheikennystä käytetään kun maksiminopeutta ei

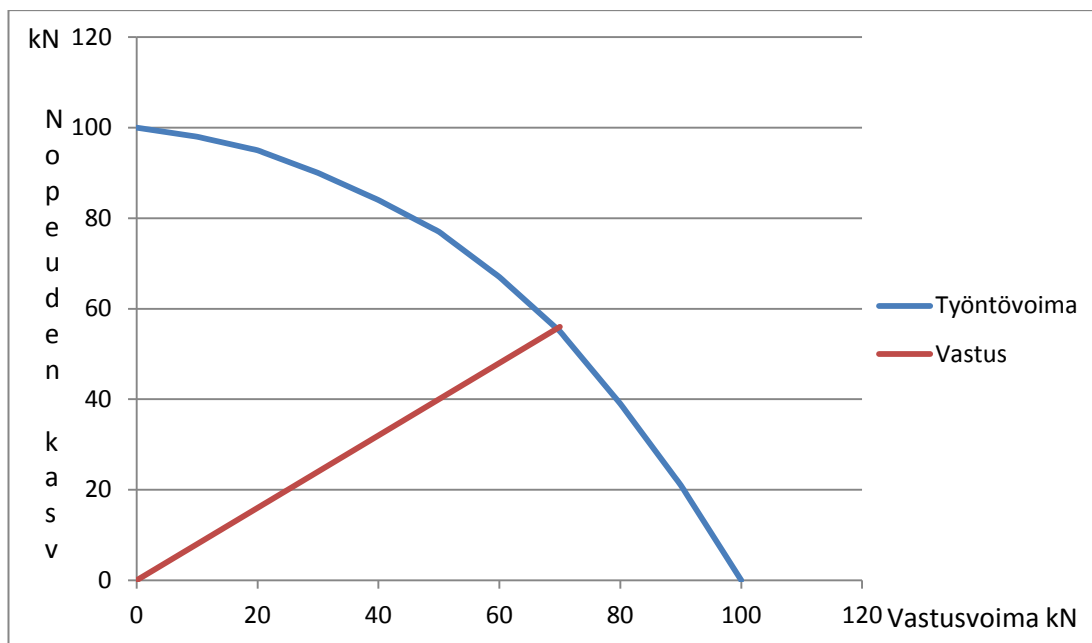
voida saavuttaa lisäämällä käytettävää jännitettä. Kentänheikennystä voidaan käyttää vain virtaohjatuissa moottoreissa

Yleensä sähkömoottorin ohjausjärjestelmä koostuu vaihesiirtomuuntajasta, pulssin muokkaus modulaatio taajuusmuuttajasta ja asynkronisesta vaihtovirtamoottorista. Moottorin nopeutta ja potkurin nopeutta voidaan säätää, muuttamalla taajuusmuuttajalta ulos lähtevää taajuutta.

Pitäessä korkeaa vääntömomenttia läpi nolasta nimelliskierrosnopeuteen, asynkronisen vaihtovirtamoottorin vuon pitäisi olla vakio. Nimelliskierrosnopeudessa jännite sekä virta pysyvät muuttumattomina, josta johtuen voima on myös muuttumaton. Alue, jossa voima pysyy vakiona sekä vääntömomentti vähenee kutsutaan kentänheikennys alueeksi.

Nostamalla taajuutta vakiojännitteellä, moottori toimii perusnopeuden ja vuon yläpuolella. Tästä johtuen vääntömomentin saatavuusalue vähenee. Saatavuusalueen vähenemistä on havainnollistettu kaavioissa 4. kentänheikennyksen kanssa ja kaaviossa 5. ilman kentänheikennystä.

T = vääntömomentti	$\left[\frac{N}{m}\right]$	$\approx I * \Phi$
I = virta	[A]	Tai
P= teho	[W]	$T = \frac{P}{\omega}$
ω = kulma kiihtyvyys	$\left[\frac{rad}{s^2}\right]$	



Kaavio 3. Y-akselilla työntövoiman kasvu ja X-akselilla vastusvoiman. Vastusvoiman kasvaessa, potkurilaitteen työntövoima laskee.

Vääntövoiman hetkittäistä lisäämiskykyä ei tule sekoittaa kentänheikennys kyvyn kanssa. Kentänheikennys mahdollistaa sähkökoneen toiminnan muulla kuin suunnitellulla taajuudella. Kentänheikennystä käytetään kun maksiminopeutta ei voida saavuttaa lisäämällä käytettävää jännitettä. Tätä voidaan käyttää vain virtaohjatuissa moottoreissa. (Rolls-Royce Oy Ab, sisäinen dokumentti, Ei saatavilla)

Potkurilaitteen potkuri pyörii nopeammin, kuin suunnittelupisteessä, jolloin sen luoma työntövoiman momentti pienenee. Vastaavasti jos potkurin tip-speed on hitaampi kuin suunnittelupisteessä, on tällöin potkurissa vaikuttava momentti suurempi. Kentänheikennyksellä päästään alimomentti alueelle eli Va- puolelle. Tällöin alus kulkee nopeammin, kun se on kevyessä lastissa tai tyhjillään. Vastaavasti ylimomentin puolelle mennään kun aluksen potkurilaite ei pääse nominaalimomenttiin vaan jää sen alle. Ylimomenttia eli Va+ puolta tapahtuu esimerkiksi jäänmurtajilla, kun ne kohtaavat paksumpaa jäätä, kuin aluksen suunniteltu jäänmurtopaksuus on. Yhteenvetona kentäheikennyksestä voidaan todeta, että potkurilaitteen antaman momentin pienentyessä kasvaa tällöin potkurin nopeus tiettyyn pisteeseen saakka.

3.2 Miksi kentänheikennystä käytetään

Potkurilaitte on suunniteltu siten että se vastaa alukselle suunniteltua nopeutta ja potkurille annettuja parametreja, kuten tehoa, vääntömomenttikykyä, pyörimiskierrosaluetta ja sisään virtausnopeutta. Taajuusmuuntajalla voidaan säätää potkurinlapojen nopeutta täysin, jolloin myös aluksen saamaa työntövoimaa voidaan säätää halutunlaiseksi. Käyttämällä kentänheikennystä käyttökiertoja voidaan nostaa 10 - 20% nimellisarvosta, riippuen suunnitellusta potkurilaitteesta. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan vain azipull- ja contaz-potkurilaitteilla käytettävää kentänheikennystä.

Azimuth-potkurilaitteilla kentänheikennys alue voidaan asettaa 10 % korkeammaksi kuin nimelliskierrosalue on. Tällä kyetään saavuttamaan laajempi käyttö-alue, jossa potkuri kykenee toimimaan täydellä teholla. Avoimilla vesialueilla voidaan myös kasvattaa potkurin antamaa tehoa verrattaessa aluksiin, joissa ei ole kentän heikennystä käytössä. Kaaviossa 4. on esitetty kaavio, jossa kentän heikennys alkaa kuuden solmun nopeudesta ja päättyy 14:sta solmun nopeuteen. (Rolls-Royce Oy Ab, sisäinen dokumentti, Ei saatavilla)

4 VAIKUTUKSET POTKURILAITTEESEEN

4.1 Missä kentänheikennystä käytetään

Korkeampaa kierrosnopeutta tarvitaan kun aluksen potkuri toimii jo täydellä teholla paikallaan pysyessään tai liikkeessä. Tällöin potkurin kierrosnopeutta pitää kasvattaa, jotta virtausnopeutta saadaan nopeammaksi. Kentänheikennyksellä myös ajetaan alusta nopeammin, kun aluksella ei ole lastia tai sen lastimäärä on pieni. Kentänheikennyksellä kyetään säästämään aikaa, joka siirtymisessä kuluu. Kentänheikennystä käytetään sähkötoimisissa potkurilaitteissa, kuten azipull- ja contaz-potkurilaitteissa. (Rolls-Royce Oy Ab, sisäinen dokumentti, Ei saatavilla)

4.1.1 Azipull-potkurilaite

Azipull-potkurilaitteet yhdistävät vetävän potkurin ja mekaanisen tehonsiirron sekä kyvyn hyödyntää yleisimpiä voimanlähteitä (diesel, nestekaasu ja sähkö). Azipull on suunniteltu tarjoamaan tehokasta propulsiota sekä hyvää ohjattavuutta nopeakulkuisimmissa aluksissa. Potkurilaitteeseen on suunniteltu virtaviivaisen muotoinen jalka sekä evä, joiden avulla potkurilaite kerää läpivirtaukseen sitoutunutta energiaa. Näin potkurilaite lisää synnyttämänsä propulSION tehokkuutta.

Potkurilaitteen jalalla on leveä keskusta, jolla optimoidaan peräsimen toimintaa sekä pystytään parantamaan aluksen kurssissa pysymistä. Azipull-potkurilaitteessa voidaan käyttää joko säädettäviä potkurilapoja tai säätämättömiä potkurilapoja. Säädettävillä potkurilavoilla potkurilaite saavuttaa paremman ja laajemman joustavuuden, voimanlähteeseen liittyen.

Vastaavasti kiinteä kulmaisilla potkureilla varustettu potkurilaite pitää suunnitella ja liittää aluksen rungon mukaan, jotta saavutettaisiin paras lopputulos. Kiinteä kulmaisella potkurilla varustettu potkurilaite pitää suunnitella aina erikseen, jotta kyetään vähentämään aluksen runkoon syntyviä kuormituksia mahdollisimman paljon. (Rolls-Royce Marine www-sivut. Viitattu 22.09.2014)



Kuva 5. Azipull-potkurilaite (Rolls-Royce Marine www-sivut)

4.1.2 Contaz-potkurilaite

Contaz on aluksen peräosaan sijoitettava potkurilaite ja contaz kykenee muotoilunsa ansiosta keräämään osan syntyneestä energiahukasta takaisin läpivirtauksesta, kuten myös suuret pyörimishäviöt. Siksi contaz-potkurilaitteella on alemmat tehovaatimukset, kuin muilla potkurilaitteilla. Tästä johtuen voidaan säästää tilaa ja alentaa polttoainekustannuksia aluksella.

Jokainen contaz-potkurilaite on suunniteltu alukseen sopivaksi. Valittavana on laaja tarjonta eripituisia varsia potkurilaitteelle. Contaz-potkurilaitteeseen voidaan myös asentaa pehmeä kytkin, jos asiakas sitä pyytää. Contanz-potkurilaitteella saadaan täysi ohjattavuus jo alhaisilla nopeuksilla. Potkurilaitteessa on pieni potkurihalkaisija, joka on ideaalinen matalissa vesissä liikkuville aluksille. Contaz potkurilaite tuottaa myös vähän ääntä ja värinää. Contaz-potkurilaite on ideaalinen

matkustajalautoille ja matalissa vesissä liikkuville lautoille. (Rolls-Royce Marine www-sivut. Viitattu 22.09.2014)



Kuva 6. Contaz-potkurilaitte (Rolls-Royce Marine www-sivut)

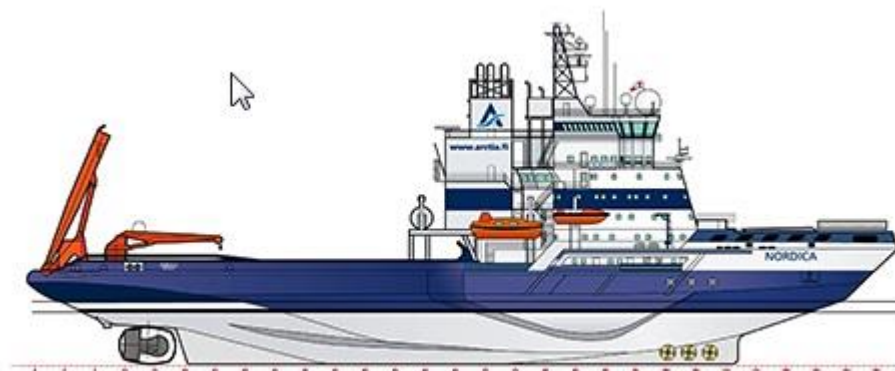
4.1.3 Jäänmurtajat

MSV Fennica on monitoimijäänmurtaja, jolla on kyky toimia monissa erityyppisissä tehtävissä. Tehtäviä, joita monitoimijäänmurtaja alukset kykenevät suorittamaan voivat olla offshore-tukialuksena toiminen tai matkustaja alusten hinaaminen talvella, jääolosuhteiden niin vaatiessa. Aluksessa on kaksi kappaletta Aquamasters Azumuth- suulakepotkurilaitetta, joiden teho on 15 000 kW. (Artica Shipping www-sivut. Viitattu 12.10.2014)



Kuva 7. MSV Fennica (Artica Shipping www-sivut)

MSV Nordica on MSV Fennican sisaralus, joka on rakenteeltaan lähes identtinen. Myös kyseisessä aluksessa on kaksi kappaletta Aquamastersin Azimuth-suulakepotkurilaitetta, joiden teho on 15 000 kW. Molemmat alukset toimivat kesäkausina Shell-öljy-yhtiön tukialuksina Pohjoisella jäämerellä. MSV Nordican erikoisuus on aluksella oleva 160 tonnin nostokyvyn omaava nosturi sekä mahdollisuus asentaa A-raamit tarvittaessa, kuten myös MSV Fennicalla. Molemmilla aluksilla on suuri paaluvetovoima, joka on noin 230 tonnia. (Artica Shipping www-sivut. Viitattu 12.10.2014)



Kuva 8. MSV Nordica (Artica Shipping www-sivut)

4.2 Kunnonvalvonta/Kunnossapito

Kentänheikennyksellä on kulumista lisäävä vaikutus tarkasteltaviin koneenelimiin. Kunnonvalvonnalla pyritään reagoimaan ennaltaehkäisevästi laitteessa syntyvässä oleviin vikoihin ja rikkoutumisiin. Varsinkin laakereissa on tärkeä seurata niiden kuntoa. Laakereita seuraamalla voidaan alustavasti jo päätellä missä kunnossa esimerkiksi akseli on. Laakereiden lämmönjohtavuuden ja lämpötilojen noustessa säädettyjen arvojen yläpuolelle, ne eivät enää kykene tuottamaan vaadittuja liukuominaisuuksia. Varsinkin voimantuotossa tämä tulee näkyviin huonompana momenttina sekä heikompana suoritustehona.

Rolls-Royce tarjoaa online-mittausta ja offline-mittausta. Näistä online-mittaus on kalliimpaa, mutta sillä asiakas saa lähes reaaliaikaista tietoa kone-elimien kunnosta ja toiminnasta. Offline-mittauksessa asiakas saa vain noin viiden vuoden välein tietoa kone-elimien kunnosta. Offline-mittaus on huomattavasti halvempaa kuin online-mittaus.

4.3 Potkuri

Tarkasteltavissa potkurilaitteissa käytetään pääasiassa kahden eri tyyppin potkureita. Kyseisiä potkureita ovat CP-potkurit, joka on lyhenne sanoista Controllable pitch propeller eli säätösiipinen potkuri sekä FP-potkurit, joka on lyhenne sanoista Fixed pitch propeller eli kiinteä siipinen potkuri. Controllable pitch propeller-potkurin lapakulmia voidaan säätää, joka tekee potkurista hyvin sopivan kentänheikennyksen kanssa käytettävän. CP-potkun lapakulmia voidaan säätää siten, että saadaan akselille asetettua isompi momentti ja näin säädettyä momentin syntyä. CP potkuri kykenee hyödyntämään huomattavasti paremmin koneen antamaa tehoa kaikissa rasiustilanteissa, kuten paaluedossa, jäissä, kulussa, hinauksessa ja kovassa merenkäynnissä.

Conrollable pitch potkuria on saatavilla kahtena erilaisena tyyppinä. Saatavilla on standard- ja H-versiot, joista standard-versio on tarkoitettu alle 30 solmun nopeuksiin ja H-versio yli

30 solmua ylittäviin nopeuksiin. Napa kokoja potkurille on saatavissa monessa kokoluokassa. Tästä johtuen potkurilla kyetään kattamaan 500 kW aina 75MW voimanlähteisiin soveltuva potkuri. (Rolls-Royce www-sivut. Viitattu 12.10.2014)

Fixed pitch propeller-potkurin lapakulmaa ei voida säätää, joka tekee potkurista huonosti sopivan kentänheikennyksen kanssa käytettävän. Potkuri toimii hyvin ainoastaan rajoitetulla nopeudella V_A sekä kierrosten n välisellä alueella. Kiinteäsiipinen potkuri on vähäkulutuksinen, hiljainen, vähän värinää synnyttävä sekä se ei luo kavitaatiota. Jokainen potkuri suunnitellaan asiakkaalle sopivaksi, jotta edellä mainitut ominaisuudet täyttyisivät mahdollisimman hyvin. (Rolls-Royce www-sivut. Viitattu 12.10.2014)

4.4 Laakerointi

Laakerien tehtävänä on tukea sekä ohjata pyöriviä esimerkiksi akseleita tai edestakaisin kiertyviä koneenosia. Rakenteen mukaan jaetaan laakerit vierintä- ja liukulaakereihin. Vierintälaakereita on sekä puhtaasti säteittäiselle kuormitukselle että radiaali- ja akselikuormien yhdistelmille. Liukulaakeroinneissa kuormankantavina eliminä eivät toimi itse kuulat tai rullat vaan kuorman kantaa laakerin ja esimerkiksi akselin väliin syntyvä voitelukalvo. (Kivioja, Kivivuori & Salonen.1997.221)

Laakerivälin ollessa oikea, kykenevät laakerit tukemaan akselia. Jos laakeriväli on väärä, alkavat laakerit synnyttämään herätteitä akseleille ja näin alkavat heikentämään akselin toimintaa. Laakerien kulumisseurantaa voidaan tehdä seuraamalla laakerien lämpötiloja sekä värähtelytaajuuksia. Lämmön tai taajuuden nouseminen/laskeminen vakioarvoja korkeammalle/alemalle tasolle kertovat laakerien olevan kuluneita ja vaihdon tarpeessa.

Laakereille on annettu suunniteltaessa jotkin tietyt toiminta-ajat. Tämän toiminta-ajan ne on suunniteltu toimimaan tiettyjen arvojen sisällä. Kentänheikennyksessä kone-elimet pyörivät nopeammin, kuin ei-kentänheikennyksen aikana. Tästä johtuen laakerien kuluminen kiihtyy ja näin niiden suunniteltu toiminta-aika lyhenee, joka

johtaa ennenaikaisiin huoltotoimenpiteisiin. Laakerien nopeampi kuluminen aiheuttaa akselille laakeriherätteiden määrän nousua sekä laakereiden toimintalämpötilan nousemisen, joka aiheuttaa erilaisia rikkoutumistyyppisiä laakereille. Tässä yhteydessä laakeriherätteillä tarkoitetaan laakerin värähtelytaajuuden muutosta normaalista ns. ideaalisesta tilanteesta. Laakeriherätteiden muutoksen seurauksena joskus värähtely voi siirtyä laakereilta akselille.

5 VOITELU JA JÄÄHDYTYS

Voitelulla vähennetään kitkaa sekä kulumista. Kahden liikkuvan kappaleen välillä pyritään muodostamaan voitelukalvo. Kalvo tarkoituksena on estää kappaleiden pinnoilla olevien mikrometriä kokoisten epäpuhtauksien kiinnittyminen sekä kosketus voideltavaan elimeen, kuten hammaspyörään. Pieni häiriö voitelussa saattaa jo aiheuttaa huomattavia taloudellisia menetyksiä.

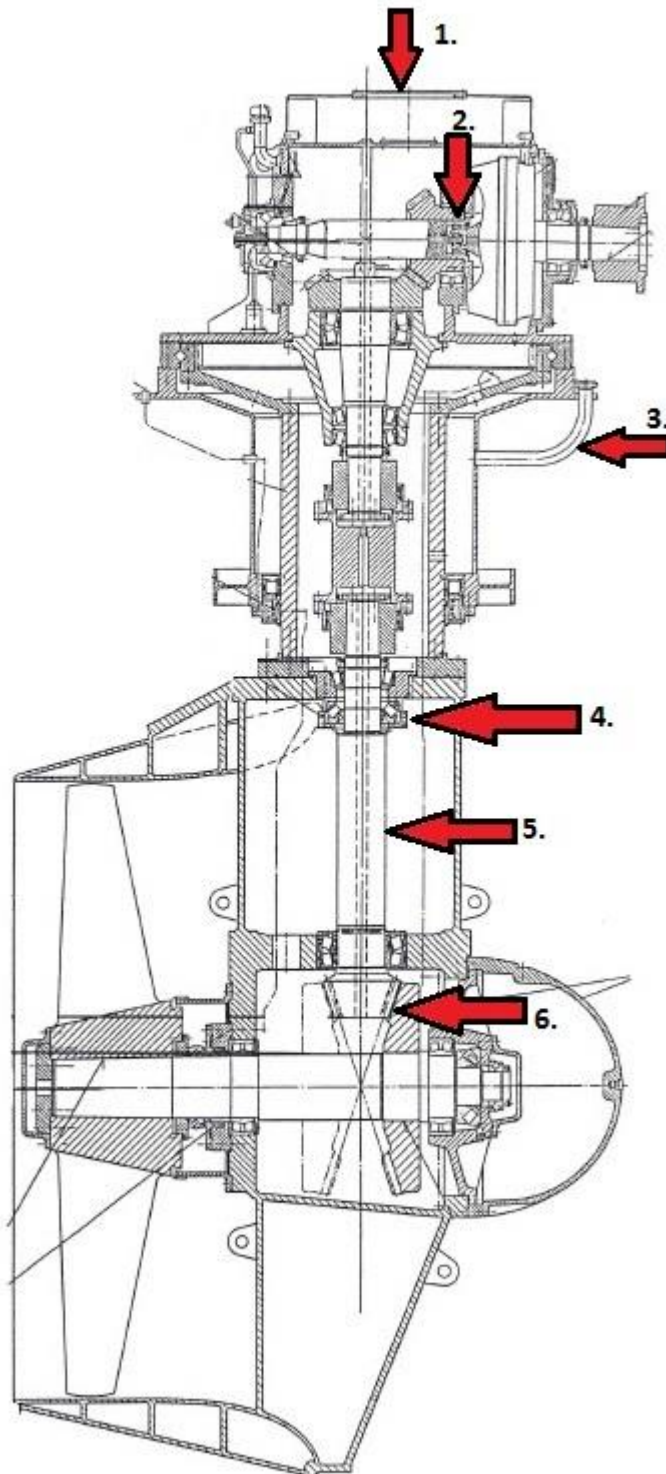
Voitelun tehokkuuteen vaikuttavat mm. kosketukseen joutuvien materiaalien ominaisuudet, voiteluaineen viskositeetti ja siinä olevat lisäaineet, kosketuksen muoto, pintojen karheus, liikkeen nopeus, kuormitus, lämpötila ja laitteiston rakenne kokonaisuudessaan. (Blom,S ym.1999.161.)

Tarkasteltavista potkurilaitteista azipull- ja contaz-potkurilaitteet ovat lähes täysin uppovoideltuja. Azipull-potkurilaitteissa öljynkierrossa öljypumppu paineistaa alavaihteessa olevan öljyn ylös ylävaihteeseen ohjausputkea pitkin ylös, josta se kulkeutuu lauhduttimen kautta jäähdyttimeen.

5.1 Lämmöntuotto ja vatkauhäviöt

Öljyyn sitoutuu enemmän lämpöä, kun kone-elimet toimivat nopeammilla kierroksilla ja öljyn aiheuttama kitka yhdessä kone-elimien pyörimisliikkeen kanssa synnyttävät lämpöä. Usein lämmöntuottoa pyritään hillitsemään valitsemalla oikean tasoiset öljyt, joita käytetään. Joissain tilanteissa myös pyritään minimoimaan öljyn määrää laitteessa pisteeseen, jossa vain voidellaan niitä elimiä joiden toimintaa vaatii jatkuva voitelua.

Öljy kykenee sitomaan lämpöä, jonkin aikaa ilman että jäähdytintä tarvitsee suurentaa. Tätä toimintaa voidaan käyttää vain lyhytaikaiseen kentänheikennykseen. Lyhyenä aikana voidaan pitää maksimissaan 45 min kestävää toimintaa. Aikaraja on täysin riippuvainen potkurilaitteesta olevasta öljymäärästä. Esimerkiksi Azipull 80:ssä oleva öljy ei kykene varastoimaan yhtä paljon lämpöä, kuin Azipull 120.



Kuva 9. Potkurilaitteen keskeisimmät osat nimettyinä: 1. Yläöljysäiliö, 2.yläakselin hammaspyörä, 3.imuputki, 4.impelleri, 5. ohjausputki ja 6. pinioni. (Rolls-Royce Oy Ab, Sisäinen dokumentti, Ei saatavilla)

5.2 Jäähdytys

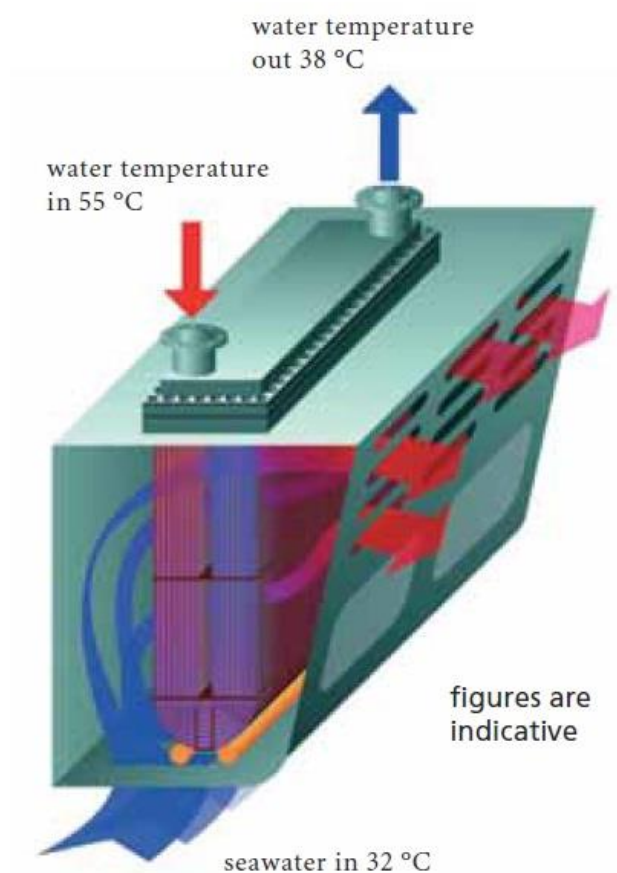
Keskitalo, A. mukaan öljynjäähdytin on nesteestä-nesteeseen – tyyppinen lämmönvaihdin, jossa jäähdyttävänä aineena toimii makea vesi tai vesi-glykoli-liuos. Yleisin käytettävä jäähdytinneste on makea vesi. On tilanteita, jolloin vesi-glykoli-liuosta käytetään estämään jäähdytysnesteen jäätymistä. Riippuen laivasta, vesi voi olla, joko makeaa tai merivettä. Jäähdyttimessä on useita pieniä putkia, joissa virtaa jäähdyttävää nestettä. Jäähdyttimessä öljy kiertää jäähdytin putkien välistä ja näin luovuttaa lämpönsä jäähdyttävään nesteeseen.

Usein jäähdytin ratkaisu on niin kutsuttu compact cooler eli kompakti jäähdytin. Jäähdytin malleilla on omia nimiä. Rolls-Royce Oy Ab:n potkurilaitteissa on usein P-PF (plate finned) tyyppiset jäähdytin ratkaisut. Kyseisissä jäähdyttimissä on putkipaketti jäähdyttimen sisällä, mihin johdetaan jäähdytettävä öljy. Jäähdyttävänä nesteenä toimiva vesi tai vesi-glykoli-liuos johdetaan korkealla paineella jäähdyttimeen, jolloin jäähdyttimeen ei jää ilmaa ja näin häiritse jäähdyttimen täyden toiminnan. Jäähdyttimessä oleva vesi voi olla joko makeaa tai merivettä. Jollakin aluksilla on käytössä makea/merivesi-vaihdin, jolloin merivettä käytetään lämmönvaihtimessa jäähdyttämään jäähdyttimessä kiertävää makeaa vettä.

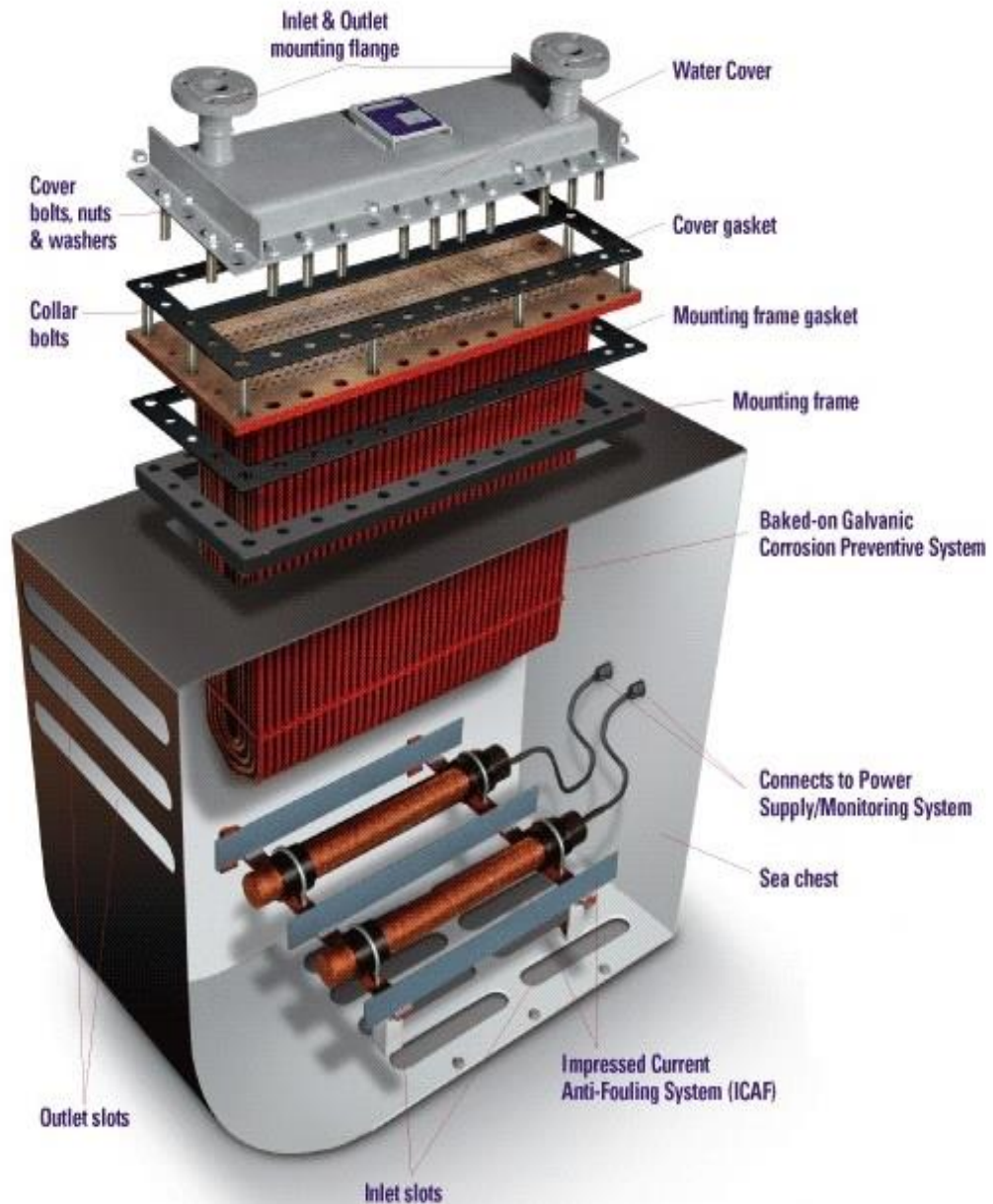


Kuva 10. GEA Bloksma P-PF-tyypin jäähdytin. (GEA Bloksma www-sivut)

Keskitalo, A. mukaan jäähdytin ratkaisu voi olla myös niin kutsuttu box cooler, jolloin laivan kyljessä on onkalo, joka toimii jäähdyttimenä. Box coolerissa jäähdytettävä öljy johdetaan putkistoon, jolla on yhteys laivankyljessä olevaan onkaloon. Onkalossa merivesi jäädyttää öljyä ja näin poistaa lämpöenergiaa öljystä. Box coolerissa kylmä merivesi kulkeutuu alhaalta rei'istä onkalossa olevan putkipaketille ja lämmin merivesi poistuu ylhäällä olevista rei'istä ulos. Meriveden kierto alhaalta ylös johtuu, koska veden lämmitessä sen tiheys pienenee ja se alkaa kohota.



Kuva 11. Meriveden kierto Box coolerissa. (GEA Bloksma www-sivut)



Kuva 12. Box cooler-yleisrakenne. (Duramaxmarine www-sivut)

Box coolerien hyvinä puolina pidetään niiden laajaa yhteensopivuutta monille eri alustypeille sekä niiden kykyä toimia monissa erityyppisissä meri- ja vesistöalueilla. Jäähdytys ratkaisu on myös hyvin huoltovapaa sekä se ei altistu meriveden aiheuttamalle korroosiolle. Sijoitettaessa jäähdytys ratkaisu aluksen ulkopuolelle, säästyy aluksen konehuoneessa tilaa sekä tarvitaan vähemmän putkistoa jäähdytys ratkaisun toteuttamiseen. Likakerrostumat haittaavat ja heikentävät box coolerissa olevien putkien jäähdytyskykyä. Varsinkin matalissa ja sameissa vesissä box coolerin jäähdytys ominaisuudet eivät yllä yhtä korkealle, kuin

kirrkaissa vesissä. Sisääntulo ja ulostulo aukkoja suojaa ritilöinti, jonka tavoitteena on estää levien ym. elollisen materiaalin kiinnittymisen ja pääsemisen jäähdyttimen putkien pinnoille.

Henkilökohtaisessa tiedoksiannossa Keskitalo, A kertoi, että potkurilaitteen alavaihe toimii myös hyvänä jäähdyttimenä. Alavaihteen keskiosa toimii ainoastaan jäähdyttävänä elementtinä potkurilaitteen koko ulkokuoresta. Keski- ja ylävaihe ovat aluksen sisällä, joko kokonaan tai osittain.

Öljyn jäähdytin voi sijaita, joko öljyn paine- tai paluulinja. Tiedoksiannon mukaan jäähdytin on sijoitettuna painelinjaan olisi se tällöin tehokkaampi. Jäähdyttimen tehokkuus johtuu siitä, että painelinjassa öljynpaine on korkeampi. Öljy pumpataan jäähdyttimelle sähkömoottorin ohjaaman pumpun avulla. Laivassa on kaksi pumppua, joista toista pidetään varalla rikkoutumisen varalta. Potkurilaitteissa on myös kaksinkertainen jäähdytys eli sisäinen sekä ulkoinen. Potkurilaitteen sisäisessä jäähdytyksessä voidellaan ja jäähdytetään kone-elimä, kun vastaavasti ulkoisessa jäähdytyksessä jäähdytettävä öljy imetään imuputkia pitkin suodattimelle ja jäähdyttimelle, josta se palautuu takaisin potkurilaitteeseen.

ARC-laitteissa jäähdyttimeltä tuleva öljy paineistetaan useille eri syöttöputkille, jotka on aseteltu voideltaviin kohteisiin. ARC-laitteet ovat täysin painevoideltuja, joten niillä kentänheikennys ei vaikuttaisi jäähdyttimen toimintaan yhtä paljon, jonka vuoksi sitä pitäisi lähteä nostamaan. Painevoitelussa voideltavat kohteet vain suorittaisivat nopeammalla kierrosnopeudella työtään. Mahdolliset suuret lämmönkohoamiset olisivat vain hammaspyörästöillä. Painevoitelussa voiteluöljy on varastoituneena potkurilaitteen pohjalle sekä varastosäiliöön. Voiteluöljyn ja hydraulisen pumpun avulla kanssa pidetään potkurilaitteessa olevan öljynpinta vakiona, riippumatta siitä onko öljy lämmintä vai kylmää.

6 POTKURIN HYÖTYSUHDE

Laivan käyttäytymiseen eri olosuhteissa vaikuttavat monet eri muuttujat. Kyseisiä muuttujia ovat muunmuassa aallot, merivirrat, tuulet ja toiset alukset. Propulsio laitteiden toiminta kyetään selittämään liikemääränteorialla. Propulsio laite saa väliaineen, kuten veden tai ilman massavirran kiihtymään taaksepäin. Tästä seuraa reaktiivoima propulsorin pintaa, joka työntää alusta eteen- tai taaksepäin. (Jerzy Matusiak, Laiva propulsio 2005:3)

Hyvälle propulsiolaitteelle ominaista ovat seuraavat piireet:

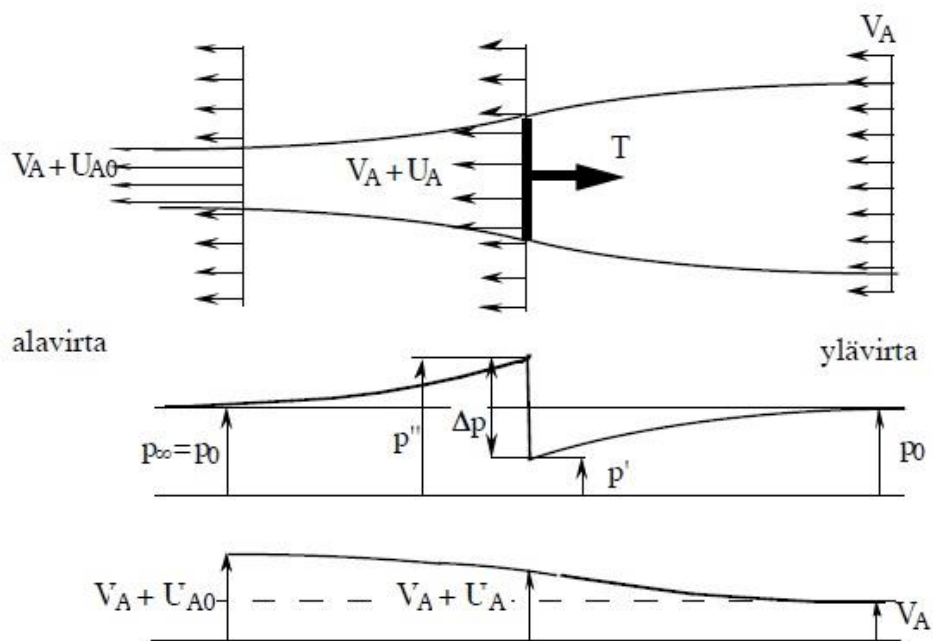
- Tasainen työntövoima
- Värähtelyttömyys ja meluttomuus
- Korkea hyötysuhde normaaleissa käyttöolosuhteissa
- Työnnön suuruus ja suunta on helposti ja nopeasti säädettävissä
- Propulsio laite on yhteensopiva aluksen rungon kanssa
- Kestävyys ja toiminnan luotettavuus
- Pienet investointi- ja ylläpitokulut
- Toimii hyvin kaikissa aluksen toimintaolosuhteissa

(Jerzy Matusiak, Laiva propulsio 2005:3)

6.1 Ideaalipropulsorin teoria

Ideaalipropulsorikäsitteen ja- teorian avulla voidaan ymmärtää ja arvioida potkurintoimintaa sekä erityisesti sen hyötysuhteen riippuvuutta propulsorin kuorimituksesta. Ideaalipropulsorilla tarkoitetaan tasoa, jota virtaus läpäisee sekä on suunnattua kohtisuoraan virtaukseen nähden. Tälläisen tason nopeus on V_a . Propulsorista etäällä vastaavasti sijaitsee paine p_0 . Tasoon nähden kohtisuoraan suunnattu ja tasaisesti jakaantunut ulkoinen kuormitus aiheuttaa paineen muutoksen sekä virtausnopeuden tasaisen kasvun virtaputkessa. Tasaisen ulkoisen kuormituksen vuoksi myös virtaus virtaputkessa sisällä on tasaista. Kuvassa 13. esitetään ideaalipropulsiota, jossa ylin kuva kuvaa potkuria ylhäältä päin katsottuna, keskimäinen kuva on paineen muutos ennen ja jälkeen potkuria sekä alin kuva

kuvaa virtausnopeuden kasvua. Ideaalipropulsio teoria, jota kutsutaan myös Rankinen teoriaksi on yleispätevää, eikä teoria edellytä, että propulsio laite olisi ruuvipotkuri.



Kuva 13. Ideaalipropulsorin aiheuttama virtaus, paineen muutos sekä virtausnopeuden kasvu. (Jerzy Matusiak, Laiva propulsio 2005:8)

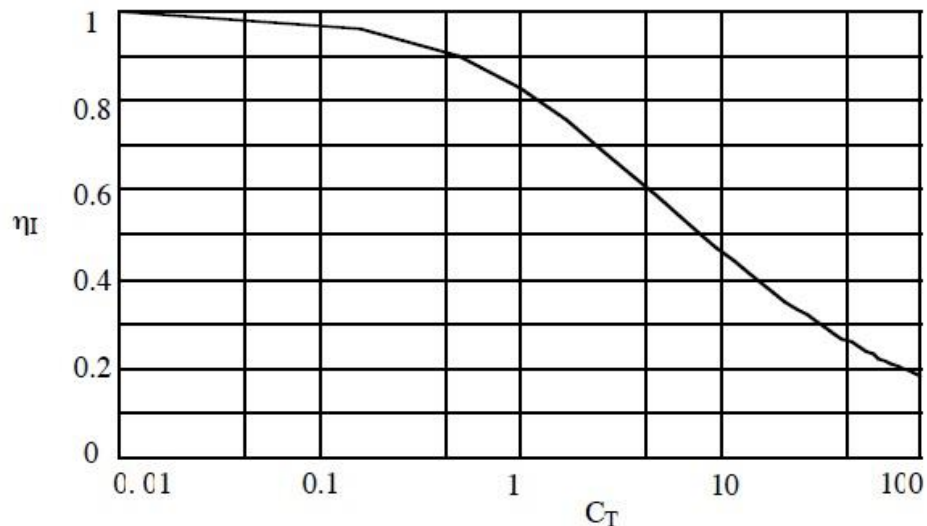
Ideaalipropulsioon hyötysuhde esitellään työntö- (C_T) tai tehokuormituskerroin (C_P) avulla. Alla esitetyissä kaavoissa T on propulsorin työntö, P_D propulsoriin tuotu teho, V_A propulsorin nopeus veteen nähden ja A_0 hydraulinen poikkileikkausala.

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A_0 V_A^2}$$

$$C_P = \frac{P_D}{\frac{1}{2} \rho A_0 V_A^3}$$

Ideaalipropulsioon hyötysuhde työntökuormituskertoimen funktiona on:

$$\eta_I = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + C_T}}$$

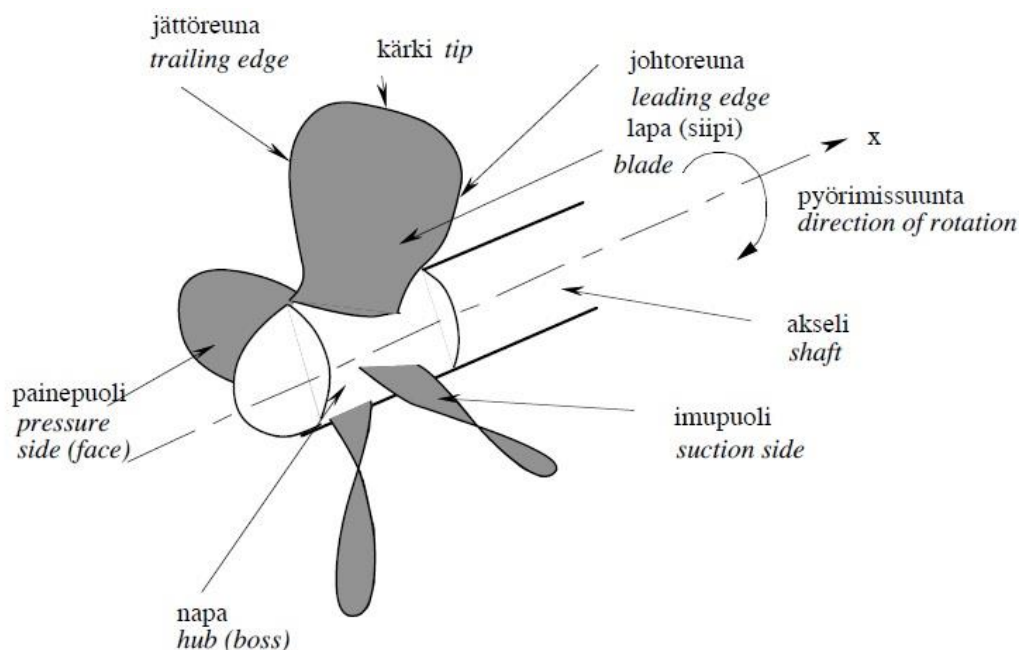


Kuva 14. Ideaalipropulsorin hyötysuhde työntyökertoimen funktiona (Jerzy Matusiak, Laiva propulsio 2005:11)

Kuvaa 14. tarkastelemalla ilmenee, että ideaalipropulsorin hyötysuhde on aina yksi tai pienempi kuin yksi. Hyötysuhde on aina sitä suurempi mitä pienempi propulsorin indusoitu nopeus on suhteutettuna potkurin tason nopeuteen. Pienet propulsorin työtökuormituskertoimet ja pienet indusoidut nopeudet saadaan kasvattamalla hydraulista poikkileikkausta A_0 . (Jerzy Matusiak, Laiva propulsio 2005:11)

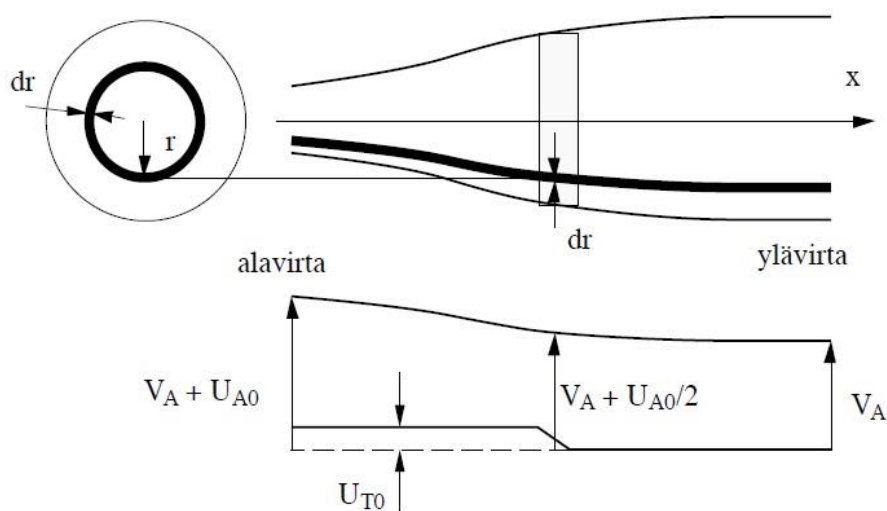
6.2 Ruuvipotkuri

Ruuvipotkuri on yleisin potkurilaitteissa käytetty potkurimalli. Ruuvipotkurissa potkurilavat on kiinnitetty potkuriakselin pätyyn. Potkurin pyöriessään ympäri akselinsa ympäri kohtaa se virtausta, joka koostuu pyörimisliikkeestä eli kehänopeudesta sekä aluksen liikkeen luomasta virtauksesta. Potkurilavan etupuolta, joka ensimmäisenä koskettaa virtausta kutsutaan johtoreunaksi ja takareunaa kutsutaan vastaavasti jättöreunaksi.

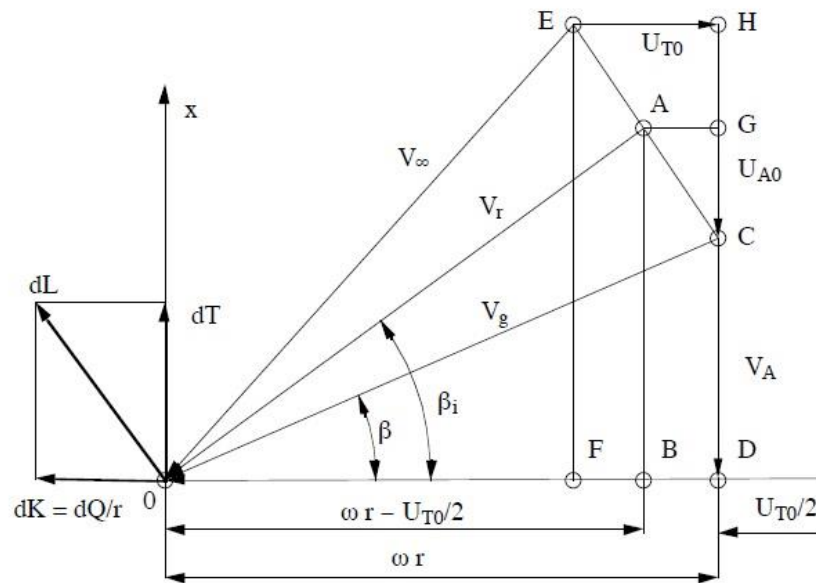


Kuva 15. Ruuvipotkuri (Jerzy Matusiak, Laiva propulsio 2005:12)

”Ideaaliruuvipotkuriteoriassa otetaan huomioon potkurin rotaatioliike, jota ei ideaalipropulsorin teoriassa oteta huomioon. Ruuvipotkurin rotaatioliikkeen seurauksena jättövirtauksessa eli potkurin alavirrassa, akselinsuuntaisen indusoidun nopeuden U_{A0} lisäksi syntyy myös indusoidun nopeuden tangentiaalinen komponentti U_{T0} . Ideaaliruuvipotkurilla tarkoitetaan virtauksen läpäisevää kulmanopeudella ω pyörivää kiekkoa, joka on suunnattu kohtisuoraan virtaukseen nähden”. (Jerzy Matusiak, Laiva propulsio 2005:20)



Kuva 16. Ideaaliruuvipotkuri (Jerzy Matusiak, Laiva propulsio 2005:20)



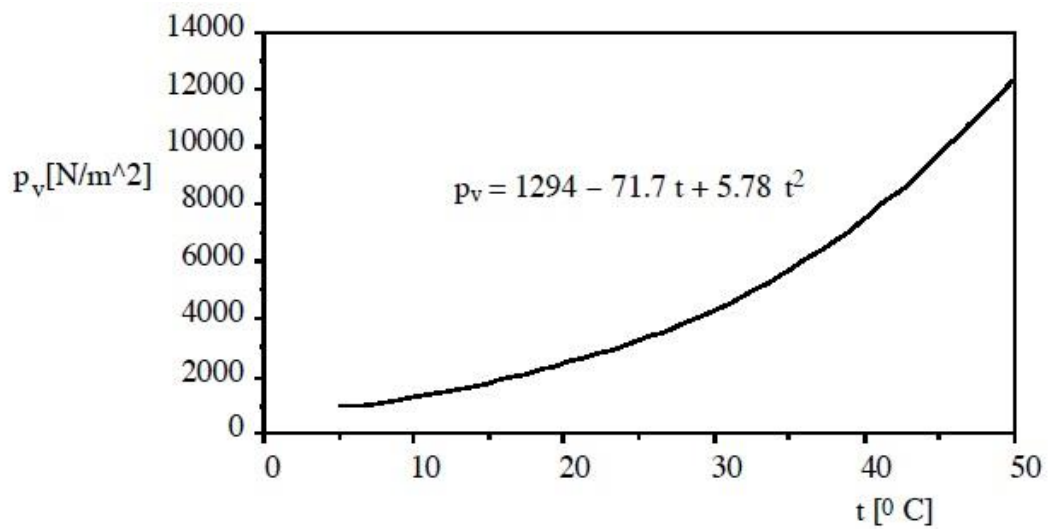
Kuva 17. Ideaaliruuvipotkurin kohdistuvat voimat (Jerzy Matusiak, Laiva propuulsio 2005:22)

”Kuvassa 17. olevassa kuviossa kolmiot CD_0 , AB_0 ja EFO edustavat virtausnopeuksia ideaaliruuvipotkurin elementin suhteen kaukana ylävirrassa, sen tasossa ja kaukana alavirrassa. Kolmiot EHC ja AGC kuvaavat indusoituja nopeuksia kaukana alavirrassa ja potkurin tasossa. Jana EC , joka on aksiaalis- ja tangentialisuuntaisten indusoitujen nopeuksien vektorisumma, edustaa indusoitua kokonaisvirtausnopeutta kaukana alavirrassa. Kolmiot AB_0 ja EHC ovat samanmuotoiset, jolloin tästä johtuen resultanttivirtausnopeus V_r potkurin tasossa osoittaa kohtisuoraan indusoidun kokonaisvirtausnopeuden janan EC vektoriin. Kulmaa β kutsutaan etenemiskulmaksi ja β_i efektiiviseksi etenemiskulmaksi”. (Jerzy Matusiak, Laiva propuulsio 2005:22)

6.3 Kavitaation synty yleisesti

Kavitaatio syntyy, kun paine nesteessä alenee alle kriittisen rajan. Kavitaatio on kaasu-faasin muodostumista nesteeseen. Paineen päästessä alenemaan pienimpään mahdolliseen nesteessä esiintyvään paineeseen eli P_{kr} -arvoon, syntyy täällön nesteen tilalle vesihöyryn ja kaasun seos. Seosta kutsutaan kavitaatiokuplaksi eli kansantermein kavitaatioksi. Kavitaatiossa kuplat ns. alkavat syömään potkurinlapaa

räjähtelemällä potkurinpinnalla, josta seuraa pinnan muutoksia potkurille ja tulevaisuudessa potkurin kyky halkoa vettä heikkenee sekä vastuskasvaa Kavitaatio syntyy nesteen virratessa nopeasti suurilla nopeuksilla. Koska vesi on homogeenistä eli se on tasalaatuista eikä voida erottaa selkeästi faasirajaa, on silloin kriittinen paine sekä höyrystymispisteen paine samansuuruiset. Tällöin olettaa, että $P_{kr} = p_v$. Kavitaatiota esiintyy kuitenkin jo ennen kriittiseen paineeseen pääsyä, sillä luonnonvedet sisältävät mikroskooppisen pieniä ilmakuplia, jotka itsessään nopeuttavat kavitaation syntyä. (Jerzy Matusiak, Laiva propuulsio 2005:79)



Kuva 18. Höyrystymispisteen riippuvuus lämpötilasta, höyrystymispisteen kaava p_v on annettu kuvassa. (Jerzy Matusiak, Laiva propuulsio 2005:79)

7 TAIVUTUSVÄRÄHTELY/AKSELIT

Akselien ja napojen väliset liitokset voidaan jakaa kahteen eri pääryhmään, liitoksen toimintatavan mukaan. Akselien ja napojen väliset liitokset voivat olla muotosulkeisia tai kitkasulkeisia. Muotosulkeisissa liitoksissa akselin ja navan välillä ei ole suurta säteen suuntaista puristusta. Käyttömomenttien siirto tapahtuu liitoselementtien kehien pintapaineen ja leikkausjännitteen avulla. Kitkasulkeisissa liitoksissa liitoselementtien tehtävänä on aikaansaada sekä varmistaa napojen ja akselien välille mahdollisimman suuri säteen suuntainen pintapaine, jonka avulla kitkavoimia hyväksikäyttäen käyttömomenttien siirto tapahtuu.

Yleisin akselien valmistusmateriaali on teräs Fe 52, sillä siinä yhdistyvät parhaiten muokattavuus sekä kestävyys. Akselit koneistetaan lähes aina sorvaamalla, sillä sorvaus jälki on hyvää. Valmistusprosessin vuoksi teräsakseli on hienokiteinen sekä tasalaatuinen pinnasta keskiöön saakka. Teräslaadusta Fe 52 on normalisoitu, jolloin poikkileikkauskohdasta on vaikeata erottaa teräksen kerrostumia. (Konesuunnittelu II PDF.Viitattu 18.10.2014)

Akseleilla kyetään välittämään suuriakin voimia päätekäyttölaitteelle. Akseleilla kyetään pääsemään suuriinkin pyörimisnopeuksiin. Huomattavia tehohäviöitä ei tapahdu akseleiden välittäessä momenttia. Usein akselit muodostuvat useista peräkkäisistä lieriöistä, joiden halkaisijat vaihtelevat. Akseleiden osien halkaisijoiden eroavaisuuksista muodostuu akseliin olakkeita. Olakkeiden tehtävänä on tarjota akseliin liitettäviin osiin akselialinen tuki.

Akseleiden negatiivisimmat ominaisuudet ovat akselien ominaispainot, jotka johtuvat akselien umpimateriaalirakenteesta. Käytettäessä pitkiä ja suuria akseleita, alkaa akselin pituus, vääntö ja tukivälit taivuttamaan itse akselia, jolloin näistä alkaa syntyä akselivärähtelyä. Värähtely taas voi alkaa nopeastikin heikentämään akselin kiinnityspisteiden laakerointia. (Konesuunnittelu II PDF.Viitattu 18.10.2014)

7.1 Akseleiden välitykset

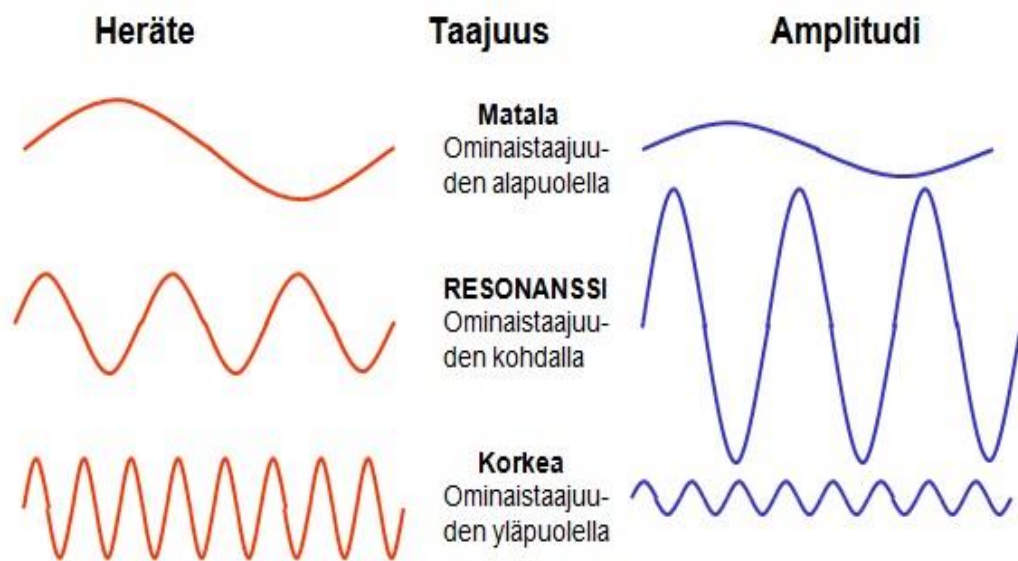
Akseleiden momentti siirretään käyttölaitteelle hammaspyörien avulla. Viitainen, M-V. mukaan akseleiden välitykset vaihtelevat useiden potkurilaitteita käyttävien moottorien kesken ja ovat näin potkurilaitemallista riippumattomia. Yleistykseenä voidaan sanoa, että potkurilaitteen potkuri pyörii samalla tip-speedillä eli kehänopeudella aina, riippumatta siitä mikä välitys on käytössä juuri sillä kyseisellä hetkellä. Ainoastaan potkurin tuottama momentti vaihtelee akselin käytössä olevan välitysten suhteen. Kentänheikennyksessä potkurimomentin laskiessa, potkurilaitteen potkurin pyörimisnopeus kasvaa kuitenkin riittävästi, jotta aluksen vauhti voi kiihtyä. Akseleiden välitykset ovat täysin riippuvaisia akselia käyttävistä moottoreista, jolloin akselien välityssuhteet vaikuttavat kentänheikennykseenkin ja sen tehokkuuteen. CP-potkureilla voidaan lisätä akselien välitystä ja näin tehostaa potkurilta saatavan työntövoiman syntyä, muuttamalla potkurilapojen kulmaa.

Akselien käyttäessä välityksiä ja siirtäessään kasvavia momenteja eteenpäin, pyörivät ne usein tietyllä vakionopeudella. Kentänheikennys saa akselien nopeuden kasvamaan, jolloin myös välityksien pitäisi kyetä kestäämään kierrosnopeuden kasvusta johtuva rasitus. Kentänheikennyksessä akselilta potkurille siirrettävän momentin määrä laskee kentänheikennyksen potkurin momentin käyttöprosentin mukaisesti.

7.2 Akseleiden herätteet

Usein tietokoneohjelmissa on valmiiksi ohjelmisto-osuudet, johon on ohjelmoitu laskentaohjelma, joka osaa tarkastaa ja mitoittaa oikeat laakerivälit. Laakerivälien oikein mitoittamisella estetään taivutusvärähtelyn syntyminen. Jos laakerivälien mitoittamisella ei estettäisi laakereissa syntymästä herätteitä, päätyisivät ne akseleille. Aksiaaliset laakerit antavat kuitenkin sivuttaissuunnassa akselin liikkeitä anteeksi ja näin vähentävät herätteiden syntyä.

Akselistoa voidaan ajatella, kuin jousiryhmää, joka toimii peräkkäin. Jos jokin jousiryhmän akseli alkaa värähdellä, siirtyy myös tämä värähtely toisiin akselisiin. Värähtelyn siirtyminen on kuitenkin vaimeampana, riippumatta siitä millainen ensimmäisen akselin värähtelytaajuus oli. Värähtelyn siirtymistä voidaan ehkäistä, käyttämällä joustavaa akseliliitintä, joka mahdollistaa akselin pienen liikkumisen keskipisteen ympäri. Kardaaneilla välitetään silloin momentti akseleilta toiselle, jolla saadaan luotua joustava akselien ketju ilman että akselien herätteet nousevat.



Kuva 19. Herätteiden synnyttämä amplitudi aksleissa (Aalto-yliopisto, vääntövärähtely PDF. Viitattu 15.12.2014)

8 TIIVISTEIDEN KULUMINEN

8.1 Yleisesti

Tiivisteiden tehtävä on pitää lika sekä voiteluaineet erillään toisistaan. Tiivisteiden toiminta perustuu siihen, että se muodostaa haluttuun pintaan tiiviin ja läpi pääsemättömän kerroksen. Esimerkiksi hydraulikka liittimissä, tiivisteiden tehtävänä on estää nestettä valumasta ulos kiristyksen jälkeen.

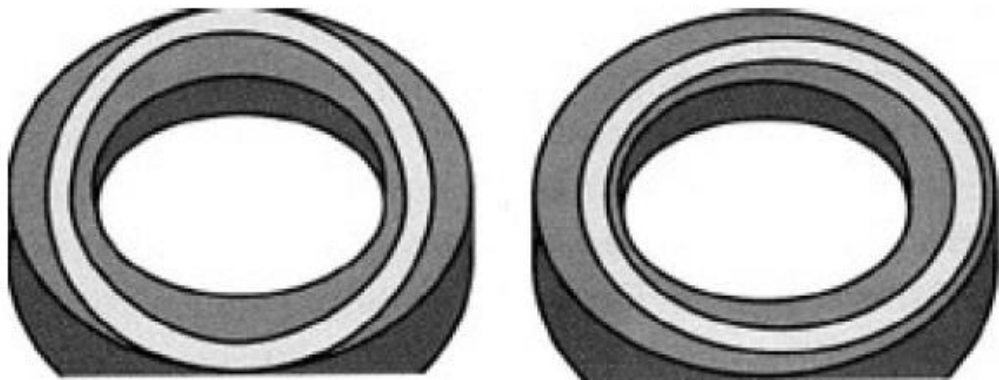
Hyviä ja laadukkaiden materiaalien käyttämällä saadaan taattua pitkä käyttöikä tiivisteille. Tiivisteiden pitää olla riittävän kovia, jotta ne kykenevät vastustamaan kulumista, kykenevät luomaan tasaisen ja sileän tiivistepinnan. Hyvin kuluttavissa ympäristöissä, on suositettavaa valita kovempi materiaalisia tiivisteitä. Pehmeiden materiaalien aiheuttamat vuodot olisivat korrosoivissa ympäristöissä yleisimpiä, kuin kovilla materiaaleilla. Kovista materiaaleista karbidi ja silikoni-karbidi ovat ideaalit tiivistemateriaalit kuluttaviin ympäristöihin.

Usein vastinpinta, jota vasten on tiiviste sijoitettuna, kuluu pitkällä aika välillä. Kulumiseen vaikuttavat partikkelien määrä ja laatu, jotka pääsevät vastinpinnan ja tiivisteiden väliin. Akselin pyöriessä nämä partikkelit syövät ajan saatossa vastinpintaa niin, ettei tiiviste enää pidä alkuperäisessä koossaan. Pitkällä aikavälillä vastinpinnan ja tiivisteiden väliin kertyy kasvavassa määrin lisää partikkeleita. Partikkelit tuhoavat lopulta vastinpinnan ja näin vastinpinta menee käyttökelvottomaksi. Esimerkkinä vastinpinnoista, jotka partikkelit tuhoavat ovat akselin päädyt. Akselin päätyjen on aina oltava toleranssissa. (23.11.2014 SKF www-sivut)

Kentänheikennyksessä kone-elinten pyöriessä nopeammin, myös vastinpinnan ja tiivisteiden välisen sovitteen kulumisen kiihtyy. Kuluttavien partikkeleiden irtoamisen nopeutuminen myös kiihdyttää itse tiivisteiden kulumista, aiheuttaen tiivisteiden hapertumista ja kuluttavia hankautumia tiivisteeseen. Kentänheikennys saattaa myös nostaa lämpötilaa potkurilaitteen kone-elimissä, josta voi seurata tiivisteiden lämpökorroosoitumista. Korrosoituminen voi olla hankaumakulumisen lisääntyminen,

tiivistemateriaalin pehmeentyminen ja mahdolliset korkeista lämpötiloista johtuvat muodonmuutokset. Kentänheikennyksen aiheuttamaa tiivisteiden kulumisen nopeutumista, voidaan estää/vastustaa tiivisteiden materiaalipaksuuksia sekä materiaaleja vaihtamalla. Mahdollista rikkoutumis- ja vuotoherkkyttä voidaan pienentää valitsemalla tilanteisiin sopivat tiivisteet. Usein suositaan kovia materiaaleja kuluttaviin kohteisiin. Kentänheikennyksestä johtuvien syiden vuoksi, vaihdettavat tiivisteet tulisi korvata metallipohjaisilla kovilla tiivistemateriaaleilla.

Tiivisteiden kulumistyyppejä on useita kymmeniä, pelkästään akselitiivisteiden kulumistapoja tunnetaan kymmeniä. Kaikille on yhteistä se, miten akseli ja tiiviste on asetettu keskenään. Jos akseli on toleroidussa paikassaan ja tiiviste ei ole, syntyy tiivisteeseen esimerkiksi kuvan 20. mukaisia jälkiä. Myös akseli voi olla käyrä tai muuten viallinen, jolloin tiivisteisiin syntyy jälkiä. Huollon yhteydessä tiivisteestä on helppo tarkistaa miten tiivisteiden ja akselin välinen suhde toimii. Kaikki epänormaali kuluminen on merkinä viasta, joka pitäisi korjata. (Totalpumpsolutions PDF, Viitattu 23.11.2014)



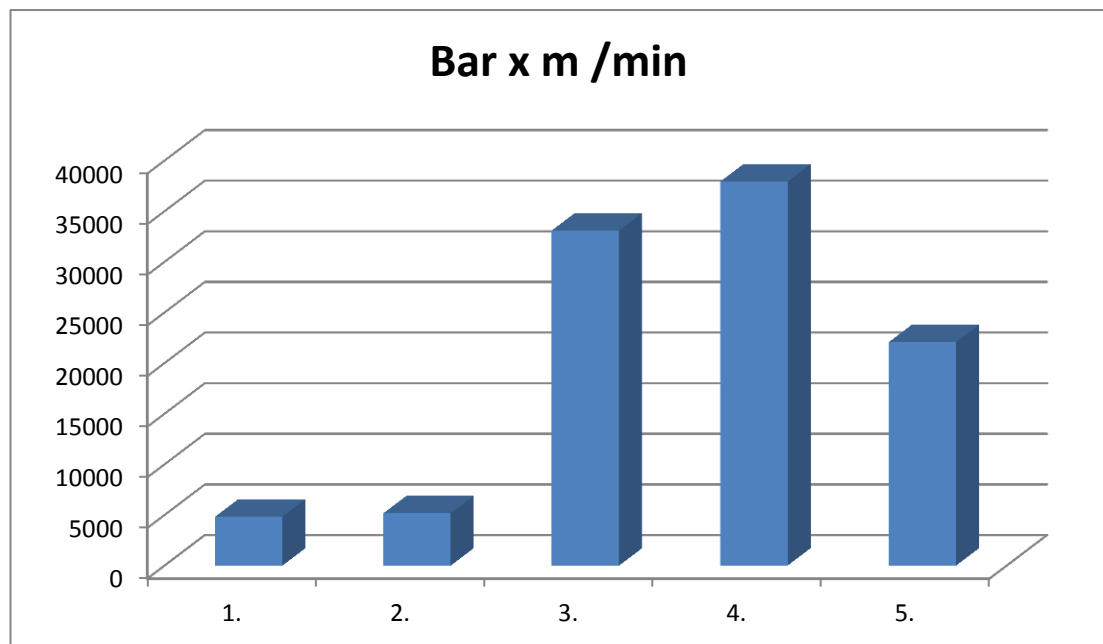
Kuva 20. epäsymmetrisen akselin aiheuttamaa kulumista tiivisteiden pinnassa ja tiivisteiden kuluessa, kun tiiviste ei ole keskitetty (Totalpumpsolutions PDF)

8.2 Pv-arvon muutos

Pv-arvo kertoo miten hyvin tiivisteiden materiaali kykenee tiivistämään paineesta ja kierrosnopeudesta riippuen eli maksimikuormituksen alaisena. Pv-arvolla mittaa tiivisteiden $\frac{\text{paine}}{\text{nopeudella}} \times \text{min}$ kestoja. Esimerkiksi Pv-arvoa testaan tiivisteillä altistamalla ne 100 Bar paineelle ja 100 m/min nopeudelle. Tästä saadaan Pv-arvoksi

$10\,000 \frac{\text{Bar}}{\text{m}} \times \text{min}$. Nopeudella on negatiivinen vaikutus tiivisteiden kykyyn tiivistää, mutta materiaali rajoitusten johdosta tulee myös taso, jonka jälkeen tiiviste on menettänyt kaiken kyvyn tiivistää nopeuden ja paineen kasvaessa.

Käyttämällä kova-kova materiaali liitosta saadaan kulutuskestävyys maksimoitua, mutta vastaikutuksena menetetään kykyä kestää kuormitusta. Nesteissä, joiden voiteluominaisuudet ovat huonot, altistuvat kova-kova materiaaliparit hankauskulumiselle ja pintakulumiselle herkemmin huonoista voiteluominaisuuksista johtuen. Tungsten ja silikonikarbidi ovat yleisimmät käytetyt pintamateriaalit tiivisteissä. Niillä on korkeampi kulutuskestävyys, kuin metallisilla tai keraamisilla pinnoitteilla. Vastaavasti niiden kustannukset ovat korkeammat sekä niiden käyttöikä on pidempi, kuin muiden pintamateriaalien. (Fluid Sealing Association PDF)



Kuvaaja 1. Nimelliset Pv-arvon rajat eri materiaali yhdistelmillä.

1. Hiili vs valurauta, 2. Hiili vs keraami, 3. Hiili vs silikonikarbidi

4. Tungstenkarbidi vs tungstenkarbidi ja 5. Silikonikarbidi vs silikonikarbidi

9 SUUNNITTELUPROSESSISSA HUOMIOITAVAA

Hydrauliikka suunnittelussa huomioidaan annettujen arvojen perusteella jäähdyttimen asennus sekä putkitus ja letkuttaminen. Mallia putkitettaessa huomioidaan annettujen säädösten mukaiset taivutukset putkissa, niiden seinämissä sekä pituuksissa. Hydrauliikka suunnittelussa olisi myös huomioitava kasvavat hydraulipaineet, mahdolliset putkituksen paksuntuminen sekä liittimien paineenkeston nostamisen vuoksi tulevat muutokset, verrattaessa ei kentänheikennyksellä varustettuihin malleihin. Suurin painoarvo hydraulisuunnittelussa on kuitenkin jäähdytyksen sekä voitelun varmistamisessa laitteissa, joissa kentänheikennystä suunnitellaan käytettäväksi.

Voitelu ja jäähdytys ovat sidoksissaan toisiinsa, jolloin niiden molempien huomioiminen samanaikaisesti on helpompaa. Tarkasteltaessa azipull- ja contaz-potkurilaitteita on helppo havaita, että molemmissa potkurilaitteissa on samantyyppiset jäädytys ja voiteluratkaisut. Voitelussa öljyn pumppaaminen yläöljysäiliöön on tärkeää, sillä sen kautta voidellaan kaikki ylävaihteen kone-elimet. Kentänheikennyksestä johtuen kone-elimien kasvavat pyörimisnopeudet ja niistä aiheutuvat lämpötilojen sekä voitelukalvon kulumisen pitää huomioida.

Mekaanisessa suunnittelussa on huomioitava mahdolliset kone-elinten mekaaniset kestävyysongelmat sekä yhteensopivuudet kentänheikennyksen kanssa. Suunniteltaessa potkurilaitetta sekä mitoitettaessa akselia pitää huomioida laakerivälit, jotta herätteitä ei pääse syntyään akselin käydessä. Akselien ominaistajuus tulee asettaa siten, etteivät syntyvät herätteet pääse häiritsemään itse akselin toimintaa. Lähes kaikki akselit sopivat suoraan kentänheikennyksellä käytettävään potkurilaitteeseen, sillä akselien varmuuslukuna käytetään usein 1.5 – 2.5. Kentänheikennystä käytetään usein 0-10 % sisällä, jolloin akselien varmuuskertoimet riittävät.

10 TULOKSET

Opinnäytetyössä tuli ilmi jäähdytystä tutkiessa, että momentti aiheuttaa suurimmat tehohäviöt potkurilaitteissa. Öljyn vatkautuessa se alkaa vaahtoutua ja näin lisää jäähdyttimelle syntyvää työtä. Öljyn vaahtoutuminen huomattiin heikentävän jäähdyttimessä tapahtuvaa jäähdyttävää lämmönsiirtoa, jolloin potkurilaitteelle palaavan jäähdytysöljyn lämpötila oli korkeampi, kuin suunnittelussa oli ajateltu. Vatkautuneen öljyn jäähdyttäminen vaatii teholtaan suuremman jäähdyttimen, joka osaltaan tulee lisäämään tehohäviöiden syntyä.

Opinnäytetyössä huomattiin, että Rolls-Royce Oy Ab käyttää jäähdytysnesteinä makeaa vettä ja vesi-glykoli-liuosta, joista yleisemmin käytetään makeaa vettä. Joissain tapauksissa vesi-glykoli-liuoksen käyttö voi olla perusteltua, jos on riskinä jäähdyttimessä kiertävän veden jäätyminen. Jäähdyttimessä käytettävä makea vesi kykenee parhaiten sitomaan itseensä lämpöä jäähdytinputkissa kiertävistä öljyistä. Yleisimmät jäähdytin tyypit, joita käytetään azipull- ja contaz-potkurilaitteissa ovat P-PF jäähdyttimet ja vastaavasti box cooler-tyyppiset jäähdytysratkaisut ovat vähäisessä käytössä.

Potkurin hyötysuhteen tarkasteluun vaikuttavat potkurityypin lisäksi aluksen suunniteltu nopeus ja rasisympäristö. Ideaalipropulsoriteoriassa ei otettu huomioon potkurin rotaatioliikettä. Ideaaliruuvipotkuriteoriassa vastaavasti otettiin huomioon potkurin rotaatioliike. Ideaalipropulsiokäsitteen ja –teorian avulla voitiin ymmärtää potkurin ja erityisesti sen luomaa hyötysuhdetta riippuen propulsorin kuormituksesta. Ideaaliruuvipotkuriteoriassa vastaavasti otettiin huomioon myös potkurin rotaatioliikettä laskettaessa sen antamaa hyötysuhdetta, riippuen siihen vaikuttavista voimista, jotka on esitetty tässä opinnäytetyössä sivulla 44.

Tiivisteiden kulumiseen vaikuttivat vastinpinnan sekä tiivisteiden väliin päässeet partikkelit, jotka kuluttavat vastinpintaa akselin pyöriessä. Vastinpinnan halkaisijan muuttuessa, laajensi se tiivisteiden ja vastinpinnan välisen toleranssin yhteensopivuutta. Myös tiivisteiden sijoittuminen akseliin nähdessä vaikutti tiivisteiden toimintaan ja kulumiseen. Jos tiivistettä ei ole asennettu oikein suhteessa akseliin,

kului tiiviste nopeasti ja epätasaisesti. Vastaavasti, kun tiiviste on asennettu oikein kestää se usein huoltojen välisen ajan. Tiivistemateriaalien kestävyyksissä on eroja ja ne soveltuvat eri käyttökohteisiin yksilöllisesti.

Suunnittelussa tulisi huomioida tavoiteltu kentänheikennysprosentti, jolla potkurilaitteen olisi määrä toimia. Kentänheikennykseen liittyen on myös huomioitava kaikki osa-alueet, joihin kentänheikennys saattaa vaikuttaa. Varsinkin jäähdytyksen ja voitelun toteutus tulisi suunnitella tarkasti. Jos voitelussa ilmenee ongelmia tai häiriöitä käytössä, voi se jo lyhyessä ajassa aiheuttaa suuria vahinkoja laitteelle.

11 PÄÄTELMÄT

Kentänheikennys vaikuttaa koko potkurilaitteen toimintaan ja sen vuoksi sen suunnittelussa pitää huomioida koko laitteen toimintaan vaikuttavat osa-alueet. Hydraulinen suunnittelu on tärkeässä osassa kentänheikennyksellä varustetun potkurilaitteen toimintakyvyn varmistamisessa. Mekaanisessa suunnittelussa tärkeimmiksi kohdiksi suunnittelussa nousevat voimansiirron eli akseliston muutokset sekä mahdolliset muut muutokset koskien potkurilaitetta. Tällaisia muita muutoksia voivat olla esimerkiksi tiivisteiden kestävyysvajeesta johtuvat vaihdot.

Öljyä imetään imuputkea pitkin potkurilaitteen keskivaihteesta jäähdyttimille, jotka voivat olla joko box cooler tai P-PF tyyppinen. Box cooleri tarjoaa työhäviö säästöä, jäähdyttämällä meriveden avulla öljyä suoraan, kun vastaavasti P-PF jäähdytin tekee sen kierrättämällä jäädytysvettä aluksen sisäisesti. P-PF jäähdytin on kuitenkin helpommin huollettavissa aluksen olessa merellä, kuin box cooler.

Potkurin hyötysuhteen määrittelyssä pitää tietää halutaanko ideaalipropulsorin vai ideaaliruuvipotkurin hyötysuhdetta laskea. Näiden kahden laskennallinen ero on kuitenkin tärkeä lopputuloksen kannalta. Ideaalisen ruuvipotkurin huomioidessa todennukaisemmin myös potkurin rotaatio, jolloin se vastaa enemmän todellista käyttöä.

Akselien varmuuskertoimet ovat jo suunnittelussa niin korkeat, etteivät kentänheikennyksen käyttö vaikuta akselistojen hankintaan. Suunniteltaessa kuitenkin pitää varmistua, että akselin varmuuskertoimet ja muut akseliston ominaisuudet ovat yhteensopivat suunnitellun laitteen kanssa. Akselien herätteiden syntyyn vaikuttavat laakeritukien sijoittuminen akseliin nähden. Häiritsevien herätteiden syntyminen pitäisi olla harvinaista, tietokoneohjelma avusteisen laakeritukien sijoittelun ansiosta.

Tiivisteiden kulumiseen vaikuttavat käyttöympäristö sekä kulumisen määrä paljonko hiukkasia pääsee tiivisteiden ja tiivistepinnan väliin ajan saatossa. Tiivistepinnan korrosoituminen on suurin syy minkä vuoksi tiivisteiden tiiviys pettää akselistoissa.

Suunnittelussa pitää huomioida koko laitteen osa-alueet, keskittyen varsinkin jäähdytykseen sekä voiteluun. Suunnittelussa varsinkin hydraulinen suunnittelu nousee esille tärkeydessään. Mekaanisen suunnittelun tehtäväksi jää osien yhteensopivuuden varmistaminen sekä tarvittavien uusien osien suunnittelu.

Mielestäni opinnäytetyö onnistuu vastaamaan kentänheikennyksen luomiin kysymyksiin sen aiheuttamista muutoksista potkurilaitteissa. Opinnäyte antaa vasta kuitenkin perustason tietoja kentänheikennyksen luomista muutoksista potkurilaitteissa. Aiheesta saisi jatkossakin useita opinnäytetöitä, joissa keskityttäisiin tarkemmin kentänheikennyksen aiheuttamiin muutoksiin ja vaatimuksiin. Tutkittavia osa-alueita olisivat voitelu ja jäähdytys sekä mekaaniset muutokset potkurilaitteissa.

11.1 Kiitokset

Haluan kiittää opinnäytetyössäni saamastani asiantuntemuksesta ja mahdollisuudesta saada tehdä kyseinen työ Rolls-Royce Oy Ab:lle, Rolls-Royce Oy Ab:n henkilökunnalle, työnohjaajalle Karl Ramstedille sekä opinnäytetyöohjaajalleni Jarmo Juusolle.

LÄHTEET

Aalto-yliopisto, vääntöväärähtly. <https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/kul-24.4410/materiaali/kul>. Viitattu 15.12.2014

Artica shipping www-sivut. MSV Fennica
http://www.arctia.fi/fennica_esittely. Viitattu 12.10.2014

Artica shipping www-sivut. MSV Nordica
http://www.arctia.fi/nordica_esittely. Viitattu 12.10.2014

Busch Vakuumteknik Oy, tuotteet, Cobra- ruuvityhjiöpumppu
<http://www.busch.fi>. Viitattu 30.10.2014

Duramaxmarine, heat-boxloorer <http://www.duramaxmarine.com>.
Viitattu 12.11.2014

Finnlines, company, news & press, image bank
<http://www.finnlines.com>. Viitattu 04.12.2014

Fluid Sealing Association, Sealing Sense PDF
<http://www.fluidsealing.com/sealingsense/Dec05.pdf>. Viitattu 24.11.2014

GEA Bloksma, products, shell and tube heat exchangers, marine cooling systems,
box cooler <http://www.gea-heatexchangers.com> . Viitattu 12.11.2014

Halkola. J. Aquamaster öljynkierron tarkastelu muistiinpanot 19.10.1994

Halkola. J. Tehohäviö muistiinpanot 1990-luvulta

Keskitalo, A. Later, Rolls-Royce Oy Ab. Rauma. Henkilökohtainen tiedoksianto
12.11.2014

Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. 1997. Tribologia-kitka, kuluminen ja voitelu.
221-222, 231, 277. 5.painos. Helsinki: Hakapaino Oy

Matusiak, Jerzy. Laivan propulsion, 1993. 3, 8, 11, 12, 20, 22, 79. 6.Paino.Otaniemi

Marine-connectors, wiki, naval ships <http://maritime-connector.com>.
Viitattu 04.12.2014

Marinetime-connectors, wiki, offshore-vessels <http://maritime-connector.com>. Viitattu
04.12.2014

Marine-connectors, wiki, passanger ships <http://maritime-connector.com>.
Viitattu 04.12.2014

Marine-connectors, wiki, ship sizes <http://maritime-connector.com>.
Viitattu 04.12.2014

Metropolia ammattikorkeakoulu, wiki, koneautomaatio, hydrauliiikkapumput
<https://wiki.metropolia.fi> . Viitattu 29.10.2014

Peurla, J. Technical product manager, 08.12.2014 sähköpostiviesti. ARC-painevoitelu dokumentit, vastaanottaja Anssi Koskenoja, anssi.koskenoja@rolls-royce.com

Ramsted, K. Technical product manager, 11.09.2014 sähköpostiviesti. Field Weakening, vastaanottaja Anssi Koskenoja, anssi.koskenoja@rolls-royce.com

Rolls-Royce Oy Ab, Aquamaster 3001

Rolls-Royce, history timeline www-sivut. 2014
<http://www.rolls-royce.com>. Viitattu 11.09.2014

Rolls-Royce, press releases www-sivut. 2014.
<http://www.rolls-royce.com>. Viitattu 11.09.2014

Rolls-Royce Marine, products, propulsion, Azipull.
<http://www.rolls-royce.com/marine> . Viitattu 22.09.2014)

Rolls-Royce Marine, products, propulsion, Contanz.
<http://www.rolls-royce.com/marine>. Viitattu 22.09.2014

Rolls-Royce Marine, products, propulsion, Propellers,CCP
<http://www.rolls-royce.com/marine>. Viitattu 13.10.2014)

Rolls-Royce Marine, products, propulsion, Propellers,FFP
<http://www.rolls-royce.com/marine> . Viitattu 13.10.2014)

Rolls-Royce Marine, ships design and systems, offshore vessels
<http://www.rolls-royce.com/marine>. Viitattu 04.12.2014

Roymech, useful tables, gear efficiency <http://www.roymech.co.uk>.
Viitattu 22.10.2014

Sairio, A.Senior Designer/Product manager, Rolls-Royce Oy Ab. Rauma.
Henkilökohtainen tiedoksianto 23.10.2014

SKF, products, seals <http://www.skf.com>. Viitattu 23.11.2014

Totalpumpsolutions, Seals PDF
<http://www.totalpumpsolutions.co.uk/tech/Mech%20Seal%20-%20Troubleshooting.pdf>. Viitattu 23.11.2014

Viitainen,M-A, R&D Engineer, Rolls-Royce Oy Ab. Rauma. Henkilökohtainen tiedoksianto 20.11.2014

