

Mikko Sainio

SARJAVALMISTEISEN PERÄMOOTTORIN KEHITTYMINEN TEKNISENÄ TUOTTEENA

Opinnäytetyö

Veneteknologian koulutusohjelma

Syyskuu 2015



KYAMK
University of Applied Sciences

Tekijä	Tutkinto	Aika
Mikko Sainio	Insinööri	Syyskuu 2015
Opinnäytetyön nimi		
Sarjavalmisteen perämoottorin kehittyminen teknisenä tuotteena		
Toimeksiantaja		
Suomen merimuseo, Merikeskus Vellamo		
Ohjaaja		
Tapio Pilhjerta, lehtori		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyö käsittelee sarjavalmisteen perämoottorin kehitystä teknisenä tuotteena ensimmäisestä nykyaikaisesta perämoottorista alkaen. Lisäksi opinnäytetyössä käsitellään nykyaikaisen, sarjavalmisteen perämoottorin historiaa sekä tekniikkaa. Tarkoituksena opinnäytetyössä on ollut selvittää, miten perämoottori on yli satavuotisen historiansa aikana kehittynyt nykyiseen muotoonsa.</p>		
<p>Opinnäytetyö perustui kirjallisuustutkimukseen ja lähteinä käytettiin perämoottoreihin liittyviä, jo olemassa olevia kirjoja ja muita julkaisuja. Tarkoitus oli ensiksi selostaa nykyaikaisen perämoottorin synty ja sarjavalmistuksen alkuvaiheet. Tämän jälkeen työssä kerrotaan perämoottoreissa käytettävästä ja esiintyvistä tekniikasta, jotta toimintaperiaate saataisiin kerrottua ja sisäistettyä aiheen selventämiseksi. Varsinaisessa opinnäytetyön aiheessa käydään läpi perämoottorin eri osa-alueiden kehitystä ja kerrotaan, mitä muutoksia tuotteisiin on vuosien saatossa tullut ja tämän jälkeen viimeisessä osiossa eli päätelmissä pohditaan, minkälaista ja kuinka merkittävää perämoottoreiden kehittyminen on loppujen lopuksi ollut.</p>		
<p>Opinnäytetyön kohteena olleesta tutkimusaiheesta saaduista tuloksista käy ilmi, miten perämoottorit ovat kehittyneet historiansa aikana. Työssä on selostettu tekninen kehittyminen, uusien innovaatioiden ilmestyminen ja muusta tekniikasta tunnettujen sovellutusten käyttäminen perämoottoreissa. Lisäksi työstä käy ilmi perämoottorin toimintaperiaate ja miten moottorin toiminnan kannalta tärkeät elementit ja komponentit toimivat. Käyttäen hyödyksi lähinnä englanninkielisistä lähdemateriaaleista peräisin olevia tietoja on tässä opinnäytetyössä selostettu suomeksi johdonmukaisesti, milloin ja miten perämoottori on teknisenä tuotteena kehittynyt sellaiseksi, mikä se nykypäivinä on.</p>		
Avainsanat		
Perämoottori	kaksitahti	nelitahti potkuri

Author	Degree	Time
Mikko Sainio	Engineer	September 2015
Thesis Title		
Technical Development of the Mass-Produced Outboard		
Commissioned by		
Maritime Museum of Finland, Maritime Centre Vellamo		
Supervisor		
Tapio Pilhjerta, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>The thesis examines the development of mass-produced outboard engine as a technical product since the first modern outboard engine was made. In addition, the thesis examines the history and technology of a modern, mass-produced outboard engine. The purpose of the thesis was to determine how the outboard engine has been evolved during the more than century-old history into its current form.</p> <p>The thesis was based on literature research. The aim was firstly to describe the introduction of the modern outboard engine and the first steps of the serial production. After this, the objective was to examine how the outboard engine works and what kind of configuration it has. In the actual topic of the thesis, the development of outboard engine is reviewed and the changes made in the product over the years are presented. The last section discusses the significance of the development of outboard engines.</p> <p>The results obtained in this study demonstrate how outboard engines have evolved over history. The study describes the technical development, the appearance of new innovations and other technologies used in the well-known applications in outboard engines. Furthermore, the study illustrates the operation of outboard engine including all important elements and components.</p>		
Key Words		
Outboard	Two-stroke	Four-stroke
		Propeller

SISÄLLYS

SELITYKSET LYHENTEILLE	5
1 JOHDANTO	6
2 PERÄMOOTTORIN KEHITYS NYKYISEEN MUOTOON	7
3 MIKÄ ON PERÄMOOTTORI	9
3.1 Kaksitahtimoottori	11
3.1.1 Tuorevoitelujärjestelmä	13
3.2 Nelitahtimoottori	13
3.3 Polttoainejärjestelmä	15
3.3.1 Kaasutin	17
3.3.2 Polttoaineen ruiskutus	19
3.3.3 Suorasuihkutus	20
3.4 Sytytysjärjestelmä	21
3.4.1 Magneettosytytys	21
3.4.2 CDI	23
3.4.3 TCI	23
3.5 Jäähdytysjärjestelmä	24
3.6 Voimansiirto ja vaihteisto	26
3.7 Potkuri	28
4 PERÄMOOTTORIN KEHITYMINEN TEKNISENÄ TUOTTEENA	30
4.1 Yksisylinterisestä V-6-moottoriin	31
4.2 Sytytysjärjestelmän kehitys	31
4.3 Kaksitahtitekniikan vaihtuminen nelitahtitekniikkaan	32
4.3.1 Teho-painosuhteen muutokset perämoottoreissa	33
4.4 Polttoainejärjestelmän kehitys	34
4.4.1 Kaasutinmoottorista polttoaineen ruiskutusjärjestelmään	35
4.4.2 Suorasuihkutustekniikan tulo perämoottoreihin	36
4.4.3 Ahtimen käyttö perämoottoreissa	37
4.5 Ilmajäähdytteisestä vesijäähdytteiseen	38
4.6 Jäähdytysjärjestelmän kehitys	38

4.7 Materiaalien käyttö ja muutokset perämoottorituotannossa	39
5 POHDINTA JA PÄÄTELMÄT	41
LÄHTEET	44

SELITYKSET LYHENTEILLE

CDI	Varauksen purkautumiseen perustuva sytytysjärjestelmä (englanniksi Capacitor Discharge Ignition)
TCI	Transistorikontrolloitu sytytysjärjestelmä (englanniksi Transistor Controlled Ignition)
EFI	Elektroninen polttoaineen ruiskutus (englanniksi Electronic Fuel Injection)
DFI	Polttoaineen suorasuihkutus (englanniksi Direct Fuel Injection)

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni tutkin sarjavalmisteen, polttomoottorikäyttöisen perämoottorin kehittymistä teknisenä tuotteena koko sen historian ajan. Tarkoitukseni on selvittää, miten nykymuotoinen, sarjavalmisteen perämoottori on saanut alkunsa ja miten se on muuttunut tultaessa nykyhetkeen. Lisäksi selvitän polttomoottorilla varustetun perämoottorin yleistä toimintaa ja tekniikkaa kyseisen laitteen ymmärtämisen havainnollistamiseksi.

Opinnäytetyöni perustuu kirjallisuuden ja muun aineiston tutkimiseen, jossa käyn läpi jo olemassa olevaa tietoa perämoottoreiden historiasta sekä tekniikasta. Tehtäväkseni jää koostaa niistä johdonmukainen, perämoottoritekniikan kehitymisestä kertova tutkimus.

Aihe rajautuu sarjavalmisteesiin ja polttomoottorikäyttöisiin perämoottoreihin, joiden historia alkaa 1900-luvun vaihteesta. Huolimatta siitä, että maailman ensimmäinen perämoottori oli sähkökäyttöinen, en käsittele sähkökäyttöistä perämoottoria opinnäytetyössäni, koska kyseisen tekniikan kehittyminen ei välttämättä ole niin monimuotoista ja mullistavaa kuin polttomoottorikäyttöisen perämoottorin tekniikan kehittyminen. Lisäksi jätän käsittelemättä harvinaisen dieselöljykäyttöisen perämoottorin, koska huolimatta dieselmoottoreiden suosista muissa sovelluksissa, ne eivät ole ominaisuuksiensa vuoksi lyöneet itseään läpi perämoottoreissa.

Tavoitteeni on saada kirjoitettua mahdollisimman tarkka ja yksityiskohtainen tutkimus käsiteltävästä aiheesta sekä oppia henkilökohtaisesti lisää perämoottoreista, niiden historiasta ja tekniikasta. Tarkoitus olisi myös oppia etsimään tietoa eri lähteistä ja yhdistelemään niistä johdonmukainen ja totuudenperäinen selonteko. Koska lähdemateriaali on lähes poikkeuksetta englanninkielistä, myös vieraskieliseen aineistoon perehtyminen tulee näyttämään vahvaa roolia opinnäytetyössäni.

Opinnäytetyön aiheen valitsin siitä syystä, että olen opiskeluaikana ollut työharjoittelussa ja kesätöissä veneen perämoottoreita huoltavassa ja korjaavassa yrityksessä, ja saanut sitä kautta valtavan määrän lisätietoa aiheesta. Li-

säksi henkilökohtainen kiinnostukseni perämoottoreista, niiden tekniikasta ja kehitymisestä vahvistivat opinnäytetyöaiheen valintaa.

2 PERÄMOOTTORIN KEHITYS NYKYISEEN MUOTOON

Perämoottori on hieman yli satavuotisen historiansa aikana kehittynyt erittäinkin tekniseksi laitteeksi. Ensimmäisten valmistettujen, vain muutaman hevosvoiman tehoisten perämoottorien kehitys on johtanut siihen, että nykyään markkinoilla on tarjolla monen sadan hevosvoiman moottoreita, jotka on varusteltu nykyaikaisella tekniikalla, kuten elektroninen polttoaineen ruiskutusjärjestelmä ja kompressoriahdin. Tarjonta on laaja ja valinnanvaraa löytyy niin käyttötarkoituksen kuin tarpeidenkin mukaan. Myös valmistajien määrä on tänä päivänä suurempi kuin alkuaikoina ja moottoreissa on hieman eroavaisuuksia valmistajasta riippuen, vaikkakin kaikki perämoottorit loppujen lopuksi perustuvat samaan tekniikkaan, joka on kehittynyt vuosien saatossa.

Historian ensimmäisenä perämoottorina pidetään Gustave Trouven vuonna 1881 julkistamaa ulkolaitamoottoria, joka korvasi airot soutuveneessä. Moottori oli täysin sähkötoiminen, ja se oli liitetty kiinni peräsimeen pyörittäen ketjun välityksellä peräsimeen integroitua potkuria. Trouve hankki patentin keksinnölleen, mutta se ei päätenyt koskaan sarjavalmistaiseksi propulsiojärjestelmäksi, vaikkakin sitä voi pitää maailman ensimmäisenä perämoottorina ja sähköisen perämoottoritekniikan edelläkävijänä. (Webb 1967, 17–30)

Polttoainekäyttöisen perämoottorin historian voidaan katsoa alkaneeksi vuonna 1896, jolloin American Motors Company valmisti 1–2 hevosvoiman teholla olevan, yksisylinterisen ja ilmajäähdytteisen nelitahtiperämoottorin. Kyseinen moottori oli sikäli edistyksellinen, että itse moottorin tuottama teho muunnettiin pystysuunnassa olevien kampiakselin ja pystyakselin, kartiohammaspyörien sekä vaakasuuntaisen potkuriakselin välityksellä potkurin työntövoimaksi. Tämä on myös voimassa oleva käytäntö nykyaikaisissa perämoottoreissa. Sytytys tapahtui pariston ja sytytyspuolan avulla sylinterikannessa olleesta elektrodista. American Motors Companyn valmistamaa perämoottoria ei myyty kuin ainoastaan 25 kappaletta, mutta se voidaan silti laskea polttomoottorilla varustettujen perämoottoreiden edelläkävijäksi. (Webb 1967, 17–30)

Seuraava merkittävä virstanpylväs perämoottoreiden historiassa tapahtui, kun detroitilainen Cameron B. Waterman perusti Yhdysvalloissa pienen tehtaan ja alkoi valmistaa perämoottoreita sarjatuotantona. Hän kehitti omaa versioitaan moottoripyörän moottorin pohjalta, ja vuonna 1905 valmistui prototyyppi yksisylinterisestä, ilmajäähdytteisestä perämoottorista. Tämän prototyypin pohjalta Waterman hankki patentin sarjavalmisteiselle perämoottorille ensimmäisenä maailmassa. Vuonna 1907 yritys luopui ilmajäähdytteisten moottoreiden valmistuksesta, ja alkoi valmistaa vesijäähdytteisiä moottoreita. Näitä moottoreita valmistettiin yhteensä 3 000 kappaletta, joten Waterman-perämoottoreiden sarjatuotanto oli merkittävää tuohon aikaan. (Webb 1967, 17–30)

Historiallisesti ehkä tunnetuin tapahtuma ja oikeana pidetyin versio perämoottorin synnystä ajoittuu vuoteen 1907, jolloin Ole Evinrude kehitti oman versionsa perämoottorista. Historiallisten dokumenttien valossa Evinrude ei tosin ollut ensimmäinen, mutta hänen versionsa vastasi ominaisuuksiltaan eniten nykyaikaista perämoottoria, joten häntä pidetään yleisesti nykyaikaisen, polttomoottorikäyttöisen ja merkittävän sarjavalmistetun perämoottorin keksijänä. (Webb 1967, 31–40)



Kuva 1. Evinruden ensimmäinen sarjavalmistein perämoottori. (Mikko Sainio 23/9/15)

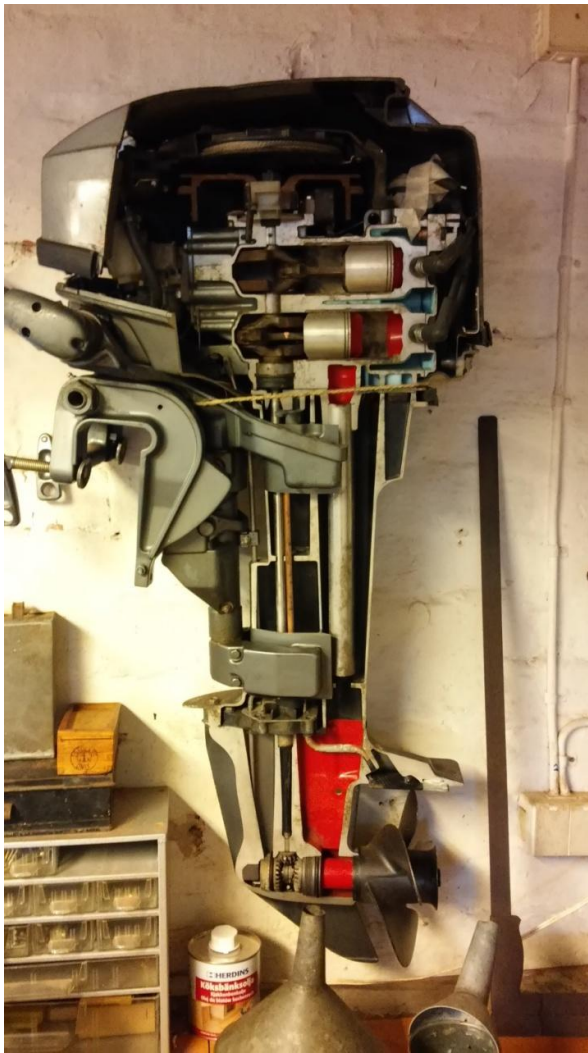
Erään tarinan mukaan Evinrude sai idean perämoottoriinsa tyttöystävänsä takia, kun tämä halusi piknikin päätteeksi syödä jäätelöä. Evinrude souti järven toiselle puolelle noutamaan jäätelöä, mutta ei onnistunut tuomaan sitä perille riittävän nopeasti, ennen kuin se sulii. Näin Evinrude alkoi kehitellä mielessään moottoria, joka korvaisi soutuveneessä airot, ja mahdollistaisi nopean liikku-
misen vesillä, jottei vastaavaa vahinkoa pääsisi enää tapahtumaan. Ole Evin-
ruden kehittänyt, ensimmäisen irrotettavan soutuvenemoottorin prototyyppi
valmistui vuonna 1907 ja ensimmäisten Evinrude-perämoottoreiden sarjatu-
tanta alkoi vuonna 1909. Silloin ne olivat yksisylinterisiä ja vesijäähdytteisiä,
puolentoista ($1\frac{1}{2}$) hevosvoiman tehoisia kaksitahtimoottoreita, joissa oli paris-
tokäyttöinen sytytys. Varsinainen läpilyönti myynnissä tapahtui vasta 1910,
mutta kuvan 1 havainnollistama Evinrude- perämoottori mullisti venemoottori-
teknologian tarjoten kevyimmän ja helppokäyttöisimmän perämoottorin, mitä
siihen mennessä oli kehitetty. (Webb 1967, 31–40)

Siitä, onko Evinruden sarjavalmistetun perämoottorin keksimiseen johtaneen idean syntytarina totta, ei ole täyttä varmuutta. Kuitenkin Evinruden keksimät sekä ensimmäinen Evinrude- perämoottori että sitä seurannut tehokkaampi ja kevyempi kaksisylinterinen ELTO- perämoottori, sysäsivät liikkeelle nykyaikai-
sen perämoottorin teollisuuden ja näihin päiviin jatkuneen ja edelleen jatkuvan
kehityksen. (Webb 1967, 31–40) (Bartlett 2004, 1)

3 MIKÄ ON PERÄMOOTTORI

Perämoottori, tai ulkolaitamoottori, on veneen peräpeiliin kiinnitettävä propul-
siojärjestelmä, joka koostuu tehon tuottavasta moottorista, tehoa siirtävästä ja
momentin sekä pyörimisnopeuden suhdetta muuntavasta vaihteistosta ja te-
hon työntövoimaksi muuttavasta potkurista. Perämoottori antaa veneelle
eteenpäin työntävän voiman lisäksi ohjattavuuden, mikä tarkoittaa, että kään-
tämällä veneen peräpeiliin kiinnitettyä moottoria saadaan kohdistettua työntö-
voima haluttuun suuntaan. Perämoottorit voivat olla työtavaltaan joko 2- tai 4-
tahtisia vaikkakin perinteisellä tekniikalla toimivien uusien 2-
tahtiperämoottoreiden myynti on tiukentuneiden päästörajoitusten takia ollut
EU-alueella kiellettyä vuodesta 2006. (Bartlett 2004, 1–4)

Työtavasta riippumatta perämootorin toimintaperiaate on sama. Vauhtipyörää pyörytetään joko käsin tai tarkoituksen mukaisella starttimootorilla, jolloin sille saadaan aikaiseksi pyörivä liike. Vauhtipyörän pyöryttämisestä aiheutuva mekaaninen liike-energia muutetaan magneeton eli sähkögeneraattorin tai elektronisessa sytytysjärjestelmässä latautuneen kondensaattorin avulla sähkövirraksi ja sitä kautta korkeaksi jännitteeksi, joka purkautuu sytytystulpan kärjestä kipinän muodossa. Sytytystulpasta purkautunut kipinä sytyttää palotilaan eli sylinteriin ohjatun kaasuuntuneen polttoaine-ilmaseoksen, joka sytytyessään laajenee lämpötilan muutoksen johdosta. Lämpötilan muutoksen seurauksena laajentunut kaasu liikuttaa sylinterissä olevaa mäntää, joka edestakaisin liikkuessaan pyörittää kiertokangon avulla kampiakselia. Tämä taas saa itsessään kiinni olevan vauhtipyörän pysymään pyörivässä liikkeessä. (Bartlett 2004, 1–4)

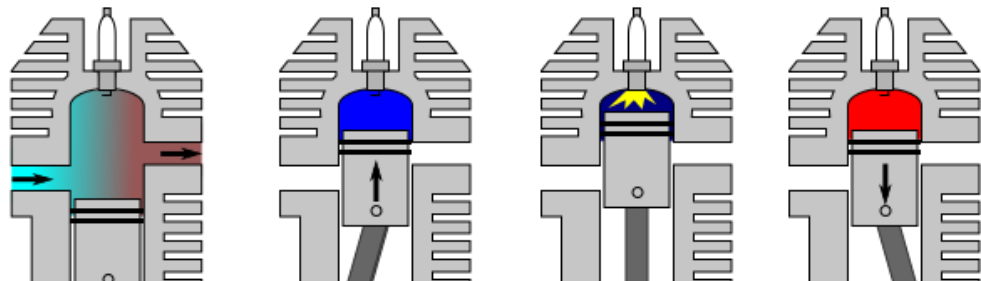


Kuva 2. Polttomootorikäyttöisen perämootorin läpileikkaus. (Mikko Sainio 23/9/15)

Näin kuvassa 2 esitetyn perämoottorin kone tuottaa tehon, joka pysty akselin välityksellä siirretään vaihteistoon ja edelleen hammasrattaiden ja potkuriakselin välityksellä potkuriin. Moottorin suurimmat erot tulevat esille työkierrosta eli siitä, onko moottori 2- tahtitekniikalla vai 4-tahtitekniikalla toimiva. (Bartlett 2004, 1–4)

3.1 Kaksitahtimoottori

Kaksitahtimoottorin työkierto koostuu nimensä mukaisesti kahdesta, kuvassa 3 esitetystä vaiheesta, työtahdist ja huuhteluvaiheesta. Työkierrossa mäntä liikkuu kerran ylös ja kerran alas yhden kampiakselin kierroksen aikana, eli kaksitahtimoottorin työtahti tapahtuu aina jokaisella kampiakselin kierroksella. (Bartlett 2004, 6–9)



Kuva 3. Kaksitahtimoottorin työkierto. (Tucvbif. 2/5/2014)

Toisin kuin nelitahtimoottoreissa, joissa polttoaine-ilmaseoksen pääsy sylinteriin ja palokaasujen poisto sylinteristä tapahtuu sylinterikannassa sijaitsevien venttiilien kautta, kaksitahtimoottoreissa polttoaine-ilmaseos johdetaan sylinteriin sylinterilohkon sivulla olevan siirtokanavan kautta. Vastaavasti palokaasut johdetaan pois sylinterilohkon toisella sivulla olevan pakokanavan kautta. Näin ollen kaksitahtimoottoreissa ei tarvita nokka-akselin säätelmää venttiilikoneistoa vaan mäntä hoitaa siirron ja poiston sulkemalla ja avaamalla kanavia liikkuaan edestakaisin sylinterissä. Toinen merkittävä ero nelitahti- ja kaksitahtimoottorilla on kampiakselia ja kiertokangen alaosa ympäröivän

kampikammion tärkeä rooli kaksitahtimoottorin toiminnassa. (Bartlett 2004, 6–9)

Kaksitahtimoottorissa kampikammio on suljettu ja ilmatiivis kammio. Männän noustessa ylös, paine kampikammiossa vähenee ja polttoaine-ilmaseos pääsee alipaineen ansiosta virtaamaan kampikammioon yksisuuntaisen läppäventtiilin kautta. Kun pyörivä vauhtipyörä ja kampiakseli ovat vetäneet männän ala-asentoon, paine kampikammiossa kasvaa, kunnes männän peittämä siirtokanava kampikammioista sylinteriin aukeaa ja paineistettu polttoaine-ilmaseos pääsee virtaamaan sylinteriin. (Bartlett 2004, 6–9)

Kun mäntä taas nousee ylöspäin, se peittää siirtokanavan ja puristaa paineistetun polttoaine-ilmaseoksen odottamaan palamisvaihetta. Samanaikaisesti uutta polttoaine-ilmaseosta virtaa kampikammioon odottamaan uutta kiertoa. Tätä vaihetta työkierrossa kutsutaan työtahdiksi. (Bartlett 2004, 6–9)

Kun sytytystulppa antaa kipinän ja sytyttää polttoaine-ilmaseoksen palamaan, palamistapahtumasta johtuva lämpölaajenemisilmiö painaa männän alas aukaisten sylinterilohkon sivuilta pakokanavan ja siirtokanavan, jolloin edellisen työtahdin aiheuttamat palokaasut pääsevät poistumaan sylinteristä ja uutta polttoaine-ilmaseosta pääsee virtaamaan sylinteriin aloittaen koko prosessin uudestaan. Tätä vaihetta työkierrossa kutsutaan huuhteluvaiheeksi. (Bartlett 2004,6–9)

Koska kaksitahtimoottorissa kiertokangen ja kampiakselin yhdistävät laakerit sekä itse kampiakselin tuenta moottorilohkoon ovat kovan rasituksen kohteena, tarvitsevat ne voiteluöljyä kitkan pienentämiseen. Kaksitahtimoottorissa kampiakseli toimii polttoaine-ilmaseoksen kuljettimena, joten voiteluöljyä ei voi kierrättää öljypohjan kautta kampiakselille ja takaisin kuten nelitahtimoottorissa, koska voiteluöljyt huuhtoutuisivat kampikammioista pois polttoaineseoksen mukana. Niinpä perinteisen kaksitahtimoottorin voitelu on suunniteltu suoritettavaksi lisäämällä polttoaineen sekaan tarkoituksen mukaista, kaksitahtimoottorille suunnattua voiteluöljyä, joka kulkeutuu polttoaineen seassa sylinteriin voidellen matkalla kampiakselin sekä kiertokangen laakerit kampikammiossa ja poistuen lopulta pakokanavasta palokaasujen mukana. (Bartlett 2004, 6–9)

3.1.1 Tuorevoitelujärjestelmä

Perinteisen polttoaineen ja voiteluöljyn valmiiksi sekoittamisen sijaan kaksitahtimoottoreihin on kehitelty tuoreöljyvoitelu- eli tuorevoitelujärjestelmä. Tämä tarkoittaa, että öljy sijaitsee erillisessä säiliössä moottorikopan sisällä, josta se kampiakselin välityksellä toimivan mekaanisen pumpun avulla johdetaan polttoainejärjestelmään. Tuorevoitelujärjestelmistä löytyy eroja eri valmistajien mukaan: joissakin järjestelmissä öljy pumpataan polttoaineen sekaan ennen polttoainepumppua, joissakin se pumpataan polttoainepumppuun tai kaasuttimeen ja joissakin järjestelmissä öljy pumpataan mahdollisesti suoraan koneen imukanavaan tai kampiakselin laakereille. (Bartlett 2004, 34–35)

Tuorevoitelutekniikan kehittyessä järjestelmät kehitettiin muokkaamaan polttoaine-öljy-seossuhde oikeaksi perämoottorin eri toimintatilanteissa. Tämä tarkoittaa, että kierroksia lisäämällä tai vähentämällä saadaan pumppu reagoimaan vaijerin tai tangon välityksellä kaasuttimen kuristinläpän asentoon ja syöttämään öljyä moottorin tarvitsema määrä. Toisin sanoen pienillä kierroksilla kuristinläppä on hieman auki, jolloin kone tarvitsee vähemmän öljyä kampiakselin voiteluun ja kun taas moottori käy kovilla kierroksilla, kuristinläppä aukeaa enemmän ja pumppu syöttää enemmän voiteluöljyä polttoaineen sekaan. (Bartlett 2004, 34–35)

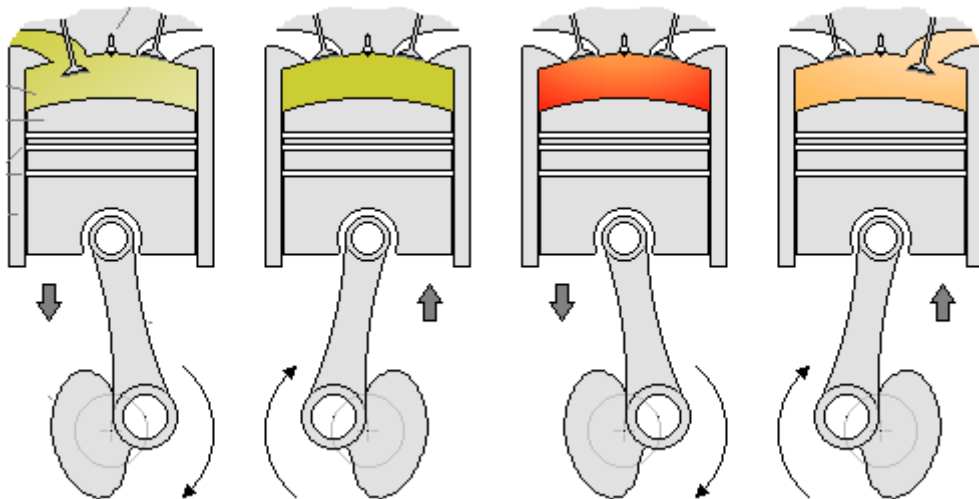
3.2 Nelitahtimoottori

Nelitahtimoottorin työkierto koostuu neljästä, kuvassa 4 esitetystä toimintavaiheesta, imutahdistista, puristustahdistista, työtahdistista ja poistotahdistista. Nelitahtimoottorissa työtahti tapahtuu joka toisella kampiakselin kierroksella toisin kuin kaksitahtimoottorissa, jossa työtahti tapahtuu jokaisella kampiakselin kierroksella. Johtuen nelitahtimoottorin työkierrosta polttoaine-ilmaseoksen palaminen on puhtaampaa, jolloin palamatonta polttoainetta ei poistu palokaasujen mukana sylinteristä ja päästöt pystytään pitämään paremmin kurissa verrattuna kaksitahtimoottoreihin. Nelitahtimoottoreissa polttoaine-ilmaseoksen pääsy sylinteriin ja palokaasujen poisto sylinteristä tapahtuu sylinterikannessa sijaitsevien kanavien kautta, joiden avautumista ja sulkeutumista säädellään nokka-akselin välityksellä toimivien imuventtiilin ja pakuventtiilin avulla. (Bartlett 2004, 5–6)

Imutahdissa kampiakseli vetää mäntää alaspäin, jolloin imuventtiili aukeaa ja polttoaine-ilmaseos pääsee virtaamaan sylinteriin sylinterikannessa sijaitsevan imukanavan kautta. Puristustahdissa sekä imu- että pakoventtiili ovat kiinni ja kampiakseli painaa mäntää ylöspäin puristaen kaasuuntuneen polttoaine-ilmaseoksen valmiiksi palamisvaihetta varten. (Bartlett 2004, 5–6)

Varsinaisessa työtahdissa sytytystulppa antaa kipinän sytyttäen kaasuuntuneen polttoaine-ilmaseoksen palamaan, jolloin mäntä liikkuu jälleen alaspäin lämpötilan muutoksen seurauksena johtuneesta laajenemisesta. Työtahdissa sekä imu- että pakoventtiili ovat kiinni sulkien imu- ja pakokanavat sylinterikannessa. Työtahti on ainoa vaihe työkierrossa, joka tuottaa tehoa moottorille. (Bartlett 2004, 5–6)

Työkierron viimeisessä vaiheessa eli poistotahdissa pakoventtiili aukeaa ja kampiakselin toimesta mäntä nousee ylöspäin työntäen palamisesta aiheutuneet palokaasut pakokanavaan sylinterikannessa. Kierro pysyy aina vastavana moottorin ollessa käynnissä. (Bartlett 2004, 5–6)



Kuva 4. Nelitahtimoottorin työkierto (Dodo. 22/8/2006)

Imu- ja pakoventtiileitä säätelevä nokka-akseli pyörii kampiakselin välityksellä pyörimisnopeuden ollessa puolet kampiakselin pyörimisnopeudesta. Kampiakselin pyörimisliike välitetään nokka-akselille hieman erilailla moottorin koosta riippuen; pienimmissä koneissa välitys tapahtuu hammasrattailla, mutta suuremmissa koneissa kampiakseli pyörittää nokka-akselia tarkoituksen

mukaisen hammas- eli jakohihnan tai vastaavasti jakoketjun avulla. Nokka-akselin pyöriessä sen nokka työntää keinuvipua, joka taas vastaavasti painaa venttiiliä venttiilin jousta vasten alaspäin aukaisten sylinterikannessa olevan kanavan. Nokka-akseli avaa kunkin venttiilin kerran kahden kampiakselin kierroksen aikana. (Bartlett 2004, 6)

Kuten kaksitahtimoottorissakin, myös nelitahtimoottorissa olevat laakerit tarvitsevat kovan rasituksen kohteina ollessaan voiteluöljyä, mutta kaksitahtimoottorista poiketen nelitahtimoottorissa kampiakseli ei toimi polttoaineilmaseoksen kuljettimena, joten niissä on tarkoitukseen sopiva öljypohja- tai varasto, josta voiteluöljy kierrätetään öljypumpun avulla voitelua tarvitseviin kohtiin ja sieltä se palaa takaisin öljypohjaan. Tästä syystä nelitahtimoottorin voiteluöljyt tulee aika ajoin vaihtaa, koska ne sitovat itseensä muun muassa metallihiutaleita, karstaa, nokea ja pieniä määriä polttoainetta sekä tiivistynyttä vettä, jolloin voiteluteho heikkenee. (Bartlett 2004, 33–34)

3.3 Polttoainejärjestelmä

Perämoottorin polttoainejärjestelmä on pääpiirteittäin seuraavanlainen; järjestelmä alkaa tarkoituksen mukaisesta säiliöstä, josta polttoaine virtaa moottorin polttoainepumpulle ja siitä edelleen kaasuttimelle tai ruiskutusumpulle riippuen perämoottorista. Useimmissa polttoainejärjestelmissä on asennettu polttoainelinjastoon säiliön ja polttoainepumpun välille jonkinlainen polttoainesuodatin, mahdollisesti kaksinkin kappalein, ja käsikäyttöinen polttoainepumppu. (Bartlett 2004, 12)

Polttoainesäiliöitä on kolmea erilaista versiota; kiinteätä, irrallista ja veneeseen rakennettua kiinteätä polttoainesäiliötä. Kiinteä polttoainesäiliö sijaitsee perämoottorin kopan alla asennettuna kiinni koneeseen, joten se on kooltaan melko pieni ja soveltuu näin ollen lähinnä pienille perämoottoreille. Säiliön ollessa kiinnitettynä moottorin yläpuolelle polttoaine pääsee gravitaation johdosta virtaamaan koneeseen ilman polttoainepumppua, mutta polttoaineen virtaaminen koneeseen on tarvittaessa pystyttävä estämään sulkuhanalla ja säiliön täyttöaukon peittävässä korkissa tulee olla aukko, josta säiliöön pääsee korvausilmaa. (Bartlett 2004, 12–13)

Irrallisen polttoainesäiliön täyttöaukon korkissa tulee myös olla korvausilmaa varten aukko, mutta sulkuhanaa ei tarvita, koska polttoaineletku on mahdollista kiinnittää ja irrottaa säiliöstä pikaliittimellä. Säiliön pään liittimessä jousijännitteinen venttiili estää polttoainetta valumasta säiliöstä pois kun polttoaineletku on irrotettuna. Irrallinen polttoainesäiliö sijaitsee veneessä yleensä moottorin tason alapuolella, joten polttoaine ei virtaa moottoriin gravitaation johdosta vaan polttoaineletkuun tarvitaan käsikäyttöinen pumppu, jolla avustetaan moottori käyntiin ennen kuin moottorin oma polttoainepumppu alkaa alipaineen avulla imeä polttoainetta säiliöstä pitääkseen moottorin käynnissä. (Bartlett 2004, 12–13)

Veneeseen rakennettu kiinteä polttoainesäiliö on lähinnä isompikokoisia perämoottoreita varten. Kuten irrallinen polttoainesäiliökin, myös veneen kiinteä polttoainesäiliö sijaitsee moottorin tason alapuolella, joten käsikäyttöinen polttoainepumppu on tarpeellinen moottorin käynnistymistä avustettaessa. (Bartlett 2004, 12–13)

Nykyään lähes jokaisessa perämoottorissa on polttoainesuodatin jossain kohtaa perämoottorikopan sisällä. Suodattimen on tarkoitus suodattaa polttoaineesta kaikenlaiset roskat ja epäpuhtaudet pois ennen kuin se saavuttaa polttoainepumpun ja kaasuttimen tai ruiskutusumpun. Suodatin tulisi mallista riippuen joko puhdistaa tai vaihtaa uuteen säännöllisin väliajoin. (Bartlett 2004, 13–15)

Veneeseen rakennetusta kiinteästä polttoainesäiliöstä lähtevään polttoainelinjastoon on laitettavissa myös erillinen vedenerottava polttoainesuodatin, joka suodattaa polttoaineesta roskan ja veneen kiinteään polttoainesäiliöön helposti kertyvän kondensaatioveden pois. Myös vedenerottava polttoainesuodatin tulisi puhdistaa tai vaihtaa uuteen säännöllisesti. (Bartlett 2004, 13–15)

Kaikissa perämoottoreissa ei tarvita polttoainepumppua. Varsinkin kiinteällä polttoainesäiliöllä varustetuissa moottoreissa polttoaine virtaa koneeseen gravitaation johdosta. Tosin kun moottorin koko vähänkin kasvaa ja kiinteätä polttoainesäiliötä ei ole mahdollista asentaa, alkaa polttoainepumppu olla tarpeellinen komponentti moottorin toiminnan kannalta. Polttoainepumput vaihtelevat hieman valmistajan ja mallin mukaan, mutta lähtökohtaisesti ne ovat kalvo-

pumppuja, jotka toimivat joko paineilmalla tai mekaanisesti. (Bartlett 2004, 15–16)

Paineilmatoiminen kalvopumppu on keveytensä, kokonsa, yksinkertaisuutensa ja toimintaperiaatteensa vuoksi kaksitahtimoottoreissa käytetty pumppu. Itse pumppu koostuu metallisesta rungosta, jonka joustava kalvo jakaa kahteen kammioon, kuivaan ja märkään. (Bartlett 2004, 15–16)

Kuivakammio on yhteydessä kampikammioon pienen kanavan välityksellä. Männän noustessa sylinterissä ylipaine kampikammiossa pienenee ja alipaine kasvaa, jolloin pumpun kalvo painautuu kohti kampikammioon vievää kanavaa ja pumpussa oleva pieni läppäventtiili aukeaa, minkä seurauksena polttoaine kulkeutuu alipaineen avulla polttoainepumppuun täyttäen märkäkammion. Kun taas mäntä laskeutuu sylinterissä ja ylipaine kampikammiossa kasvaa, pumpun kalvo pullistuu paineen johdosta, jolloin pumpun rungon toisella puolella oleva läppäventtiili aukeaa ja polttoaine pääsee virtaamaan pumpun märkäkammioista ulos. (Bartlett 2004, 15–16)

Nelitahtimoottorin kampikammiossa ei pääse syntymään vastaavanlaista painetta kuten kaksitahtimoottorissa, joten paineen vaihteluiden avulla toimiva kalvopumppu ei ole mahdollinen vaihtoehto nelitahtimoottorissa polttoaineen pumppaamiseen. Tästä syystä niissä käytetään varta vasten suunniteltua mekaanista polttoainepumppua. Myös mekaanisessa polttoainepumpussa on kalvo, jonka edestakaisella liikkeellä saadaan säädeltä polttoaineen määrää ja liikkuvuus märkäkammiossa, mutta erona on kalvon edestakaisen liikkeen muodostaminen jousikuormitteisella vivulla, jota keikutellaan koneen kampiakselissa olevan nokan avulla. (Bartlett 2004, 15–16)

3.3.1 Kaasutin

Kaasutin, joka on esitetty kuvassa 3, on mekaaninen laite, jonka tehtävä on säätää polttoaineen ja imuilman seossuhde sopivaksi, jotta se voi palaa puhtaasti sylinterissä, ja säännöstellä valmiin seoksen virtaus koneeseen. Vaikka elektroninen ruiskutusjärjestelmä on korvannut kaasuttimen suuremmissa perämoottoreissa, on se edelleen pienimmissä moottoreissa käytetyin järjestelmä.



Kuva 5. Kolme kaasutinta. (Mikko Sainio 23/9/15)

Perinteinen kaasutin koostuu kurkusta, josta imuilma virtaa alipaineen avulla koneeseen, ja kohokammioista, joihin polttoainepumppu syöttää polttoainetta ja josta se säännöstellään kurkussa kulkevan imuilman joukkoon. Kaasuttimen kurkussa on kavennus, jota kutsutaan Bernoullin lakiin liittyvän ilmiön vuoksi venturiksi. Tämä tarkoittaa, että virtaavan aineen nopeus kasvaa ja paine pienenee, kun se kulkee kavennetun kohdan läpi. Eli kaasuttimen kurkun kavennuksen, venturin, on tarkoitus luoda alipaine siihen kohtaan, missä virtaus on nopeimmillaan. (Bartlett 2004, 16–17)

Samanaikaisesti kun ilma virtaa kaasuttimen kurkkuun, polttoainepumpun eteenpäin siirtämä polttoaine virtaa kaasuttimessa olevaan kohokammioon. Koska polttoaineen pinta kammiossa halutaan palamiskelpoisen seoksen aikaansaamiseksi vaadittavalle tasolle, on kammiossa koho, joka liikkuu ylösalas polttoaineen pinnan mukaan, ja neulaventtiili, joka oikean polttoainepinnan kohdalla ja kohon nostamana, tukkii polttoainepumpulta tulevan reiän ja katkaisee polttoaineen virtauksen kohokammioon. Kohokammioista polttoaine siirtyy ohuen pääsuuttimen kautta kaasuttimen kurkun kavennukseen eli venturiin Bernoullin laista johtuvan alipaineen johdosta. Sitä mukaa kun polttoainetta siirtyy kohokammioista kaasuttimen kurkkuun ja sekoittuu imuilman sekaan, pinta sekä koho kohokammiossa laskevat ja uutta polttoainetta pääsee kaasuttimeen. (Bartlett 2004, 16–17)

Jotta moottorin kierroksia eli polttoaine-ilmaseoksen saantia, voidaan lisätä tai vähentää, tarvitaan kaasuttimen kurkussa kaasuläppää, jota avaamalla saadaan lisää polttoainetta virtaamaan moottoriin, ja jota sulkemalla saadaan vähennettyä virtausta moottoriin. Kaasuläppä sijaitsee kaasuttimen kurkun kavennuksen ja koneen välissä. Kaasuläpän asentoa säädetään tarkoituksen mukaisella kaasuvivulla tai -kahvalla. (Bartlett 2004, 16–17)

Kaasuläpän lisäksi kaasutin tarvitsee toimiakseen myös rikastinläpän eli rikastimen. Rikastin on ulkonäöltään ja toiminnaltaan samanlainen kuin kaasuläppä, mutta erotuksena se sijaitsee kaasuttimen kurkun kavennuksen etupuolella. Rikastimella säädelään koneeseen pääsevän imuilman määrää ja jos rikastimella tukitaan kurkku ja estetään imuilman saanti, koneen tuottaman alipaineen johdosta polttoaine virtaa kohokammioista koneeseen sekoittumatta imuilmaan. Rikastimen käyttö on olennaisesti tärkeää varsinkin silloin, kun moottori on kylmä ja tarvitsee käynnistyäkseen ilmaan sekoittamatonta polttoainetta. (Bartlett 2004, 16–17)

3.3.2 Polttoaineen ruiskutus

Mekaanisen kaasuttimen osoittauduttua riittämättömäksi laitteeksi säätelmään sylinterin palotapahtumaan tarvittavan polttoaineen ja ilman seosta, otettiin myös perämoottoritekniikkaan käyttöön elektronisesti ohjattu polttoaineen ruiskutus, EFI, mikä oli vastaavasti ollut esimerkiksi autoteollisuudessa käytössä jo monien vuosien ajan. Ensimmäiset elektronisella polttoaineen ruiskutuksella varustetut moottorit tulivat markkinoille 1990-luvulla, mutta vasta 2000-luvun puolella siitä tuli lähes yksinomaan käytetty järjestelmä johtuen vuonna 2006 asetetusta päästölaista, jolloin perinteiset kaksitahtiset perämoottorit poistuivat uusien moottoreiden markkinoilta ja isompikokoisten, toiminnaltaan monimutkaisempien nelitahtisten perämoottoreiden polttoaineen saannin säätelyyn vaadittiin mekaanisia kaasuttimia tarkempi ja tehokkaampi ruiskutusjärjestelmä. Nykyaikaiset nelitahtiset, alle 20-hevosvoiman tehoiset perämoottorit käyttävät edelleen pääosin kaasutinta polttoaine-ilmaseoksen saannin säätelyyn, mutta isommat perämoottorit käyttävät yksinomaan elektronista polttoaineen ruiskutusta. (Bartlett 2004, 17)

Perämootoreiden polttoaineen ruiskutuksen kohdalla puhutaan elektronisesta polttoaineen ruiskutuksesta. Tämä tarkoittaa, että polttoaineen ja ilman seosta säädellään elektronisesti moottorin ohjainyksikön avulla, joka saa seoksen säätämiseen tarvittavaa tietoa polttoaine- ja imuilmajärjestelmään asennettujen anturien avulla.

Moottorin tarvitseman ilman määrää säädellään kaasuläppäkotelon avulla eli kun moottorin kierroksia pyritään nostamaan, kaasuläppäkotelossa oleva kaasuläppä aukeaa ja ilmaa pääsee virtaamaan moottorin imusarjaan. Ilman virtatessa imusarjaan kaasuläppän asentotunnistin ja ilmamäärätunnistin antavat tietoa moottorinohjainyksikölle imuilman sekaan tarvittavan polttoaineen määrästä. Tällöin ohjainyksikkö laittaa polttoainepumpun imemään polttoainetta moottoriin ja paineistamaan sen erillisen polttoainepaineensäätimen avulla, jonka jälkeen paineistettu polttoaine johdetaan imusarjassa oleville ruiskutus-suuttimille. Suuttimilta polttoaine suihkutetaan imusarjassa virtaavan ilman joukkoon, josta se etenee kohti sylintereitä. Kun moottorin työ kierrossa tulee hetki, jolloin tarvitaan polttoaine-ilmaseosta palotapahtumaa varten, imuventtiilit aukeavat päästäten polttoaineseoksen sylinteriin ja nokka-akselin sekä kampiakselin asentotunnistimet antavat jälleen tietoa ohjainyksikölle oikea-aikaisen polttoaineseoksen annostelusta tasaisesti jatkuvaa toimintaa varten. Kun pakoventtiilit aukeavat ja päästävät pakokaasut pois sylinteristä, pakokanavistoon asennettu happitunnistin ilmoittaa moottorin ohjainyksikölle, miten puhtaasti palotapahtuma on tapahtunut.

Elektronisen polttoaineen ruiskutusjärjestelmän etuina ovat huomattavasti parempi hyötysuhde verrattuna kaasuttimeen aikaansaadun tehon valossa, parempi polttoainetaloudellisuus sekä pienemmät päästöt johtuen tarkasta palotapahtumasta. Haittapuolina taas on se, että ruiskutusjärjestelmät ovat erittäin monimutkaisia systeemejä, joiden kokoonpano on haastava valmistaa sekä asentaa ja korjata. Myös hinta on huomattavasti korkeampi kaasutintekniikalla varustettuun järjestelmään verrattuna.

3.3.3 Suorasuihkutus

Vuonna 2006 voimaan astuneen lain nojalla perinteiseen kaksitahtitekniikkaan perustuvien uusien perämootorien myynti EU:n alueella on kielletty, mutta

vaihtoehdoksi nelitahtimoottorille ja kaksitahtitekniikan hyötyjä vaalien markkinoille on kehitelty polttoaineen suorasuihkutukseen perustuva järjestelmä, DFI. Toisin kuin kaasuttimella varustetussa kaksitahtimoottorissa, jossa polttoaine syötetään ensin kampikammioon ja sieltä sylinteriin, suorasuihkutuksella varustetussa moottorissa polttoaine ruiskutetaan korkeapainepumpun avulla suoraan sylinteriin. Ruiskutus palotilaan tapahtuu vasta siinä työkierron vaiheessa kun mäntä tukkii pakoaukon suun, jolloin perinteisestä kaksitahtimoottorista poiketen palamatonta polttoaine-öljyseosta ei pääse poistumaan palokaasujen mukana huuhteluvaiheen aikana laisinkaan. Näin ollen suorasuihkutuksella varustetussa moottorissa polttoaineen kulutus on pienempi, koska valmiiksi paineistettu polttoaine palaa puhtaammin ja palotapahtumaan tarvitaan vähemmän polttoainetta, päästöt ovat huomattavasti pienemmät, koska huuhteluvaiheen aikana palotilasta ei poistu yhtään palamatonta polttoainetta, ja puhtaampi palotapahtuma tuo moottorille hieman lisää tehoa sekä vähentää perinteiselle kaksitahtimoottorille ominaista savutusta. (Bartlett 2004, 17–18)

3.4 Sytytysjärjestelmä

Sytytysjärjestelmän tarkoitus perämoottoreissa on tuottaa sytytystulpan kärjestä purkautuva kipinä, joka sytyttää sylinterissä paineistetun polttoaineilmaseoksen ja saa männän liikkeen avulla kampiakselin pyörimään ja koneen tuottamaan tehoa. Perämoottoreissa on pääasiassa käytössä kolmea erilaista sytytysjärjestelmää: vanhimmissa perämoottoreissa sytytys on hoidettu magneeton avulla, mutta uudemmissa perämoottoreissa sytytysjärjestelminä käytetään joko CDI- tai TCI-sytytystä. (Bartlett 2004, 20–23)

3.4.1 Magneettosytytys

Vanhimpien perämoottoreiden kohdalla sytytysjärjestelmä perustuu enimmäkseen laitteeseen, jota kutsutaan magneetoksi. Magneetto taas puolestaan perustuu magnetismin ja sähkön väliseen läheiseen suhteeseen. Esimerkkinä läheisestä suhteesta on se, että jos rautaesineen ympärille kietoo sähköjohtoa ja tämän jälkeen syöttää sähkövirtaa johtoon, muuttuu rautaesine magneettiseksi. Perämoottorissa käytettävän magneeton toimintaperiaate on päinvas-tainen: jos sähköjohtoa liikuttaa läpi magneettikentän, siirtyy magneettikentästä sähköä vastaavasti johtoon. Sähkön määrä taas riippuu monista tekijöistä,

esimerkiksi magneettikentän voimakkuudesta, johtomäärästä, joka altistuu magneettikentän sähkölle, ja nopeudesta, jolla johto liikkuu magneettikentän läpi. (Bartlett 2004, 21–22)

Perämootoreissa käytettävät yksinkertaiset magneetit on kiinnitetty pultein vauhtipyörän kehän sisäpuolelle. Sylinterilohkon ja kampikammion yläpuolella sijaitsevan magneeton taustalevyyn on vastaavasti kiinnitetty ohut metallinen runkolevy, johon puolestaan on sijoitettu käämikela, jota myös kutsutaan puolaksi. (Bartlett 2004, 21–22)

Puola koostuu nimensä mukaisesti suuresta määrästä puolattua eli kelattua johtoa, mutta se sisältää käytännössä kaksi erillistä komponenttia. Ensimmäinen komponentti on paksusta johdosta harvakseltaan kelattu niin sanottu pienjännite- eli ensiökäämitys ja toinen on ohuesta johdosta tiheästi puolattu suurjännite- eli toisiokäämitys. (Bartlett 2004, 21–22)

Kun pyörivän vauhtipyörän magneetit liikkuvat paikallaan olevan runkolevyn ohi, ne luovat jatkuvasti muuttuvan magneettikentän sen ympärille ja sisälle. Tämä puolestaan luo sähkövirran, joka kulkee ensiökäämityksessä. (Bartlett 2004, 21–22)

Pienjännitepiiriin kuuluu myös mekaaninen virran kulkua kontrolloiva katkaisin, joka sisältää virtapiirin yhdistävät kaksi katkojan kärkeä. Kärjet ovat normaalisti kiinni toisissaan jousen avulla, jotta virta pääsee kulkemaan pienjännitepiirissä, mutta sillä hetkellä, kun sytytystulppa vaatii kipinän sytyttääkseen polttoaine-ilmaseoksen sylinterissä, katkojan kärjet avautuvat kampiakselissa olevan ulokkeen pakottamana. Kun katkojan kärjet erkanevat toisistaan aiheuttaen virtapiirin katkeamisen ja magneettikentän romahtamisen pienjännitekäämityksessä, toisiokäämitykseen eli suurjännitepiiriin aiheutuu sähköaalto, joka on virransuuruudelta pieni, mutta jännitteeltään useita tuhansia voltteja. Tämä suurjännite johdetaan korkeajännitepiiristä lyhyinä pulsseina hyvin eristettyä johtoa pitkin sytytystulppaan, josta se purkautuu kipinän muodossa sytyttäen sylinterissä polttoaine-ilmaseoksen. (Bartlett 2004, 21–22)

Magneettosytytysjärjestelmässä tarvitaan myös kondensaattoria, jonka tarkoitus on toimia elektronisena iskunvaimentajana ja estää ensiökäämityksestä tu-

levaa kipinäointiä purkautumasta katkojan kärkien välillä kun ne avautuvat. Kondensaattori pakottaa jännitteen purkautumaan korkeajännitekäämin ja edelleen sytytystulpan kautta. (Bartlett 2004, 21–22)

3.4.2 CDI

Kuten magneettosytytykskin, myös CDI-sytytys käyttää samaa sähkömagneettisen induktion (sähkökentän syntyminen muuttuvan magneettikentän vaikutuksesta) periaatetta, mutta toteuttaa sen erilailla. Vauhtipyörän magneettien liikkeen synnyttämä sähkö varastoidaan erillisen ensiö- eli latauspuolan avulla suurikokoiseen sähkövaraajaan, josta se purkautuu sähköpiiriin. (Bartlett 2004, 22)

Varsinaisena erona perinteiseen magneettosytytykseen, jossa sytytykseen tarvittava korkeajännitepulssi luodaan erottamalla katkojan kärjet toisistaan, on se, että CDI-sytytyksessä sytytys tapahtuu silloin kun katkojan kärjet ovat kiinni toisissaan. Tällöin kaikki varaajaan varastoitunut sähkö virtaa ensiö- eli sytytyspuolan pienjännitekäämitykseen synnyttäen magneettikentän, joka aiheuttaa vastaavasti perinteistä suuremman korkeajänniteaallon sytytyspuolan toisiokäämitykselle ja edelleen sytytystulpalle. (Bartlett 2004, 22)

3.4.3 TCI

Vaikka perinteinen magneettosytytys ja siitä paranneltu CDI-sytytys ovat yksinkertaisia ja tehokkaita sytytysjärjestelmiä, niiden heikkous tulee esille katkojan kärkien melko säännöllisen huollon ja mahdollisen säätämisen tarpeessa. Jos kärjet ovat kuluneet tai niiden välinen etäisyys on pielessä, muuttuu perämoottorin käynti epätasaiseksi ja toiminta epätaloudelliseksi.

Katkojan kärkien korvaamiseksi perämoottoreihin on otettu käyttöön puolijohdekontrolloitu kärjetön sytytys eli TCI. Myös TCI perustuu sähkövaraajan varaamiseen kuten CDI-sytytykskin, mutta, sillä erolla, että latauspuolalta tulevaa, vaihtelevaa sähkövirtaa lievitetään elektronisen tasasuuntaajan avulla, jolloin varaajan latautuminen on tehokkaampaa. (Bartlett 2004, 22–23)

Suurin ero TCI-sytytyksessä aikaisemmin esiteltyihin ja mainittuihin sytytysjärjestelmiin on katkojan kärkien korvaaminen transistorilla eli kolmiliitoksisella puolijohdeella. Transistori on eräänlainen elektroninen katkaisin, joka toimii siten, että kun yhteen sen liitokseen tulee sähköä, transistori kytkeytyy päälle ja päästää sähkövirran kulkemaan myös kahden muun liitoksen välillä. Transistorin päälle kytkemiseen tarvittava sähkö tuotetaan erillisessä laukaisinpuolassa, joka on kiinnitetty magneeton takaseinään, ja se lähettää lyhyen sähköpulsin aina kun joku vauhtipyörän magneeteista ohittaa sen. (Bartlett 2004, 22–23)

Puolijohdekontrolloitu sytytys on täysin elektronisena ja kärjettömänä sytytysjärjestelmänä luotettavampi kuin perinteiset järjestelmät, ja lisäksi täydellisesti huoltovapaa, koska siinä ei ole rikkoontuvia mekaanisia osia kuten kärjellisessä sytytyksessä. Erittäin merkittävä ero on myös se, että TCI-järjestelmän sytytystulpalle tuottama korkeajännite on noin neljä kertaa suurempi kuin aiempien järjestelmien tuottama, mikä taas mahdollistaa vahvemman ja kuumemman kipinän. (Bartlett 2004, 22–23)

3.5 Jäähdytysjärjestelmä

Perämoottorin tuottaessa tehoa syntyy työn seurauksena suuria määriä lämpöä. Moottori ei pysty tuottamaan puoliksiakaan niin paljon tehoa kuin teoriassa olisi mahdollista ja suurin osa hukkaenergiasta purkautuu lämmön muodossa. Lämpöenergia pitää johtaa moottorista pois, koska muutoin se kerääntyy koneeseen nostaten lämpötilan niin korkeaksi, että koneen liikkuvat metalliset osat alkavat laajeta, jolloin vaarana on osien muotoutuminen uuteen muotoon tai hitsautuminen toisiinsa kiinni. Jotta ylikuumentuminen voidaan estää, tarvitsee perämoottori koneen jäähdyttämiseksi tapauksesta riippuen joko makeatai merivettä, jota pumpataan käyttöympäristöstä tarkoituksen mukaisen vesipumpun avulla. (Bartlett 2004, 28–32)

Jäähdytinveden on tarkoitus jäähdyttää koneen yhtä tai useampaa sylinteriä, joten sylinterilohkon ulkoseinämän ja sylinterin seinämän välissä on jäähdytiskanavat, joissa vesi kiertää imien itseensä lämpöä sylinteristä ja poistuen sylinterilohkosta kun uutta jäähdytinvettä virtaa tilalle. Männällä ja kampiakselilla ei ole samaa etua olla suorassa kosketuksessa jäähdytinveden kanssa,

mutta lämpötila niiden kohdalla saadaan pidettyä kohtuullisena lämmön johtuessa pois suhteellisen viileään moottorilohkoon. (Bartlett 2004, 28)

Veden poistuessa sylinterilohkosta se virtaa moottorin rikissä sijaitsevaan pakoputkeen auttamaan kuumen pakokaasun viilentämisessä. Osa sylinterilohkosta poisvirtaavasta vedestä ohjautuu kuitenkin pientä putkea tai letkua pitkin moottorin takaosaan ja sieltä ulos, jolloin perämoottorin käyttäjä voi varmistua jäähdytinveden kiertävän normaalisti moottorissa ja jäähdyttävän sylinteriä/sylintereitä. (Bartlett 2004, 28)

Moottori on suunniteltu siten, että kaikkien komponenttien tulee olla tietyssä lämpötilassa tavoitellun toimimisen kannalta. Ympäristöstä jäähdyttämistä varten pumpattu vesi on itsessään niin tehokas jäähdytineste, että koneen osia ei saada pysymään oikeassa lämpötilassa kierrättämällä vettä jatkuvasti läpi jäähdytysjärjestelmästä. Tästä syystä monessa perämoottorissa on termostaatti säätelemässä jäähdytinveden virtaamista. (Bartlett 2004, 29)

Useimmiten termostaatti sijaitsee kupolin muotoisen kannen alla sylinterikannen yläpuolella. Itse termostaatti on yksinkertainen osa, jossa on jousikuormitettu ohut metallilautanen tukkimassa veden virtaus pois sylinterilohkosta. Näin moottorin pumppeama vesi ei pääse koneesta pois ennen kuin vesi on lämmennyt ja vastaavasti veden lämmittämät moottorin komponentit ovat saavuttaneet toiminnan kannalta otollisen lämpötilan. (Bartlett 2004, 29)

Jäähdytinveden saavuttaessa oikean lämpötilan termostaatin jousen sisällä sijaitseva eräänlainen vahakapseli alkaa lämpötilan nousun johdosta laajeta ja laajennuttuaan tarpeeksi se syrjäyttää jousen vastuksen, jolloin jousi painaa metallilautasen auki ja jäähdytinvesi pääsee virtaamaan pois sylinterilohkosta. Kun lämpötila koneessa taas laskee alle halutun, vahakapseli vastaavasti kutistuu ja termostaatti sulkeutuu, jolloin kone alkaa lämmittää vettä ja edelleen tarvittavia komponentteja. Termostaatti aukeaa tavallisesti hieman ennen kuin vesi saavuttaa kiehumispisteensä eli noin 70–90 celsiusasteessa. (Bartlett 2004, 29)

Jotta moottori saisi tarvitsemansa jäähdytinveden kiertämään jäähdytyskanavissa, se tarvitsee mekaanisen pumpun, joka siirtää vettä käyttöympäristöstä

aina kun moottori on käynnissä. Tätä varten käytännössä jokaisessa vesijäähdytteisessä perämoottorissa on taipuisa kumista valmistettu juoksupyörä, yleisemmin mekaanisen vesipumpun siipipyörä, joka pyörii vaihteiston pysty-akselin mukana ja siirtää vettä eteenpäin. (Bartlett 2004, 30–32)

Vesipumpun siipipyörässä on monta kumista siipeä kiinnitettynä keskiönapaan tai holkkiin. Holkki on tiukasti sokan avulla kiinni pystyakselissa, jotta se pyörisi akselin mukana eikä luistaisi. Siipipyörä sijaitsee vesipumpun siipipyörän kotelossa, jossa se mahtuu tiukasta sovituksesta huolimatta pyörimään, vaikkakin kotelo ei ole sisäpuolelta täysin symmetrinen vaan sen seinämässä on pullistuma veden sisääntulo- ja poistoaukkojen välissä, jossa sovitus on entistä tiukempi. (Bartlett 2004, 30–32)

Kun siipipyörä pyörii, kunkin siiven täytyy taipua ohittaakseen pullistuman. Taipuminen pienentää tilaa kahden siiven välillä. Kun siipi ohittaa pullistuman, se suoristuu ja näin kahden siiven välille tulee taas tyhjää tilaa, jolloin vettä pääsee virtaamaan sisääntuloaukosta täyttäen tyhjän tilan. (Bartlett 2004, 30–32)

Kun siipipyörä jatkaa pyörimistä, siipien väliin jäänyt vesi kulkeutuu poistoaukolle. Tällöin etummainen siipi taipuu jälleen ohittaakseen pullistuman ja siipien välinen tila pienenee, mikä pakottaa veden poistumaan vesipumpusta poistoaukon kautta ja virtaamaan putkea pitkin moottorin jäähdytyskanaviin. (Bartlett 2004, 30–32)

3.6 Voimansiirto ja vaihteisto

Tehoa tuottavan koneen lisäksi perämoottori tarvitsee voimansiirtojärjestelmän, joka muuntaa kampiakselin kovan pyörimisnopeuden hyödylliseksi potkurin työntövoimaksi. Perämoottoreissa voimansiirtojärjestelmää kutsutaan vaihteistoksi, jonka tarkoituksena on vähentää kampiakselin pyörimisestä johtuvaa käyttävän akselin eli pystyakselin pyörimisnopeutta, lisätä käytettävän akselin eli potkuriakselin vääntömomenttia pystyakselin ja hammasrattaiden avulla sekä sallia potkuriakselin pyörimissuunnan muutos vaihteenvalitsimen ja liukukytkimen avulla.

Kaikki hammasrattaat vaihteiston sisällä ovat niin sanottuja kartiohammaspyöriä. Tämä tarkoittaa, että hammaspyörän hammastuksessa on viiste, mikä taas mahdollistaa sen, että pysty akseli on täysin pystysuorassa potkuriakseliin nähden ja potkuri akseli on vaakasuorassa pysty akseliin nähden. Näin saadaan välitettyä käyttävän akselin pyörimisliike käytettävään akseliin. (Bartlett 2004, 50–51)

Käyttävän akselin eli pysty akselin hammaspyörä on kooltaan ja hammas määrältään pienempi kuin käytettävän akselin eli potkuri akselin hammaspyörä. Tästä johtuu, että potkuri akseli pyörii hitaammin kuin pysty akseli, koska jos esimerkiksi potkuri akselin hammaspyörässä on kaksinkertainen määrä hampaita verrattuna pysty akselin hammaspyörään, niin pysty akselin tehtyä yhden täyden kierroksen potkuri akseli on tehnyt samalla hetkellä puolikkaan kierroksen, jolloin potkuri akselin nopeus on puolet hitaampi kuin pysty akselin nopeus. (Bartlett 2004, 50–51)

Esimerkin mukaisesti välityssuhteeseen kuuluu myös, että käytettävän akselin vääntömomentti on suurempi kuin käyttävän akselin. Moottori vaikuttaa pysty akselin hammaspyörään tietyllä voimalla, mistä aiheutuu hammaspyörälle myös vääntömomentti. Voima, millä pysty akselin hammaspyörän hampaat vaikuttavat potkuri akselin hampaisiin, saadaan jakamalla moottorin pysty akselin hammaspyörälle aiheuttama vääntömomentti pysty akselin hammaspyörän säteellä. Jotta saadaan selvitettyä potkuri akselin tuottama vääntömomentti, kyseinen potkuri akselin hammaspyörään vaikuttava voima kerrotaan pysty akselin hammaspyörää kaksi kertaa isomman potkuri akselin hammaspyörän säteellä, jolloin potkuri akselistä aiheutuva vääntömomentti kasvaa kaksinkertaiseksi verrattuna moottorin pysty akselin hammaspyörälle aiheuttamaan momenttiin. (Bartlett 2004, 50–51)

Potkuri akselilla on kaksi samankokoista kartiohammaspyörää, joita pysty akselin pienempikokoinen kartiohammaspyörä pyörittää. Koska potkuri akselin hammaspyörät ovat samankokoisia keskenään, ne pyörivät samalla nopeudella, mutta erona on se, että ne sijaitsevat eripuolilla pysty akselin hammaspyörää, jolloin sivusta katsottuna toinen pyörii pysty akselin hammaspyörän etu-

reunan välityksellä ja toinen pystyakselin hammaspyörän takareunan välityksellä, eli ne pyörivät vastakkaisiin suuntiin. (Bartlett 2004, 50–51)

Näiden potkuriakselin hammaspyörien välissä on niin sanottu liukukytkin, joka on muodoltaan sylinterimäinen ja jossa on kummassakin päässä potkuriakselin hammaspyöriin sopivat pykälät. Kytkimen sisäpuolella on urat, kutakuinkin potkuriakselin uria vastaavat, jotka mahdollistavat kytkimen liikkumisen hammaspyörien välillä. Kun vaihteen valitsimesta valitaan haluttu pyörimissuunta, kytkin liukuu valitusta suunnasta riippuen jompaankumpaan potkuriakselin kartiopyörään lukiten pykälien avulla kartiopyörän akseliin ja pakottaen akselin pyörimään haluttuun suuntaan. Jos vaihteen valitsimesta asetetaan vapaa eli neutraali pyörimissuunta, kytkin ei lukitu kumpaankaan potkuriakselin kartiopyörään, jolloin pystyakselin hammaspyörä pyörittää ainoastaan potkuriakselin hammaspyöriä ja potkuriakseli itse pysyy paikallaan. (Bartlett 2004, 50–51)

3.7 Potkuri

Kun perämoottori käy, se tuottaa tehoa ja nopean pyörimisliikkeen kampiakselin välityksellä pystyakseliin ja nopea pyörimisliike puolestaan muutetaan vaihteistossa suuremmaksi vääntömomentiksi potkuriakselille, jotta saadaan perämoottorille sen toiminnan kannalta oikea voiman ja nopeuden suhde. Kuitenkin liikkuaakseen konkreettisesti joko eteen- tai taaksepäin vene sekä perämoottori tarvitsevat potkuria, jonka tehtävä on muuttaa moottorin tuottama teho vaihteiston välityksellä venettä liikuttavaksi työntövoimaksi. Siksi voidaan sanoa, että moottorin tärkein tehtävä tehon tuottamisen lisäksi on antaa vaihteiston avulla potkurille pyörivä liike, joka ilmenee vastaavasti veneen liikkumisena. Potkurin ominaisuuksiin kuuluu työntövoiman tarjoamisen lisäksi vaikutus veneen kiihtyvyyteen, taloudellisuuteen eli polttoaineen kulutukseen sekä käsiteltävyyteen. (Kanerva 2014, 44–48)

Potkurin toiminta perustuu lapojen eri puolten väliseen paine-eroon, mikä tarkoittaa, että lavan takapinnalla eli veneeseen päin olevalla puolella vallitsee alipaine, ja vastaavasti etupinnalla ylipaine. Kun potkuri pyörii, lapojen eri puolten välisen paine-eron takia väliaineen eli tässä tapauksessa veden virtaus on ylipaineen johdosta etupinnalla nopeampaa, mikä aiheuttaa eteenpäin liikuttavan työntövoiman. (Kanerva 2014, 44–48)

Lapojen eri puolten välisen paine-eron suuruuteen vaikuttavat potkurin nousu ja pyörimisnopeus. Tämä tarkoittaa, että nousun sekä pyörimisnopeuden kasvaessa lapojen eri puolten välille muodostuu suurempi paine-ero ja väliaineen eli veden virtaus kiihtyy. Potkurin aiheuttamaan työntövoimaan vaikuttaa lisäksi olennaisesti myös potkurin halkaisija, koska työntövoima muodostuu lapojen eri puolten välisen paine-eron ja potkurin pyörähtäessään muodostaman pinta-alan summasta. Potkuritekniikassa nousu tarkoittaa sitä matkaa, minkä potkuri kulkisi kiinteässä aineessa yhden täyden pyörähdyksen aikana ja halkaisija taas vastaavasti tarkoittaa potkurin lapojen kärkien muodostaman ympyrän pinta-alaa, kun potkuri pyörähtää yhden täyden kierroksen. Molemmat mitat ilmoitetaan brittiläisen yksikköjärjestelmän mukaisesti tuuma-mitoissa. (Kanerva 2014, 44–48)

Pääasiallisesti perämoottoreihin asennettavat potkurit on valmistettu joko alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä. Myös komposiitti- ja muovipotkureita on markkinoilla tarjolla, mutta ne eivät ominaisuuksiltaan ole välttämättä riittäviä varsinkaan tehokkaimpiin perämoottoreihin. Alumiini on keveytensä ja edullisuutensa vuoksi eniten käytetty potkurimateriaali, mutta sen heikkous on alumiinille ominainen pehmeys, jonka takia potkurin lavat tulee valmistaa melko paksuiksi, jotteivat ne joustaisi tai antaisi myöten veden vastuksen seurauksena. Tämä taas lisää potkurin pyörimisvastusta ja huonontaa sen hyötysuhdetta, koska paksummat potkurin lavat kulkevat raskaasti vedessä kuin ohuet. Ruostumattomasta teräksestä valmistetut potkurit taas ovat lujempaa tekoa kuin alumiinista valmistetut, joten veden vastuksesta johtuvaa taipumista ei synny, jolloin lapapaksuudet voidaan pitää paljon ohuempina, mikä vastaavasti vähentää potkurin pyörimisvastusta. Teräksestä valmistettujen potkureiden heikkous on niiden selvästi korkeampi hinta alumiinisiin versioihin nähden. (Kanerva 2014, 44–48)

Potkurin lapojen muoto on yleisimmin pyöreä, koska pyöreä muoto mahdollistaa hydrostaattisesti pienen liikevastuksen vedessä. Potkurin lavassa on niin sanottu johtoreuna, joka leikkautuu potkurin pyöriessä veteen ja pyöreään muodon ansiosta kuljettaa vettä helposti ohitseensa, jonka takia pyörimisvastus on pieni. Vastaavasti lavan vastakkainen reuna eli jättöreuna on terävämpi, jotta potkurin etupintaa pitkin kulkeva vesi irtoaisi potkurista helposti ja mah-

dollistaisi veden virtaukselle tehokkaamman suuntauksen. Potkurit ovat pääasiassa niin sanottuja oikeakätisiä potkureita eli niiden pyörimissuunta on taakpäin katsottuna myötäpäivään ja vastaavasti taas potkurin pyörimisvastus pyrkii kampeamaan venettä vastakkaiseen suuntaan eli vastapäivään. Tätä liikettä ehkäistään potkurin yläpuolella olevalla ventilaatiolevyllä. (Kanerva 2014, 44–48)

Tiivistettynä potkuri muuttaa moottorin tuottaman tehon väliaineen eli veden liikkeeksi, joka taas luo veneen liikkumisen mahdollistamiseksi tarvittavan työntövoiman. Potkurin pyöriessä ei voida kuitenkaan välttyä tehohäviöltä, joten potkurin tuottama teho ei ole koskaan yhtä suuri kuin itse moottorin tuottama teho eli potkurin hyötysuhdetta ei voida koskaan saada sataprosentiksi. Lisäksi veneen liikkeessä potkurin antama työntövoima joutuu tekemään työtä vastakkaista voimaa eli kulkuvastusta vastaan, joka kasvaa veneen nopeuden noustessa kun taas vastaavasti työntövoima pienenee samanaikaisesti. Näin ollen veneen huippunopeus saavutetaan silloin kun kulkuvastus ja potkurin tuottama työntövoima ovat samansuuruiset. (Kanerva 2014, 44–48)

4 PERÄMOOTTORIN KEHITTYMINEN TEKNISENÄ TUOTTEENA

Ensimmäiset sarjavalmisteiset perämoottorit, jotka valmistettiin 1900-luvun vaihteessa, olivat silloisen aikakauden valossa niin teknisiä ja luotettavia tuotteita kuin vain materiaalivaihtoehdot ja työkalut sekä -menetelmät sen sallivat. Huolimatta siitä, että ensimmäiset ulkolaitamoottorit olivat edistyksellisiä ja mullistivat tuon ajan tekniikkaa, nykypäivän vastaaviin tuotteisiin verrattuna ne olivat tehopainosuhteeltaan ja teknisiltä ominaisuuksiltaan varsin mitättömiä ja alkeellisia. (Webb 1967, 64–66)

Kuitenkin ajan saatossa ja muun tekniikan kehittyessä myös perämoottorit alkoivat muotoutua yhä teknisemmiksi laitteiksi hyödyntäen alati kehittyvää teknologiaa esimerkiksi metalliosien valmistus- ja jalostusprosessien, elektroniikan, automaation sekä tuotantolinjojen kokoonpanon osalta. Ainoa näihin päiviin kestänyt innovaatio perämoottoreissa on ollut moottorin tuottaman tehon siirtäminen pystysuuntaisten kampiakselin ja pystyakselin sekä vaihteiston

kartiohammaspyörien välityksellä vaakasuuntaiselle potkuriakselille ja siitä edelleen potkurille. (Webb 1967, 64–66)

4.1 Yksisylinterisestä V-6-moottoriin

Ensimmäiset sarjavalmisteiset perämoottorit alkaen aina vuonna 1896 kehitystä American Motors Companyn 1–2 hevosvoiman tehoisesta, ilmajäähdyteisestä nelitahtiperämoottorista olivat kaikki yhdellä sylinterillä varustettuja. 1920-luvulla kehitettiin myös perämoottorikäyttöön kaksisylinterinen niin sanottu vastaiskumoottori, jossa sylinterit olivat vastakkaisilla puolilla kampiakselia ja kummassakin sylinterissä tapahtui sytytys sekä työtahti samanaikaisesti, jolloin edestakaisin samassa tahdissa liikkuvat männät tasapainottivat kampiakselin värinöintiä. (Webb 1967, 64–66)

1920-luvun lopulla kaksisylinteristen vastaiskumoottorilla varustettujen perämoottoreiden vaihtoehdoksi otettiin käyttöön myös kaksisylinterinen rivimoottori, jossa sylinterit sijaitsivat päällekkäin samalla puolella kampiakselia. Rivimoottori saavutti suosiota yksinkertaisuutensa ja edullisempien valmistuskustannuksiensa ansiosta ja nykyäänkin kaikki kaksisylinterisissä perämoottoreissa käytettävät moottorit ovat rivimoottoreita. Kaksisylinteristen moottoreiden lisäksi rivimoottoritekniikkaa käytettiin 1930-luvun lopulla kehitetyssä kolmisylinterisessä perämoottorissa ja edelleen 1950-luvulla kehitetyissä sekä neli- että kuusirivisissä perämoottoreissa. (Webb 1967, 64–66)

1950-luvulla perämoottoreissa alettiin käyttää myös V-moottoreita, joissa sylinterit ovat rinnakkain kahdessa rivissä muodostaen kampiakselin linjasta katsottuna V-kuvion. V-muodon käyttö sylinterien asettelussa mahdollisti niiden mahduttamisen pienempään tilaan verrattuna vastaavan sylinterilukumäärän omaaviin rivimoottoreihin. Ensimmäiset perämoottoreissa käytetyt V-moottorit olivat nelisylinterisiä, mutta nykyisin isoimpia sarjavalmisteisiä perämoottoreita saa myös V6- ja V8-moottoreilla varustettuina. (Webb 1967, 64–66)

4.2 Sytytysjärjestelmän kehitys

Ensimmäiset kehitetyt sarjavalmisteiset perämoottorit käyttivät polttoaine-ilmaseoksen sytyttämiseen erillistä paristoa tai kuiva-akkua, jotka eivät olleet

kovin pitkäikäisiä ja luotettavia ja joiden hinta oli verrattain kallis. 1900-luvun alussa kehitettiin perämoottorikäyttöön ensimmäinen magneettosytytys, joka toimi kampiakselin ja kartiohammaspyörien välityksellä. Tämä alkeellinen sytytysjärjestelmä oli myös epäluotettava toiminnaltaan johtuen puutteellisesta suojauksesta kosteita olosuhteita ja kovakouraista käsittelyä vastaan. (Webb 1967, 64–66)

Vuonna 1914 kehitettiin ensimmäinen ns. vauhtipyörämagneetto, joka muutti vauhtipyörän liikkeen magneettikentässä sähköksi. Nämä magneetit olivat ensimmäisen kehitetyn magneettosytytyksen tapaan alttiita kosteudelle ja rikkoontumiselle, mutta mahdollistivat huomattavasti paremman sytytyksen verrattuna aikaisempiin versioihin. Jatkuva kehittäminen teki lopulta magneettosytytyksen lähes yhtä tehokkaaksi kuin paristokäyttöinen sytytys. (Webb 1967, 64–66)

1960-luvulla perämoottoreihin kehiteltiin magneettosytytyksen ohelle kärjellinen sytytys, joka paransi sytytyksen voimakkuutta ja laatua sekä luotettavuutta. Samalla vuosikymmenellä myös kärjetön eli täysin elektroninen sytytysjärjestelmä saavutti perämoottoritekniikan ja se on edelleen varsinkin suuremman kokoluokan perämoottoreissa lähes ainoa käytetty järjestelmä. Elektronii-kan tulo polttomoottorikäyttöisten perämoottoreiden sytytysjärjestelmään mahdollisti tarkemman ja entistä tehokkaamman sekä luotettavamman sytytyksen, koska mekaaniset osat, kuten katkojan kärjet, pystyttiin korvaamaan elektronisilla komponenteilla kuten tasasuuntaajilla ja transistoreilla. (Webb 1967, 64–66)

4.3 Kaksitahtitekniikan vaihtuminen nelitahtitekniikkaan

Huolimatta siitä, että ensimmäiset American Motors Companyn valmistamat sarjavalmisteiset perämoottorit olivat työtavaltaan nelitahtisia, oli suosituin ja valmistetuin työtapa yksinkertaisuutensa, keveytensä ja halpuutensa ansiosta perämoottoreiden osalta kaksitahtinen. Perämoottorit olivat lähes poikkeuksetta kaksitahtisia aina 1990-luvulle asti, jolloin alati tiukentuvat päästörajoitukset ja -määräykset pakottivat perämoottoritekniikan siirtymään vähitellen ympäristöystävällisempään nelitahtityötapaan.

Nelitahtimoottoreissa sylinterissä tapahtuva palotapahtuma saadaan puhtaammaksi, jolloin palamatonta polttoainetta ei pääse poistumaan pakokanavaa pitkin ympäristöön toisin kuin perinteisissä kaksitahtiperämoottoreissa. Lisäksi käyntiääntä ja polttoaineen kulutusta saatiin pienennettyä nelitahtisiin perämoottoreihin siirtymisen myötä. Vastaavasti nelitahtitekniikka on huomattavasti monimutkaisempaa ja vaatii säännöllisempää huoltoa kuin kaksitahtitekniikalla varustettu perämoottori sekä lisäksi paino saattoi kasvaa mahdollisesti jopa useilla kymmenillä kiloilla, mikä huononsi tehopainosuhdetta ja kiihtyvyyttä nelitahtiperämoottoreissa.

4.3.1 Teho-painosuhteen muutokset perämoottoreissa

Ensimmäiset valmistetut perämoottorit olivat varsinkin painoonsa nähden tehottomia laitteita johtuen silloisella aikakaudella käytetyistä suhteellisen raskaista rakennusmateriaaleistaan sekä myös vasta kehittyvästä tekniikastaan, mikä tarkoittaa, että moottorista ei saatu kovinkaan paljon tehoa johtuen koneen pienestä pyörimisnopeudesta ja vääntömomentista. Vuosien saatossa ja tuotannon sekä teknologian kehittyessä perämoottorit saatiin enemmän tehoa tuottaviksi, koska painoa pystyttiin pudottamaan huomattavasti kevyempien materiaalien ansiosta ja suuremman pyörimisnopeuden mahdollistava tekniikka antoi enemmän tehoa perämoottorin käyttöön ja edelleen propulsiota tarvitsevan veneen liikuttamiseen.

Taulukko 1. Teho-painosuhtetaulukko. (Mikko Sainio 10/9/15)

Moottori	Teho, hv	vm.	Työtap	Paino, kg	Kierros-luku,(r/min)	kg/hv
Evinrude	1,5	1909	2-tahti	29	1000	19,3
Evinrude ELTO	2,2	1934	2-tahti	13	3500	5,9
Evinrude ELTO	31,2	1934	2-tahti	56	4000	1,8
Evinrude	2	1976	2-tahti	11	4500	5,5
Evinrude	40	1976	2-tahti	60	4500	1,5
Evinrude	2,5	1988	2-tahti	14,5	4500	5,8
Evinrude	40	1988	2-tahti	81,6	5000	2,0
Evinrude	2,3	1995	2-tahti	12,3	4700	5,3
Honda	2	1995	4-tahti	12,5	5000	6,3
Evinrude	40	1995	2-tahti	82	5000	2,1
Honda	40	1995	4-tahti	92	6000	2,3
Johnson	3,5	2004	2-tahti	14	5500	4,0
Johnson	4	2004	4-tahti	25	4500	6,3

Evinrude E-Tec	40	2004	2-tahti	107	5000	2,7
Johnson	40	2004	4-tahti	108	5500	2,7
Evinrude	3,5	2015	4-tahti	18,4	5500	5,3
Evinrude E-Tec	40	2015	2-tahti	109	5500	2,7
Suzuki	40	2015	4-tahti	102	5500	2,6
Mercury Verado	350	2015	4-tahti	303	6000	0,9

Taulukossa 1 on esitetty perämoottorin antaman tehon suhdetta painoon alkaen ensimmäisestä, Evinruden markkinoille tuomasta moottorista jatkuen 1930-luvulla markkinoille tullessiin jo käyttömateriaalien muutoksen kokeneisiin perämoottoreihin ja edelleen 1970-luvulta näihin päiviin asti kehittyneisiin moottoreihin noin vuosikymmenen välein. Lukuun ottamatta ensimmäisiä sarjavalmisteisia perämoottoreita ja alkaen materiaalien keventymisestä kaksitahtiset moottorit ovat säilyttäneet painonsa likipitään samanlaisena läpi vuosikymmenten johtuen pienistä teknisistä muutoksista, joilla ei juuri ole ollut vaikutusta painon lisääntymiseen. Ensimmäiset selvät muutokset painossa näkyivät vasta nelitahtimoottoreiden ja suorasuihkutustekniikalla varustettujen kaksitahtimoottoreiden yleistyessä 2000-luvun puolella, koska kummankin kohdalla mittavat tekniset muutokset lisäsivät painoa huomattavasti verrattuna aikaisempiin, yksinkertaisiin kaksitahtimoottoreihin ja lisäksi maksimikiertoalueet ovat osapuilleen pysyneet vuosikymmeniä samansuuruisina katso-matta kulloinkin kyseessä olleeseen tekniikkaan. (Vene 1976, 128) (Vene 1988, 256) (Vene 1995, 218) (Vene 2004, 380) (SuzukiFinland/Marine.2015) (Evinrude. 2015. Outboard Motors) (Mercury Marine.2015.)

4.4 Polttoainejärjestelmän kehitys

Ensimmäiset sarjavalmisteiset perämoottorit käyttivät sylinteriin palotapahtumaa varten tarvittavan polttoaine-ilmaseoksen säätelyyn eräänlaista sekoitusventtiiliä, jossa kaasuttimesta tuleva polttoaine ja ilma johdettiin kumpikin omaa kanavaansa pitkin venttiilille, joka taas johdatti sekoittamansa polttoaine-ilmaseoksen kampikammioon ja edelleen sylinteriin. Kyseinen tekniikka mahdollisti moottorin helpon käynnistymisen ja hyvän polttoaine-ilmaseoksen säätelyn, kun taas taloudellisuus ja moottorista saatava teho jäivät heikommaksi. (Webb 1967, 64–66)

Myöhemmin kehiteltiin kampiakselin tai vastaavasti hammasrataksen välityksellä toimiva kiertoventtiili, joka pyöriessään yhdisti itsessään olevien läpireikien avulla yhden tai useamman kanavan ja säätelä näin kampikammioon pääsevää polttoaine-ilmaseoksen virtausta. Verrattuna vanhempaan sekoitusventtiili-innovaatioon kiertoventtiilisovelluksessa koneesta saatiin hieman enemmän tehoa irti, mutta edelleen polttoaineen kulutus oli suhteellisen korkealla. (Webb 1967, 64–66)

1930-luvulla kehiteltiin imuläppäventtiili, jonka tehtävänä oli sallia polttoaine-ilmaseoksen virtaus ainoastaan kampikammioon päin. Käytännössä imuläpät toimivat siten, että polttoaine-ilmaseoksen paine aukaisi läpän ja seos pääsi virtaamaan kampikammioon ja koska läpät oli suunniteltu aukeamaan vain toiseen suuntaan, ei männän toiseen suuntaan liikkuessaan tuottama paine päässyt avaamaan läppiä ja työntämään polttoaineseosta takaisin kaasuttimeen. Myös seoksen virtausta kampikammioon rajoitettiin erillisten rajoitinläppien avulla, jotka estivät imuläppien liian aukeamisen. Imuläppien käyttö polttoaine-ilmaseoksen säätelyyn on edelleen käytetyin sovellus kaasuttimella varustetuissa perämootoreissa. (Webb 1967, 64–66)

4.4.1 Kaasutinmoottorista polttoaineen ruiskutusjärjestelmään

Ensimmäisen sarjavalmistetisen perämoottorin valmistumisesta aina 1990-luvulle asti perämootoreiden polttoaineen ja ilman seoksen säätelyyn käytettiin kaasutinta, josta valmis seos johdettiin kampikammioon ja edelleen sylinteriin. Kaasutin oli suhteellisen edullinen vaihtoehto perämoottoriin ja toimintavarma sekä huoltovapaa johtuen siitä, että kaasutin on täysin mekaaninen laite eikä tarvitse elektroniikkaa toimiakseen. Kaasutin on edelleen käytössä lähes kaikissa nelitahtisissa, alle kahdenkymmenen hevosvoiman tehoisissa perämootoreissa.

Isompikokoisten perämootoreiden kohdalla kaasuttimet alkoivat osoittautua riittämättömiksi säätlemään polttoaineen ja ilman seoksen määrää, koska jos jokaiselle sylinterille ei ollut omaa kaasutinta, joka ikiselle kierrosalueelle soveltuvan seossuhteen aikaansaaminen oli lähes mahdotonta ja tästä johtuen isommissa kaasutinmoottoreissa tehohäviöitä pääsi syntymään. 2000-luvun vaihteesta lähtien isompikokoisissa perämootoreissa alettiin käyttää varsinkin

autoteollisuudesta entuudestaan tuttua polttoaineen ruiskutusjärjestelmää, jossa polttoaine ruiskutettiin elektronisesti ohjattujen erillisten ruiskusuuttimien avulla imuilman joukkoon ja valmis seos johdettiin suoraan sylinteriin hienona polttoainesumuna, jolloin palotapahtuma saatiin puhtaammaksi sekä tarkemmaksi ja näin ollen perämootoreiden hyötysuhdetta pystyttiin parantamaan huomattavasti verrattuna kaasutinmootoreihin. Ruiskutusjärjestelmästä johtuvan tarkemman palotapahtuman johdosta polttoainetta ei tarvittu niin paljon tehokasta palamista varten kuin kaasutinmootoreissa, joten taloudellisuutta pystyttiin parantamaan ja päästöjä pienentämään.

Poiketen muista perämootorivalmistajista Suzuki kehitteli ensimmäisenä valmistajana maailmassa perinteisesti kaasuttimella varustettujen 15- sekä 20-hevosvoimaisten perämootoreiden kategoriaan polttoaineen ruiskutukseen perustuvat Lean Burn-hallintajärjestelmällä toimivat moottorinsa, jolloin polttoainetaloudellisuutta pystyttiin parantamaan myös tämän koko- ja teholuokan perämootoreissa. Lean Burn-tekniikalla varustetuissa polttomootoreissa käytetään nimensä mukaisesti laihempaa polttoaine-ilmaseosta, koska johtuen imuilman ylimäärästä polttoainetta tarvitaan vähemmän palotapahtumaan ja näin saadaan laskettua polttoaineen kulutusta. Kyseisessä pienempien perämootoreiden Lean Burn-tekniikassa on myös edistyksellistä se, että se on täysin akkuvapaa polttoaineen ruiskutusjärjestelmä, mikä tarkoittaa, että käynnistys onnistuu myös perinteiseen tapaan manuaalisella käsikäynnistyksellä. (SuzukiFinland/Marine.2015)

4.4.2 Suorasuihkutustekniikan tulo perämootoreihin

Muutamit perämootorivalmistajat ovat kehittäneet alati tiukentuvien päästörajoi-
tuksien seurauksena ja rajoituksia noudattaen kaksitahtitekniikkaan pohjautuvan, perämootorikäyttöön soveltuvan suorasuihkutusmoottorin, jossa polttoaine-ilmaseos suihkutetaan suoraan sylinteriin ja päästetään pakokanavaa pitkin pois vasta kun yhtään palamatonta polttoainetta ei pääse palokaasujen mukana ympäristöön. Uudella suorasuihkutustekniikalla saatiin pudotettua painoa ja yksinkertaistettua rakennetta verrattuna nelitahtiseen moottoriin, koska esimerkiksi nelitahtisessa moottorissa toiminnan kannalta pakolliset nokka-akselit ja venttiilikoneistot pystyttiin jättämään pois, ja lisäksi saatiin tuo-

tua perinteisestä kaksitahtimoottorista tuttuja hyviä ominaisuuksia, kuten kiihtyvyys ja hyvä tehopainosuhde, osaksi päästöjen, taloudellisuuden ja äänitason osalta nelitahtimoottorin veroista suorasuihkutusmoottoria. Ensimmäinen sovellutus suorasuihkutustekniikasta perämoottoreissa julkaistiin vuonna 1995, kun Mercury toi markkinoille oman kaksitahtisen, 200-hevosvoimaisen suorasuihkutusmoottorinsa. (Bartlett 2004, 17–18) (Rodengen 1998, 99)

Nykyään ainoat suorasuihkutusmoottoreita valmistavat perämoottorimerkit ovat Mercury ja Evinrude, joiden suorasuihkutustekniikoissa on hieman eroja. Mercuryn Optimax DFI-suorasuihkutusmoottori käyttää Orbital-nimisen yrityksen kehittämää paineistetun polttoaineen syötön tekniikkaa, jossa kammion paineella toimiva polttoaineen annostelupumppu toimittaa noin kuuden baarin paineella polttoainetta sylinterikannessa sijaitsevalle suuttimelle. Samanaikaisesti mekaaninen kampiakselin liikkeellä toimiva pumppu syöttää hieman pienemmällä paineella ilmaa samaan suuttimeen jossa polttoaine ja ilma sekoittuvat. Näin ollen työkierron oikeassa vaiheessa moottorin elektroninen ohjainyksikkö laukaisee suuttimen, jolloin paineistettu polttoaine-ilmaseos sumutetaan suoraan sylinteriin. (Bartlett 2004, 17–18)

Evinruden E-Tec-suorasuihkutusmoottori käyttää puolestaan Ficht-nimisen yrityksen kehittämää korkeapainejärjestelmää, jossa sylinterikannessa sijaitseva suihkutussuutin itsessään toimii moottorin ohjainyksikön kontrolloimana pumppuna. Elektronisesti ohjattu kompressori liikuttaa suihkutussuuttimessa olevaa mäntää, joka puolestaan työntää enintään 17 baarin paineella polttoainetta palotilaan eli sylinteriin. (Bartlett 2004, 17–18)

4.4.3 Ahtimen käyttö perämoottoreissa

Mercury Marine on toistaiseksi ainoana perämoottorivalmistajana maailmassa tuonut markkinoille mekaanisella ahtimella varustetun Verado- nimisen nelitahtimoottorimallistonsa. Ahtimen tarkoituksena on parantaa moottorin kiihtyvyyttä, lisätä koneesta saatavaa tehoa ja kasvattaa huippunopeutta noudattaen kuitenkin nelitahtimoottorille ominaista taloudellisuutta, vähäpäästöisyyttä ja hyvää hyötysuhdetta.

Mercury Marinen Verado-nelitahtimoottorin käyttämä ahdin perustuu niin sanottuun Lysholmin ruuviahtimeen, jossa polttoaineen sekaan tarvittava ilma paineistetaan ennen imusarjaa ahtamalla se kahden hienomekaanisen ruuvin välistä. Ruuviahdin ottaa käyttövoimansa moottorin kampiakselilta hihnan välityksellä, jolloin ahdin reagoi tarkasti kierrosten määrään ja toimii välittömästi jokaisella kierrosalueella heti moottorin tyhjäkäynnistä alkaen. Koska mekaaninen ahdin toimii kampiakselin välityksellä, se syö hieman tehoa moottorilta joten ahdinta varten tarvitaan valmiiksi enemmän tehoa tuottava moottori. Näin ollen ahdin on suunniteltu toimimaan ainoastaan yli 150-hevosvoiman tehon omaavissa Mercury Verado- nelitahtimoottoreissa.

4.5 Ilmajäähdytteisestä vesijäähdytteiseen

Ensimmäisiä sarjavalmistettuja moottoreita, joissa kone oli varioitu moottori-pyörän koneesta, lukuun ottamatta lähes kaikki perämoottorit on suunniteltu ja rakennettu käyttämään sylinteriensä jäähdyttämiseen käyttöympäristöstä pumppaamaansa vettä. Vesijäähdytteinen perämoottori pystyy toimimaan kovemmilla kierroksilla pitkäkestoisesti ja tuottamaan enemmän tehoa verrattuna ilmajäähdytteiseen perämoottoriin. Lisäksi jäähdytinvesi viilentää sylinteristä poistuvia palokaasuja ja hiljentää niiden poistumisesta aiheutuvaa ääntä, mikä taas ei ilmajäähdytteisessä perämoottorissa olisi mahdollista, koska siinä sylinterin seinämien tulisi olla huomattavasti ohuemmat, jotta jäähdytys toimisi toivotulla tavalla. Näin ollen vesijäähdytteisessä moottorissa sylintereiden sekä pako- ja jäähdytyskanavien ympärille voidaan rakentaa paksumpi suojaava kerros. Nykyäänkin muutama erittäin harva valmistaja, kuten esimerkiksi Honda 2,3-hevosvoimaisessa nelitahtimoottorissaan, käyttää kustannussyistä pienimpien moottoreidensa jäähdyttämiseen ilmaa, mutta se ei pysty tekniikkana korvaamaan äänentasonsa ja vähäisen tehonsa takia vesijäähdytteistä perämoottoria. (Webb 1967, 64–66)

4.6 Jäähdytysjärjestelmän kehitys

Ensimmäiset versiot jäähdytysveden siirtämisestä käyttöympäristöstä ylikuumenemiselle alttiille moottorin osille olivat eräänlaisia mäntäpumppuja, jotka saivat käyttövoimansa joko potkuri- tai pystyakselilta ja mäntäpumppu aktivoitiin liikkumaan edestakaisin ja pumppaamaan jäähdytysvettä jousitoimisesti tai

tarkoituksenmukaisen yhdystangon välityksellä. Mäntätoimiset pumput olivat toimivia ratkaisuja käyttöympäristössä, jossa oli makeaa vettä, mutta suolaisessa vedessä ne ruostuivat toimintakelvottomiksi. (Webb 1967, 64–66)

Suuri parannus jäähdytysveden siirtämiseksi moottoriin tapahtui vuonna 1924, kun keksittiin siirtää potkurin pyörimisestä aiheutuvan virtauksen tuottama vedenpaine jäähdytysvesikanavistoon eräänlaisen kauhan avulla. Keksintö oli toimintavarma kovilla kierroksilla, mutta pienillä kierroksilla, jolloin potkurin pyörimisestä aiheutuva virtaus ei ollut niin suuri, se ei riittänyt nostamaan vettä moottorille asti. Ideaa kehiteltiin pidemmälle ja keksittiin keskipakoisvoimaa hyödyntävä alumiinilapainen siipipyöräpumppu, joka oli asetettu pystyakselin ympärille ja se pyöri akselin mukana pumpaten vettä käyttöympäristöstä moottorille. Vaikka keksintö oli merkittävä ja edistyksellinen, se ei pystynyt siltikään tuottamaan jäähdytysveden nostamiseksi moottorille tarpeeksi suurta vedenpainetta matalilla kierroksilla kuten aikaisemmin kehitelty mäntäpumppu. (Webb 1967, 64–66)

Vuonna 1938 kehiteltiin aikaisempaa siipipyöräpumppua mukaillen roottori, jossa alumiiniset lavat korvattiin kumisilla siivillä. Myös uusi kuminen siipipyörä hyödynsi keskipakoisvoimaa ja sai pyörivän liikkeen pystyakselistasta, mutta uusi materiaali ja sen mahdollistama tiukempi sovitus vesipumpun kotelossa sai aikaan sen, että myös pienemmillä kierroksilla kyseinen vesipumppu kykeni tuottamaan riittävän paineen jäähdytysveden pumppaamiseksi jäähdytysvesikanavistoon. Kyseinen keksintö on edelleen ainoa käytetty jäähdytysveden kierrättämiseen tarkoitettu vesipumppu perämoottoreissa yksinkertaisuutensa ja toimintavarmuutensa ansiosta. (Webb 1967, 64–66)

4.7 Materiaalien käyttö ja muutokset perämoottorituotannossa

Ensimmäisissä sarjavalmisteisissa perämoottoreissa käytetyt osat oli valmistettu pääosin pronssista, raudasta sekä teräksestä, jotka olivat tuohon aikaan yleisimmät raaka-aineet, joita saattoi ajatella perämoottoreiden kokoonpanoon soveltuviksi ja työstettäviksi. Haittapuolina kyseisillä materiaaleilla oli niiden paino, joka huononsi perämoottoreiden tehopainosuhdetta koneista saatavan tehon ollessa tuolloin melko mitätön verrattuna nykyisiin perämoottoreihin. 1920-luvulla perämoottoreiden tuotannossa alettiin hyödyntää alumiinia sen

aikaisempiin materiaaleihin verrattuna huomattavasti suuremman keveyden ansiosta. Lisäksi alumiini oli perämoottorimateriaalina vähemmän herkkä korroosiolle kuin esimerkiksi teräs ja rauta. Myös pehmeytensä vuoksi alumiini oli helpommin työstettävää metallia ja siitä saatiin mittatarkempia komponentteja tuotantoa varten (Webb 1967, 64–66)

Ensimmäisten sarjavalmistestien perämoottoreiden sylinterilohkot oli valettu valuraudasta, jotka jäivät puutteellisten viimeistelymenetelmien takia karkeiksi ja melko epätasaisiksi. Ajan myötä menetelmät paranivat ja lohkot käsiteltiin hionta-aineella, jonka ansiosta pinnat saatiin entistä sileämmiksi. Hionnan jälkeen lohkot asennettiin paikalleen perämoottoreihin ja antamalla koneiden käydä kasattuina lohkon sisäpinnat muotoutuivat lopulliseen muotoonsa. Nykyään perämoottoreiden sylinterilohkot ovat painevalettua alumiinia, joka on huomattavasti kevyempää verrattuna valurautaan ja helpommin työstettävää. Lisäksi työstömenetelmänä aikaisemmat tavat on korvannut timanttiporaus ja hionta, joiden ansiosta pinnat ja muodot saadaan tehtyä erittäin tarkasti mittojen mukaan. (Webb 1967, 64–66)

Ensimmäisissä perämoottoreissa potkurit valmistettiin tavallisimmin pronssista, mutta alumiinin käytön yleistyminen muutti potkureissa käytettävän materiaalin kevyemmäksi alumiiniksi. Alumiinista valmistetut potkurit ovat edelleen helpon valmistettavuutensa ja edullisuutensa vuoksi käytetyimpiä, mutta joutuessaan alumiinin pehmeystä, taipuisuudesta ja vaurioherkkyydestä on perämoottoreihin saatavilla myös nykyään ruostumattomasta teräksestä valettuja potkureita. Muovien ja komposiittimateriaalien yleistymisen myötä joihinkin pieniin perämoottoreihin on saatavilla muovista tai komposiitista valamalla valmistettuja potkureita, mutta niiden ominaisuudet eivät riitä varsinkaan isompien moottoreiden eteenpäin työntämiseen, koska niiden ainevahvuus on vielä alumiinia heikompi. (Kanerva 2014, 48)

Ensimmäiset sarjavalmistetut perämoottorit olivat varsin pelkistettyjä ilman minkäänlaisia suojuuksia tai kuoria. Niinpä ne kärsivät monesti sääolosuhteista ja kovakouraisesta käsittelystä ja niiden ulkonäkö oli nykypäivän perämoottoreihin verrattuna erittäin koruton. 1930-luvulla perämoottoreihin kehiteltiin ensimmäinen sylinterilohkoa, kaasutinta ja muita koneen osia suojaava, alu-

miinista valmistettu koppa, joka piti moottoria vaurioittavat tekijät loitolla ja lisäksi vaimensi koneesta syntyviä ääniä. 1950-luvulla alumiinista valmistettu koppa korvattiin kevyemmällä lasikuidusta laminoidulla suojuksella, joka on pysynyt käytetyimpänä materiaalina näihin päiviin asti, mutta edelleen lasikuitua kevyempi ja edullisempi kestopuovi on alkanut tulla käytetyimmäksi suojamateriaaliksi perämoottoreissa niin suojakopissa kuin myös öljypohjaa ja pakoputkistoa suojaavissa muovikatteissakin. (Webb 1967, 64–66)

5 POHDINTA JA PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön tutkimuskohteesta eli sarjavalmistesteiden perämoottoreiden kehittämisestä teknisenä tuotteena selviää, että perämoottorit ovat yli satavuotisen historiansa aikana kehittyneet valtavasti niin ulkomuotoa kuin teknistä puoltakin tarkasteltaessa. Opinnäytetyö perustui olemassa olevan perämoottorikirjallisuuden tutkimiseen ja sen pohjalta tein asiaa selventävän tutkimuksen. Työn tulokset vastasivat hyvin työn tekemiselle asetettuja vaatimuksia ja lopputulos kertoo sarjavalmisteen perämoottorin kehittämisestä nykyiseen muotoonsa.

Työstä käy muun muassa ilmi, että erilaiset asetetut rajoitukset ja käytössä huomattavat puutteet ovat vaikuttaneet tuotannossa ja tekniikassa tapahtuneisiin muutoksiin, esimerkiksi päästörajoitusten ansiosta on siirrytty kaksitahtityötavasta nelitahtiseen työtapaan ja kaasuttimesta ruiskutus- sekä suihkutusjärjestelmiin kun taas esimerkiksi ulkomuotoa ja koneen suojuksia on paranneltu käyttäjäystävällisempään ja helpompaan muotoon, jolloin myös moottoreille on saatu lisää kulutuksen kestoa. Myös materiaalien käytössä on siirrytty kevyempiin ja helpommin työstettäviin vaihtoehtoihin, joka on omalta osaltaan vaikuttanut moottorin ominaisuuksiin, esim. tehopainosuhteeseen.

Huomionarvoisia seikkoja tekniikan kehityksessä on esimerkiksi myös se, että melkein heti sarjavalmisteen perämoottorin markkinoille tulon alkutaipaleilla keksittiin käyttöympäristöstä hankittavan veden mahdollisuudet moottorin jäähdytysmuotona alkuperäisen ilmajäähdytyksen sijaan. Näin ollen myös jäähdytysjärjestelmä kokonaisuudessaan alkoi edistyksellisesti kehittyä ensimmäisestä jäähdytinveden kierrättämiseen tarkoitetusta mäntäpumpusta aina nykyaikaiseen kumisiipiseen siipipyörään asti.

Työssä on myös havainnollistettu erikseen tehdyn taulukon avulla perämootto-
reiden painojen muutoksia ja verrattu niitä moottorista saatavaan tehoon. Tau-
lukosta huomataan, että ensimmäisten sarjavalmistesteisten moottoreiden teho-
painosuhte oli huono, koska valmistusmateriaaleina oli tuolloin mm. rauta ja
teräs, jotka olivat painavia verrattuna nykyisin käytettyyn alumiiniin ja koska
silloisella teknisellä osaamisella ja tiedolla ei saatu konetta tuottamaan tar-
peeksi kierroksia ja sitä kautta vääntöä koneen tehon lisäämiseksi. Kun alu-
miini otettiin käyttöön rakennusmateriaalina ja tehontuotto parani nykyiselle
tasolle, saatiin kaksitahtisille perämoottoreille toistaiseksi paras tehopai-
nosuhde painon ollessa suhteellisen pieni ja tekniikan ollessa yksinkertaista.

Kun teknologiassa siirryttiin käyttämään taloudellisempia ja ympäristöystäväl-
lisempiä vaihtoehtoja, kuten nelitahtityötappaa, tekniikan monimutkaistumisen
myötä myös painot nousivat, jolloin teho-painosuhte laski verrattuna aikai-
sempaan. Nelitahtimoottoreissa välttämättömät venttiilikoneistot ja öljysump-
pua käyttävä voitelujärjestelmä lisäsivät painoa useilla, jopa kymmenillä kiloilla
minkä tekivät myös polttoainejärjestelmäuudistukset kuten elektroninen ruis-
kusjärjestelmä ja suorasuihkutusjärjestelmä.

Opinnäytetyössä käydään myös läpi perämoottorin sytytysjärjestelmän kehi-
tystä, joka sai alkunsa paristo- tai akkukäyttöisestä sytytyksestä, joka vuosien
saatossa vaihtui vauhtipyörämagneeton ja varauksen purkavan sytytyksen
kautta entistä tehokkaammaksi, kestävämmäksi ja huoltovapaaksi kärjettö-
mäksi sytytykseksi, joka taas vastasi puolestaan entistä tehokkaampien pe-
rämootto-
reiden vaatimuksiin. Erittäin edistyksellistä tekniikkaa perämootto-
reihin on tarjonnut Mercury-perämootto-
reiden valmistaja, joka Verado-
moottorissaan esitteli mekaanisen ahtimen tarjoten käyttäjille ennennäkemä-
töntä tehoa ja kiihtyvyyttä säilyttäen kuitenkin ympäristölle tärkeät arvot.

Opinnäytetyön lähdemateriaali oli lähes yksinomaan englanninkielistä, joten
työtä tehdessäni jouduin turvautumaan laajamittaiseen käännöstyöhön pelkäs-
tään jo melko haastavan englannin teknisen ja moottoreita käsittelevän sanas-
tonkin johdosta. Jouduin myös täydentämään kirjoittamaani tekstiä oman ko-
kemuksen pohjalta oppimillani tiedoilla sekä myös hyödyntämään yleisiä tek-

niikan ja fysiikan tietoja, koska kaikki perämootoreissa esiintyvät, toiminnan kannalta välttämättömät ilmiöt noudattavat perinteisiä fysiikan lakeja.

Opin työtä tehdessäni määrittelemättömän paljon enemmän perämootoreista verrattuna aikaisemmin oppimiini tietoihin. Sen lisäksi, että sain uutta tietoa perämootoreiden kehitymisestä vuosien saatossa nykypäiviin asti, sain myös paljon uutta tietoa perämootoreiden toiminnasta ja tekniikasta, koska opin-
näytetyön aiheeseen perehtyminen vaati käsitystä siitä, miten kyseiset laitteet toimivat.

LÄHTEET

Bartlett, T. 2004. The RYA Book of Outboard Motors. London. Adlard Coles Nautical an imprint of A & C Black Ltd.

Evinrude. 2015. Outboard Motors. Saatavissa:
<http://www.evinrude.com/en-us> [viitattu 8.9.2015]

Kanerva, T. 2014. Potkuri vie venettä. Venelehti 10/2014.

Mercury Marine. 2015. Moottorit. Saatavissa:
<https://www.mercurymarine.com/fi/fi/engines/outboard/verado/six-cylinder-225-350-hp/> [viitattu 14.9.2015]

Rodengen, Jeffrey L. 1998. The Legend of Mercury Marine. Fort Lauderdale Florida. Write Stuff Enterprises, Inc.

SuzukiFinland/Marine. 2015. Moottorit. Saatavissa:
<http://www.suzukifinland.fi/marine> [viitattu 8.9.2015]

The Yachtsmen's Magazine. 1934. Motor Boating. 2/1934

Vene. 1976. Perämoottorit -76. 5/1976

Vene. 1988. Moottorikatsaus -88. 2/1988

Vene. 1995. Moottorikatsaus -95. 2/1995

Vene. 2004. Moottorikatsaus -04. 2/2004

Webb, W.J. 1967. The Pictorial History of Outboard Motors. New York. Renaissance Editions.

Whittier, Bob. 1957. The History of Outboards- The Idea of Portable Power Plant is As Old As the Gasoline Engine Itself. Issue of Yachting Magazine. 1/1957

Kuva 3. Two-stroke Abstract Engine. Tucvif. 2014. Saatavissa: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Two_stroke_abstract_engine.svg. [viitattu 10.9.2015]

Kuva 4. Ciclo de cuatro tiempos. Dodo. 2006. Saatavissa: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ciclo_de_cuatro_tiempos.png?uselang=fi#filehistory. [viitattu 10.9.2015]

