



**TURUN
YLIOPISTO**

Veneen ekologiset moottorivaihtoehdot

Liukuvat veneet

Materiaalitekniikka
Kandidaatin -tutkielma

Laatija:
Olli Suominen

21.10.2024
Turku

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidatutkielma

Oppiaine: Materiaalitekniikka

Tekijä(t): Olli Suominen

Otsikko: Veneen ekologiset moottorivaihtoehdot

Ohjaaja(t): Apulaisprofessori Pekka Peljo

Sivumäärä: 29 sivua

Päivämäärä: 02.10.2024

Tässä tutkielmassa tarkastellaan nykyaikaisten veneiden ekologisia moottorivaihtoehtoja. Erityisesti keskitytään tarkastelemaan liukuvien veneiden polttomoottorin vaihtamista ekologisempaan moottoriversioon. Tutkielma esittelee pääasiallisia runkomalleja, moottori vaihtoehtoja ja rakennusmateriaaleja. Erityisesti keskitytään veneiden sähköistämiseen osana pyrkimystä vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja hiilidioksidipäästöjä veneilyssä. Veneen sähköistämistä vertaillaan autojen sähköistymiseen sekä autojen yleistyvän täyssähköisyyden mukana tullessiin mahdollisuuksiin veneiden osalta. Tutkielmassa tutustutaan litium-ioni akkujen erilaisiin akku kemioihin ja niiden ominaisuuksiin. Täyssähköisyyden lisäksi tutkielmassa esitellään hybridimoottori vaihtoehto. Tutkielman tavoitteena on tarjota kattava yleiskatsaus nykytilaan ja tulevaisuuden suuntiin veneilyn kestävyiden ja tehokkuuden näkökulmasta.

Avainsanat: vene, rakennus, runko, moottori, materiaali, sähköistys, liukuva runko, V-pohja, katamaraani, kantosiipi, sisäperämoottori, ulkoperämoottori, lasikuitu, lujitemuovi, alumiini, hiilikuitu, litiumioniakku, hybridivoimalinja.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Yleisimmät venemalli-, moottori- ja materiaalivaihtoehdot	6
2.1	Runkomallit	6
2.1.1	V-pohja	6
2.1.2	Katamaraani	7
2.1.3	Kantosiipi	8
2.1.4	Runkomallit sähköisessä veneessä	9
2.2	Moottorimallit	9
2.2.1	Sisämoottori	9
2.2.2	Ulkoperämoottori	10
2.2.3	Moottorimallit veneessä	11
2.3	Venemateriaalit	11
2.3.1	Lasikuitu	11
2.3.2	Lujitemuovi	12
2.3.3	Alumiini	12
2.3.4	Hiilikuitu	12
2.3.5	Veneen materiaalivalinta	12
3	Veneen sähköistys	13
3.1.1	Täyssähkö kulkuneuvot Suomessa	13
3.1.2	Täyssähkökulkuneuvon akku	13
3.1.3	Kulkuneuvoon tarkoitettujen akkujen rajaavia tekijöitä	14
3.1.4	Akkujen jäähdytys veneessä	14
3.2	Litium-ioni akkujen kemialliset ominaisuudet	15
3.2.1	Nikkelikoboltti-alumiinioksidi	15
3.2.2	Nikkeli-mangaani-koboltti	15
3.2.3	Litium-mangaanioksidi	16
3.2.4	Litium-titaanioksidi	17
3.2.5	Litium-rautafosfaatti	18
3.2.6	Akkumateriaalit veneily käytössä	19
3.3	Nykyiset mahdollisuudet	20
3.3.1	Moottorit	20
3.3.2	Täyssähköinen v-runko	20
3.3.3	Täyssähköinen kantosiipivene	21
3.3.4	Täyssähköisyys kuluttajalle	22
4	Hybridi	23

4.1	Hybridimoottori ajoneuvoissa	23
4.2	Hybridi veneissä	23
4.3	Hybriditeknologian haasteet ja hyödyt	23
5	Ekologinen propulsio	24
5.1	Kulutus	24
5.2	Paino	24
5.3	Kuluttaja	24
5.3.1	Hinta	24
5.3.2	Latausmahdollisuus	25
5.4	Mahdollisuudet ja markkinanäkymät	25
6	Johtopäätökset	26
6.1	Runkomallit ja materiaalit	26
6.2	Akut ja vene	26
6.3	Propulsio	26
7	Lähteet ja viitteet	28

1 Johdanto

Tässä tutkielmassa käsitellään nykyaikaisten veneiden rakennetta ja eri runko-, moottori- ja materiaalivaihtoehtoja sekä näiden vaikutusta veneiden käytettävyyteen, suorituskykyyn ja ekologisuuteen. Veneily on monipuolinen harrastus ja teollisuudenala, jossa käyttäjän tarpeet ja ympäristövaikutukset ohjaavat aluksen suunnittelua ja materiaalivalintoja. Tutkielmassa tutustutaan kolmeen pääasialliseen runkomalliin: uppoumarunko, puoliliukuva ja liukuva runko. Näiden mallien fyysiset ominaisuudet ja niiden soveltuvuus erilaisiin käyttöolosuhteisiin analysoidaan perusteellisesti.

Moottoritekniologioiden osalta tutkielma tarkastelee sisä- ja ulkoperämoottoreita sekä niiden soveltuvuutta nykyaikaisiin veneisiin. Lisäksi veneiden materiaalivaihtoehdot, kuten lasikuitu, lujitemuovi, alumiini ja hiilikuitu, esitellään niiden käyttöominaisuuksien ja ympäristövaikutusten näkökulmasta.

Erikoisfokuksena tutkielmassa on veneiden sähköistäminen, joka on ajankohtainen aihe globaalissa pyrkimyksessä vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja hiilidioksidipäästöjä. Tutkielmassa käsitellään sähkömoottoreiden ja hybriditekniologioiden soveltuvuutta veneilyyn, niiden teknisiä haasteita ja mahdollisuuksia parantaa veneilyn ympäristöystävällisyyttä. Tutkielman tavoitteena on tarjota kattava yleiskatsaus veneilyn nykytilaan ja tulevaisuuteen tukien samalla kestävämpien ja tehokkaampien veneilyratkaisujen kehitystä.

2 Yleisimmät venemalli-, moottori- ja materiaalivaihtoehdot

Veneissä on laaja valikoima mahdollisia rungon muotoja, sekä muutamia mahdollisia moottorin sijoittamisvaihtoehtoja ja rungon valmistusmateriaaleja. Veneiden pohjan muotoja ja materiaaliratkaisuja on luotu erilaisiin käyttötarkoituksiin, joita on vaikea vertailla keskenään. Tässä luvussa tarkastellaan tutkielman kannalta tärkeimpiä pohja-, moottori- ja materiaaliratkaisuja.

2.1 Runkomallit

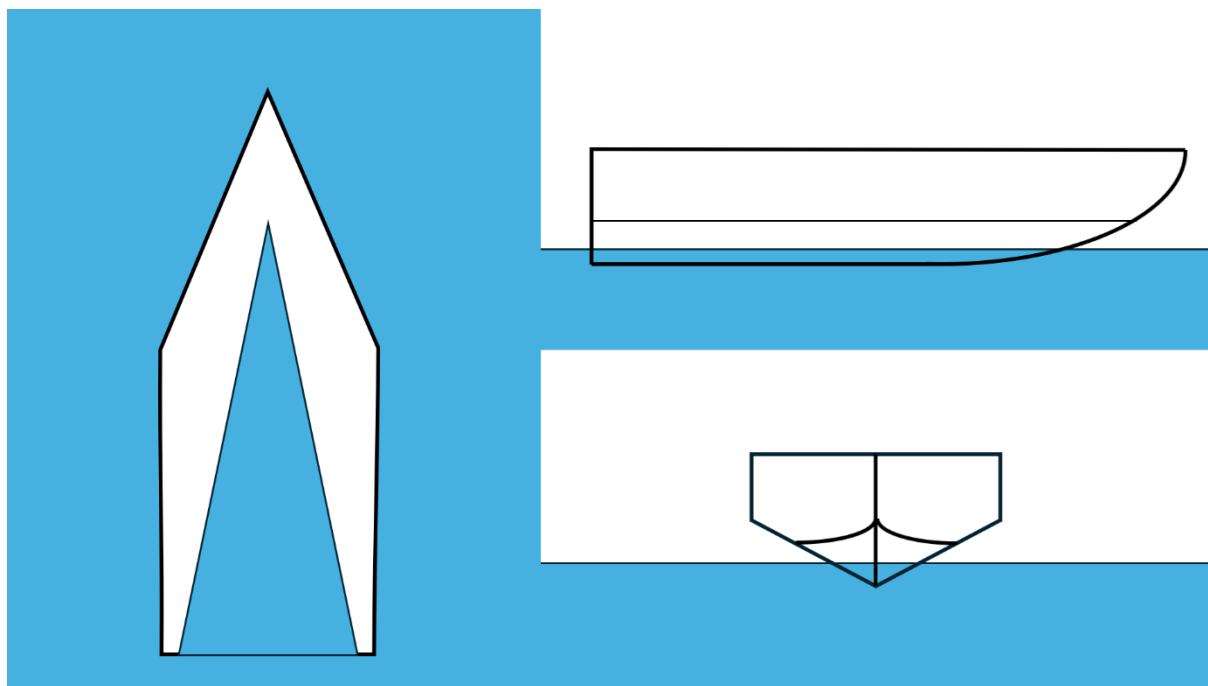
Veneillä on perinteisesti määritetty kolme mahdollista runkomallia, jotka ovat uppoumarunko, puoliliukuva ja liukuva. Uppoumarunko on tavanomaisesti käytössä hitaasti kulkevissa venemalleissa, kuten purje-, soutu- tai hidas moottoriveneissä. Liukuvassa mallissa moottorin teho, rungon muodot ja keveys nostaa veneen liukuun. Puoliliukuva malli on uppoumarunon ja liukuvan mallin välimuoto, joiden pohjaratkaisut voivat poiketa hyvin paljon toisistaan. [1]

Tutkielmassa keskitytään liukuvarunkoiseen venemalliin, sillä ne ovat kuluttajakäytössä yleisimpiä veneitä ja niiden saatavuus ekologisella moottorilla on vähäistä tällä hetkellä. Veneissä suurin vastus vauhdille on kitka. Kitka määräytyy veneen pohjan märkäpinta-alan perusteella, joka on johdannainen veneen pohjan muodosta ja painosta. Liukuvissa veneissä matka- ja huippunopeus saavutetaan, kun vene on liukutilassa. Vene nousee liukuun saavutettuaan tietyn vauhdin, jossa hydrodynaaminen noste ja veneen rungon muodot nostavat veneen käytännössä vaaka tasoon veden päälle ja rungon uppouma vähenee. Tämän seurauksena veneen märkäpinta-ala pienenee huomattavasti, mikä vähentää veneen ja veden välistä kitkaa. Kitkan vähentyessä veneen polttoaineen kulutus laskee huomattavasti. [2]

2.1.1 V-pohja

V-pohjamalli on yksi yleisimmistä veneen rungon malleista. Veneen pohjassa on yksi V-mallinen märkäkosketusala (Kuva 1). Markkinoilla on monia erilaisia variaatioita, joiden avulla veneen ominaisuudet muuttuvat käyttotarpeiden mukaan. Variaatioissa v-pohjaa voidaan esimerkiksi jyrkentää tai pohjaan voidaan tehdä porrastus. Mitä jyrkempi pohja on, sitä enemmän vene keino paikoillaan, mutta murtaa aallot helpommin, ja vene kulkee tasaisemmin. Loivalla V-pohjalla vene ei keino paikoillaan yhtä paljon kuin jyrkemmällä V-

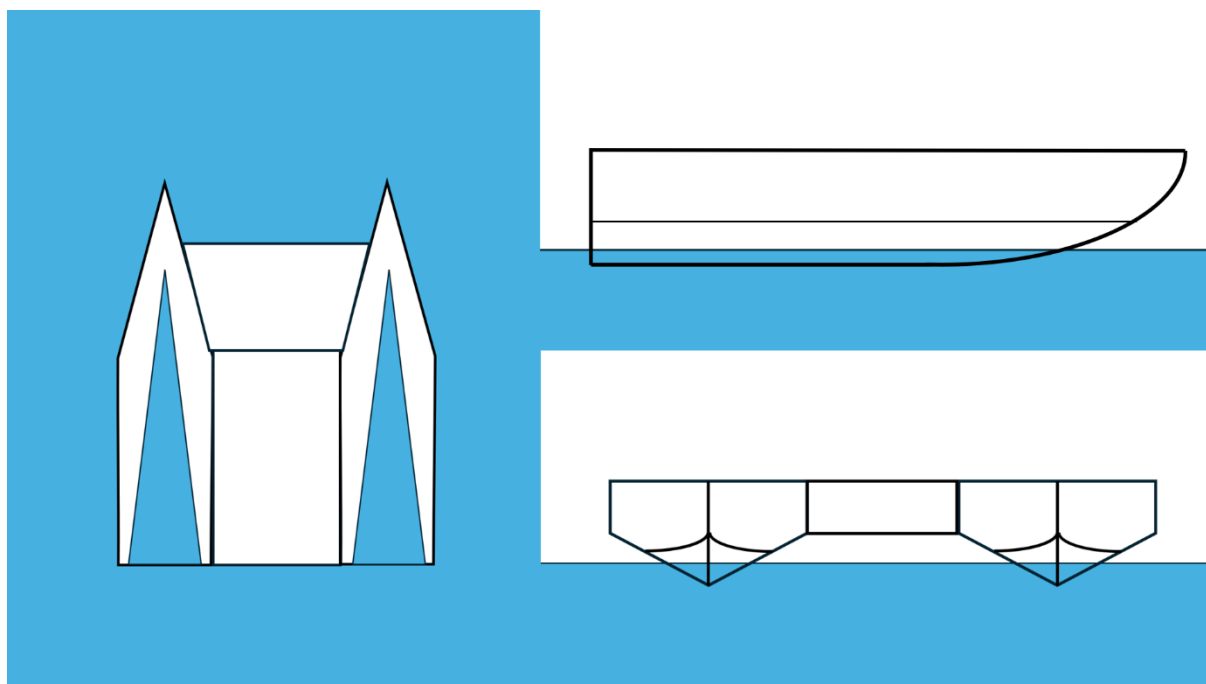
pohjalla, mutta se on herkempi aaltojen vaikutuksille. Pohjan märkäpinta-ala vaikuttaa kitkan kanssa nopeuteen, mikä tekee loivasta V-pohjasta paremman vaihtoehdon nopeuden kannalta. Tästä pohjasta on monenlaisia variaatioita, ja niitä on muokattu veneen käyttötärpeiden mukaan laajasti. Tutkielmassa keskitytään V-pohjaan, koska se on yleisin kuluttajakäytössä oleva malli.



Kuva 1. V-runkoisen veneen muoto. Kuva: Olli Suominen.

2.1.2 Katamaraani

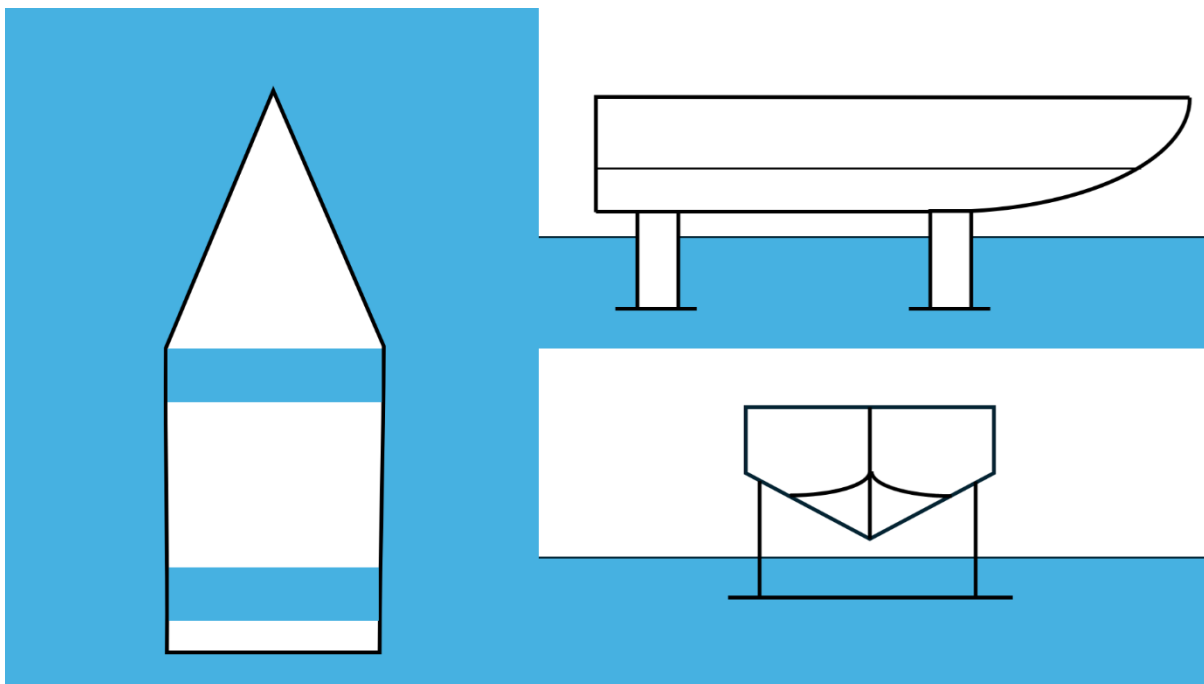
Katamaraanin pohja rakennetaan kahdesta V-muotoisesta pontoonista, joiden ansiosta katamaraanin pohjassa on kaksi toisistaan erillään olevaa märkäpinta-aluetta (Kuva 2). Tämän ominaisuuden ansiosta katamaraani on huomattavasti vakaampi kuin v-pohjalla varustettu vene.



Kuva 2. Katamaraani runkoisen veneen muoto. Kuva: Olli Suominen.

2.1.3 Kantosiipi

Kantosiipivene ei ole kovin yleinen runkomalli, mutta rakenteensa ansiosta se on lupaava sähköiselle moottorille. Kantosiipivenessä on yleensä samankaltainen pohjamalli kuin v-pohjalla varustetulla veneellä, mutta siihen lisätään kantosiivet (Kuva 3). Nämä kantosiivet kiinnittyvät veneen runkoon ja sijoittuvat veneen pohjan alapuolelle. Kantosiipien tarkoitus on nostaa veneen koko runko irti vedestä liukutilassa, jolloin kitka kohdistuu vain kantosiipiin. Tämä vähentää merkittävästi veden aiheuttamaa kitkaa, mikä pienentää moottorin tarvitsemaa voimaa, kun veneen runko on irti vedestä. Tämän avulla voidaan saavuttaa korkeita nopeuksia huomattavasti pienemmällä teholla. [3]



Kuva 3. Kantosiipirunkoisen veneen muoto. Kuva: Olli Suominen.

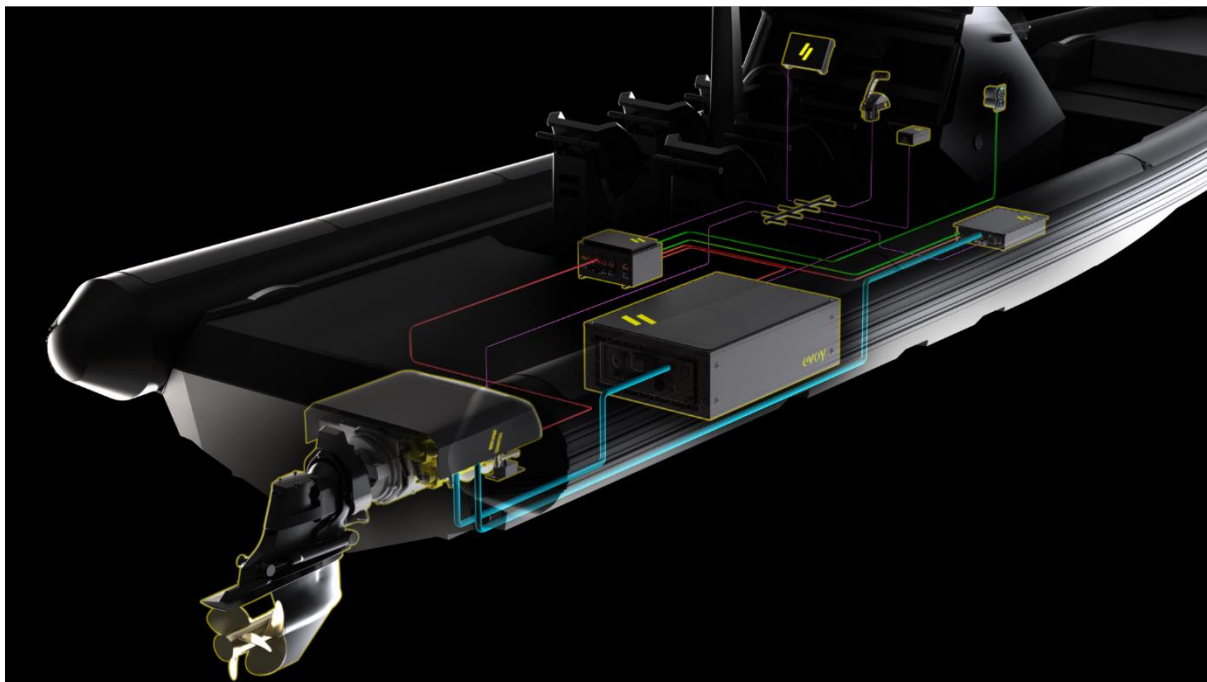
2.1.4 Runkomallit sähköisessä veneessä

Runkomalleja vertailtaessa havaitaan, että kantosiipivene tarjoaa sähkövenelle hyvän rungon, koska kantosiipimallin märkäpinta-ala on huomattavasti pienempi kuin V-pohja- tai katamaraanirungon. Kantosiivillä varustettu runko on kuitenkin vaikeampi valmistaa kuin V-pohjainen runko, ja sen käyttömahdollisuudet ovat rajalliset. Näin ollen kuluttajakäyttöön V-runkoista venettä pidetään sekä käyttöominaisuuksiltaan että valmistuksen kannalta sopivampana vaihtoehtona.

2.2 Moottorimallit

2.2.1 Sisämoottori

Sisämoottorilla tarkoitetaan veneen rungon sisäpuolella sijaitsevaa ottomoottoria, joka tuottaa voimaa veneen ulkopuolella sijaitsevaan vetolaitteeseen, minkä avulla syntyy propulsiovoima veneelle (Kuva 4). Sisämoottoreita voi olla erilaisia malleja, kuten sisäperämoottori sisäkeskimoottori, jossa ”perä” tai ”keski” sanalla viitataan käytännössä moottorin sijaintiin veneen rungossa. Yleisempi näistä on sisäperämoottori liukuvarunkoisissa veneissä. Sisäperämoottori vaatii yleensä ulkoisen jäähdytysjärjestelmän, jossa kiertää meri- tai järvi- tai sisävesi. Sisämoottorina voidaan käyttää autoissakin käytettyjä ottomoottoreita.



Kuva 4. Sähköllä toimiva sisäperämoottori. Kuva: Evoy AS.

2.2.2 Ulkoperämoottori

Ulkoperämoottorilla tarkoitetaan veneen rungon ulkopuolelle sijoitettua moottoria (Kuva 5). Ulkoperämoottorissa moottori on pystyasennossa verrattuna sisäperämoottoriin tai auton moottoriin. Ulko- ja sisäperämoottoreita on nykyään saatavilla suunnilleen samoilla hevosvoimamäärillä. Ulkoperämoottori toimii omana yksikkönään, joka tarvitsee vain virtaa, polttoainetta ja ohjauksen.



Kuva 5. Sähköllä toimiva ulkoperämoottori. Kuva Evoy AS.

2.2.3 Moottorimallit veneessä

Sisämoottorilla ja ulkoperämoottorilla ei ole hirveästi eroavaisuuksia veneen kulun ja toiminnan kannalta. Suurin eroavaisuus tulee rungon tilan hyödyntämisessä.

Ulkoperämoottori tarjoaa veneen sijaintinsa ansiosta sisäpuolelle enemmän tilaa, helpompi huoltaa ja asentaa, kuin sisämoottori. Tästä syystä ulkoperämoottoria käytetään usein pienemmissä liukuvarunkoisissa veneissä ja sisämoottoreita isoimmista venemalleissa, joissa vaaditaan enemmän tehoa.

2.3 Venemateriaalit

2.3.1 Lasikuitu

Lasikuitu on yleinen materiaali monissa veneissä, erityisesti pienissä ja keskisuurissa vapaa-ajan veneissä. Lasikuituvalmisteissa käytetään lasikuidun lisäksi polyesteria tai epoksia. Lasikuituveneitä arvostetaan niiden keveyden, helpon muotoilun ja suhteellisen edullisen hinnan vuoksi. Ne ovat myös helposti muokattavissa erilaisten muotojen ja rakenteiden saavuttamiseksi. Lisäksi lasikuitu on korroosionkestävä, mikä tekee siitä houkuttelevan vaihtoehdon merivedessä käytettäväksi. Lasikuituveneet voivat kuitenkin vaatia enemmän huoltoa ajan mittaan, erityisesti vaurioitumisen ja osien korjaamisen suhteen. [4]

2.3.2 Lujitemuovi

Lujitemuovi on lasikuidun tapaan komposiittinen materiaali. Lujitemuovi valmistetaan lasikuidusta, johon lisätään muovia tai polymeeristä hartsia. Lasikuidun tavoin lujitemuovi on kevyttä ja helposti muokattavaa, sekä korroosionkestävää. [5]

2.3.3 Alumiini

Alumiiniveneet ovat suosittuja erityisesti ammatti- ja kalastusveneissä sekä haastavammissa olosuhteissa. Alumiini on erittäin kestävä ja kevyt materiaali, mikä tekee alumiiniveneistä erinomaisen valinnan vaativiin ympäristöihin. Ne ovat yleensä vähemmän alttiita vaurioille kuin lasikuituveneet, ja ne voivat kestää kovaa käyttöä ja karujakin olosuhteita.

Alumiiniveneet ovat myös helppoja huoltaa ja niillä on hyvä jälleenmyyntiarvo. Toisaalta alumiiniveneet voivat olla arvokkaampia kuin vastaavan kokoiset lasikuituveneet, ja ne eivät välttämättä tarjoa yhtä monipuolista muotoilua ja ulkoasua. [4]

2.3.4 Hiilikuitu

Hiilikuitu on lasikuidun tavoin helppo muotoilla ja hyvin korroosiota kestävä. Tätä käytetään yleensä korkeaa suorituskykyä haettaessa, koska hiilikuitu omaa korkean kestävyuden ja lujuuden suhteessa kevyeen painoon. Valmistajat eivät yleisesti käytä hiilikuitua kalliin hinnan takia. [5]

2.3.5 Veneen materiaalivalinta

Suosituimmat materiaalit tällä hetkelle ovat lasikuitu ja lujitemuovi. Nämä tarjoavat valmistajille ja kulujalla edullisemmän, sekä helpommin rakennettavan kokonaisuuden kuin alumiini tai lasikuitu. Alumiinilla saadaan tehtyä kestävämpiä veneitä kuin kuitupohjaisilla materiaaleilla. Alumiinista valmistettu vene tulee kuitenkin kuluttajalle kalliimmaksi kuin lasikuitu- tai lujitemuovivene. Kuitupohjainen materiaalia tarjoaa myös valmistajille helpommin muokattavan rungon, jolloin akut on helpompi sijoittaa veneeseen.

3 Veneen sähköistys

Tässä luvussa käsitellään täyssähköisen kulkuneuvon akkuja, akkujen materiaaleja ja niiden vaatimuksia sähkökäyttöisessä veneessä. Luvussa kerrotaan myös ajoneuvoista, koska ajoneuvojen sähköisyyden myötä veneissä on aloitettu hyödyntämään ekologisempia moottorivaihtoehtoja, sekä osassa valmistetuissa veneissä on hyödynnetty sähkökäyttöisten henkilöautojen akkuja.

3.1.1 Täyssähkö kulkuneuvot Suomessa

Viime vuosien aikana akkujen käyttö on yleistynyt merkittävästi, erityisesti litiumioniakkujen ja sähköisten kulkuneuvojen tultua kuluttajamarkkinoille. Täyssähköisten henkilöautojen määrä on lähes kaksinkertainen verrattuna vuoteen 2022. Taulukosta 1 nähdään, että vuonna 2022 Suomessa oli liikenteessä noin 51 144 täyssähköistä autoa, kun taas vuoden 2023 lopussa raportin mukaan täyssähköautoja oli noin 92 163 kappaletta. [6] Sen sijaan täyssähköisiä liukuvamallisia veneitä on Suomen markkinoilla toistaiseksi todella vähän.

Taulukko 1. Suomessa rekisteröityjen autojen vertailu vuosina 2022 ja 2023

	Bensiini	Diesel	Sähköhybridi	Sähkö
Vuosi 2023	2 225 356	1 550 479	135 406	92 163
Vuosi 2022	2 252 304	1 579 066	104 298	51 144
Muutos	-26 948	-28 587	31 108	41 019

3.1.2 Täyssähkökulkuneuvon akku

Täyssähköisten autojen akustoissa käytetään pääasiassa rinnakkain liitettyjä litiumioni-kennoja, joissa tietyt määrät rinnakkain kytkettyjä kennoja on liitetty keskenään sarjaan. [7] Litiumioniakuista käytetään lyhennettä Li-ion, jolla viitataan koko akkuperheeseen. Kyseisiä akkuja yritetään jatkuvasti parantaa ja kehittää käyttömahdollisuuksien puitteissa. Akussa on negatiivinen ja positiivinen elektrodi kastettuna litiumsuolaa sisältävään elektrolyyttiin. Akun latautuessa sähköenergia varastoidaan akkuun kemiallisena energiana, ja reaktioissa litiumionit siirtyvät positiivisesta elektrodista negatiiviseen elektrodiin [8]. Purkausprosessin aikana akkuun varattu kemiallinen energia muutetaan sähköksi, ja reaktioissa litiumionit siirtyvät negatiivisesta elektrodista positiiviseen elektrodiin [8].

3.1.3 Kulkuneuvon tarkoitettujen akkujen rajaavia tekijöitä

Litiumioniakut toimivat turvallisesti yleensä alle 70°C ja yli -20°C lämpötiloissa. Tämän lämpövälin sisällä akun ei pitäisi vahingoittua, mutta on tärkeää huomioida, että akun sisäinen lämpötila ei saisi ylittää 25°C, koska tämä voi lyhentää akun käyttöikää tai heikentää sen tehokkuutta. Akkujen säilytysolosuhteilla ja jäähtymyksellä on merkittävä vaikutus akun suorituskykyyn ja kestävyys (Kuva 6). [9]



Kuva 6. Sähköllä toimivan veneen akkujen hallintapaneeli. Kuva: Evoy AS.

3.1.4 Akkujen jäähtyminen veneessä

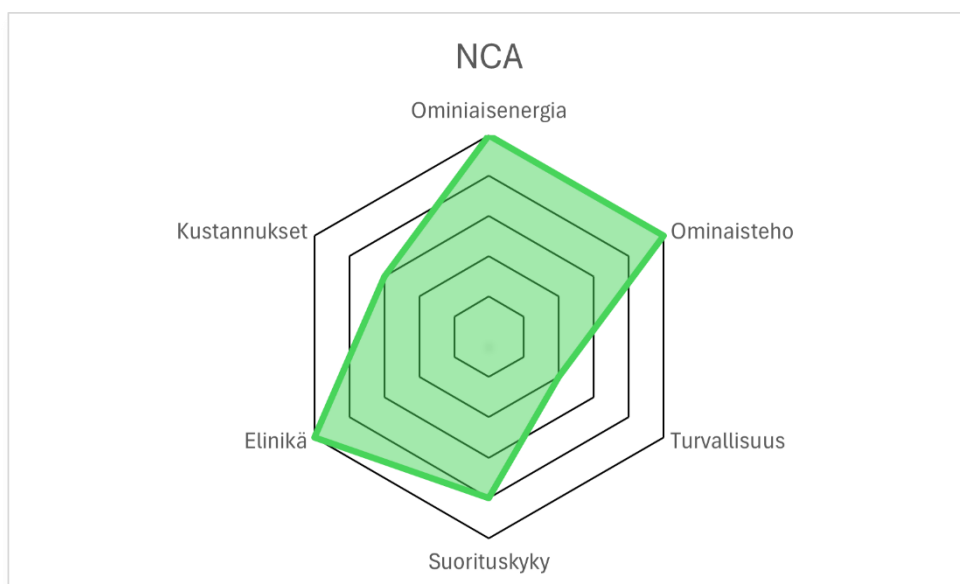
Akkukäyttöisessä veneessä jäähtyminen toimii samalla tavalla kuin ottomootorikäyttöisessä veneessä. Akkujen jäähtyminen tapahtuu vedellä, jota saadaan veneen liikkumisympäristöstä. Sisäperämootorimallissa käytetään yleensä lämmönvaihtajaa, jossa kiertää moottoria jäähdyttävä jäähdytineste, joka puolestaan jäähdyttää moottoria. Veneessä lauhduttimen ympärille on rakennettu kuori, jonka sisällä kiertää meri- tai järvivesi, koska veneen moottoritilassa ei yleensä ole samanlaista ilmavirtaa kuin henkilöauton moottoritilassa. Ulkoperämootoreissa jäähtyminen tapahtuu meri- tai järviveden kiertäessä moottorin ympärillä.

3.2 Litium-ioni akkujen kemialliset ominaisuudet

Sähköisissä autoissa on käytössä erilaisia litium-ioniakkukemialla varustettuja akkuja käyttötarpeen ja valmistushinnan mukaan. Akkujen suorituskyky, käyttöikä ja turvallisuus riippuvat kuitenkin suurelta osin niiden kemiallisesta koostumuksesta.

3.2.1 Nikkelikoboltti-alumiinioksidi

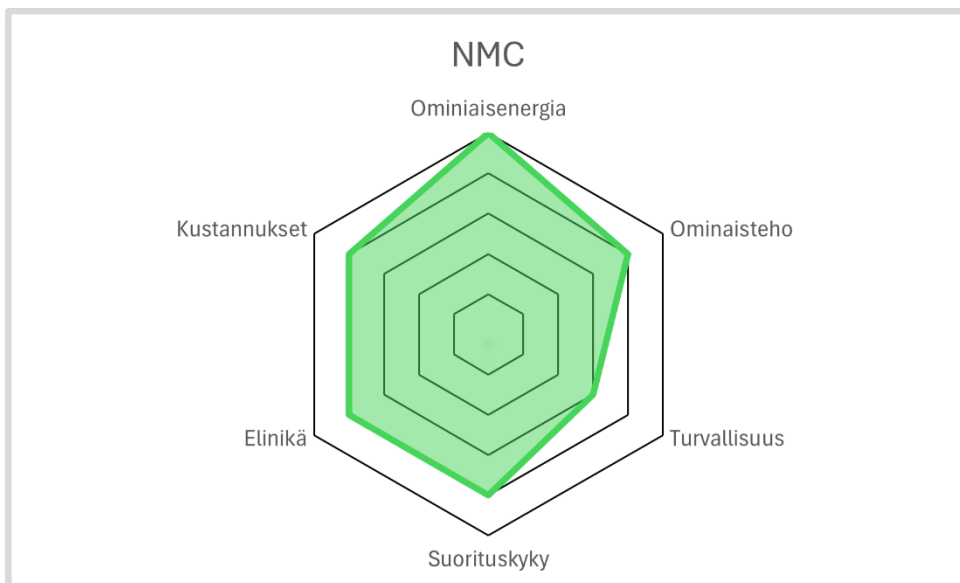
Nikkelikoboltti-alumiinioksidi eli NCA akku. Akku pystyy varastoimaan 180-200 mAh/g, mikä tekee NCA akusta erinomaisen energiatiheyden kannalta (Kuva 7). NCA-akkujen muihin etuihin kuuluu niiden pitkä käyttöikä ja kyky säilyttää kapasiteettinsa pitkissä käyttöjaksoissa, mutta niiden suurin haitta on korkeampi hinta ja suurempi herkkyys termisille ongelmille, joiden estäminen vaatii parempaa jäähdytystä ja hallintajärjestelmiä. NCA akut ovat myös huomattavan kevyitä verrattuna muista materiaaleista valmistettuihin akkuihin. [10]



Kuva 7. NCA akku verrattuina muihin akkuihin. Kuva: Olli Suominen.

3.2.2 Nikkeli-mangaani-koboltti

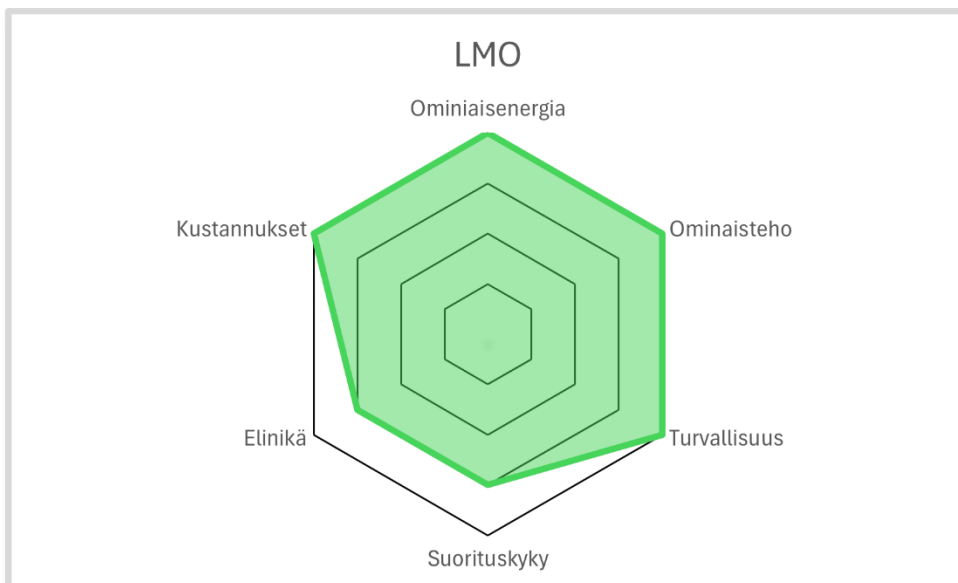
Nikkeli-mangaani-kobolttiakku eli NMC akku tarjoaa hyvän tasapainon suorituskyvyn, kestävyuden ja kustannusten välillä (Kuva 8). NMC on suosittu valinta sähköajoneuvoissa, mukaan lukien veneissä, koska se tarjoaa kohtuullisen energiatiheyden ja on vähemmän altis termiselle hajoamiselle kuin NCA [11]. NMC-akut ovat myös suhteellisen kestäviä syklien suhteen, mikä tekee niistä luotettavan valinnan pitkäaikaiseen käyttöön.



Kuva 8. NMC akku verrattuna muihin akkuihin. Kuva: Olli Suominen.

3.2.3 Litium-mangaanioksidi

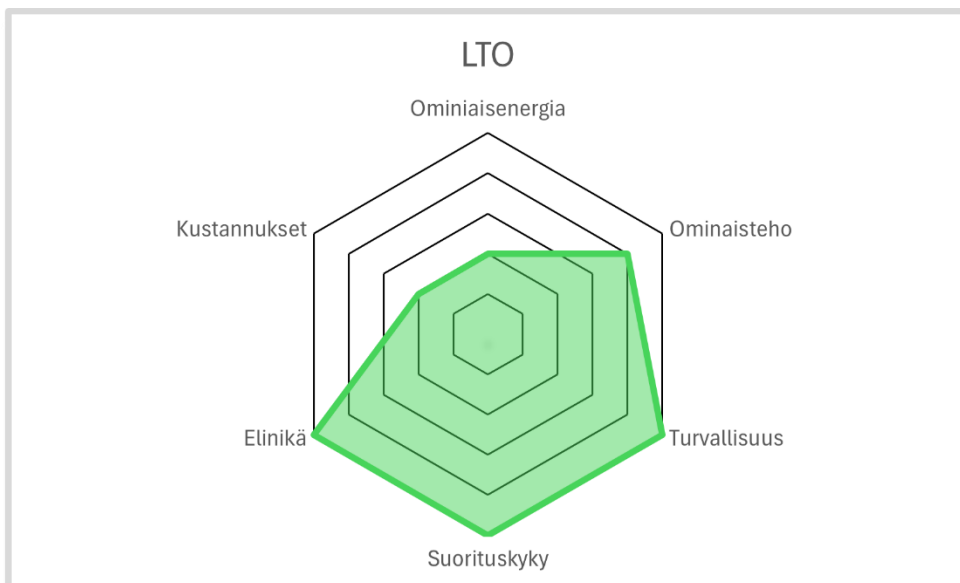
Litium-mangaanioksidiakku eli LMO akut tarjoavat hyvän korkean lämpötilan suorituskyvyn ja nopeat latausajat, mikä tekee niistä erinomaisen vaihtoehdon sovelluksiin, jotka vaativat nopeaa latausta ja jatkuvaa suorituskykyä (Kuva 9). Vaikka niiden energiatiheys ja elinikä eivät yllä muiden litium-ionikemioiden tasolle [12], niiden vakaas, erinomainen turvallisuus ja pitkä käyttöikä tekevät niistä houkuttelevan valinnan erityisesti turvallisuutta ja luotettavuutta arvostaville veneilijöille. LMO-akut ovat myös suhteellisen edullisia valmistaa, mikä voi tehdä niistä hyvän vaihtoehdon kuluttajaa ajatellessa.



Kuva 9. LMO akku verrattuna muihin akkuihin. Kuva: Olli Suominen.

3.2.4 Litium-titaanioksidi

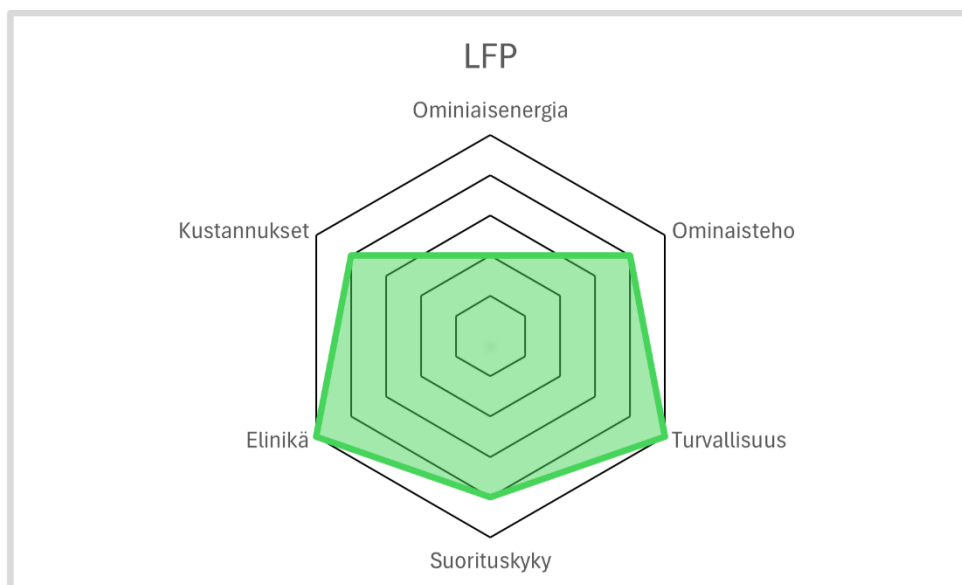
Litium-titaanioksidiakku eli LTO akut ovat tunnettuja erittäin nopeista latausajoistaan ja poikkeuksellisesta syklinkestävyydestään (Kuva 10). LTO-akut ovat erittäin kestäviä, kykenevät kestämaan suuria määriä lataus- ja purkaussyklejä ilman merkittävää suorituskyvyn heikkenemistä, ja niillä on korkeat turvallisuusvaatimukset [13], mikä vähentää huoltotarpeita. Vaikka niiden energiatiheys ei yllä muiden litiumionikemioiden tasolle, niiden kyky kestää tuhansia lataussyklejä ilman kapasiteetin merkittävää menetystä kompensoi energiatheyden puutetta. Tämän ansiosta LTO-akut ovat houkutteleva vaihtoehto ammattimaisille veneilijöille, jotka tarvitsevat luotettavaa ja pitkäikäistä virtalähdettä.



Kuva 10. LTO akku verrattuna muihin akkuihin. Kuva: Olli Suominen.

3.2.5 Litium-rautafosfaatti

Litium-rautafosfaattiakku eli LFP akut tarjoavat parhaan turvallisuustason kaikista litiumionikemioista, mikä tekee niistä erityisen sopivia turvallisuuteen keskittyvissä sovelluksissa (Kuva 11). Ne eivät vaadi yhtä korkeaa termistä hallintaa kuin muut kemiat, ja niiden valmistuskustannukset ovat alhaisemmat. Vaikka niiden energiatiheys on muita alhaisempi, LFP-akut tarjoavat erinomaisen tasapainon suorituskyvyn, turvallisuuden ja käyttöiän välillä. Niiden suorituskyky on vakaa eri lämpötiloissa, ja ne ovat vähemmän alttiita ylikuumenemiselle sekä syttymiselle [14]. Tämä tekee LFP-akuista turvallisen vaihtoehdon veneeseen.



Kuva 11. LFP akku verrattuna muihin akkuihin. Kuva: Olli Suominen.

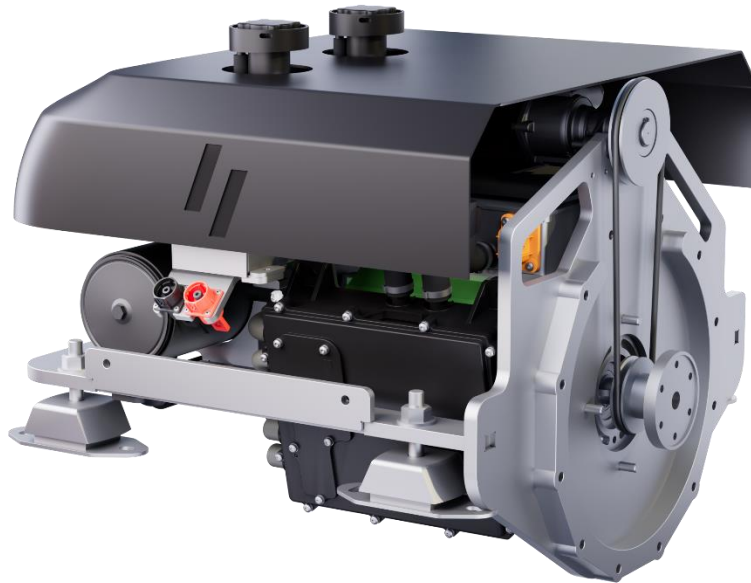
3.2.6 Akkumateriaalit veneily käytössä

Kun vertaillaan eri litiumioniakkujen kemiallisia ominaisuuksia veneilykäytössä, voidaan havaita, että jokaisella kemialla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. NCA-akut tarjoavat erittäin korkean energiatiheyden ja pitkän käyttöiän, mutta ne ovat herkkiä lämpötilan vaihteluille ja vaativat huolellista lämpöhallintaa. LMO-akut puolestaan tarjoavat hyvän lämpöstabiilisuuden ja nopean latausajan, mutta niiden energiatiheys ei ole yhtä korkea kuin muiden kemioiden. LTO-akut kestävät valtavan määrän lataussyklejä ja ovat erittäin turvallisia, mutta niiden alhaisempi energiatiheys tekee niistä vähemmän houkuttelevan vaihtoehdon tilanteissa, joissa tila ja paino ovat kriittisiä tekijöitä. LFP-akut ovat erinomaisen turvallisia ja luotettavia, mutta niiden suhteellisen alhainen energiatiheys rajoittaa käyttöä sovelluksissa, joissa tarvitaan pitkiä toimintamatkoja. NMC-akut nousevat tässä vertailussa esiin tasapainoisimpana vaihtoehtona. Ne tarjoavat hyvän kompromissin energiatiheyden, kestävyuden ja kustannusten välillä, mikä tekee niistä erityisen hyvän valinnan veneilykäyttöön. NMC-akuilla on kohtuullinen energiatiheys, pitkä käyttöikä ja hyvä lämpöstabiilisuus, mikä lisää niiden turvallisuutta ja tekee niistä luotettavia pitkäaikaisessa käytössä. Lisäksi NMC-akut ovat kustannustehokkaampia kuin esimerkiksi NCA-akut, mikä tekee niistä kilpailukykyisen vaihtoehdon kuluttajille.

3.3 Nykyiset mahdollisuudet

3.3.1 Moottorit

Markkinoilla on tarjolla täysin sähköisiä veneen moottoreita (Kuva 12), joista tehokkuudeltaan pienimpiä ovat 3–5 hevosvoiman sähköperämoottoreita [15]. Niiden tarkoitus on korvata uppoumarunkoisten veneiden ottomoottoreita tai uistelukäyttöön tarkoitettuja ottomoottoreita. Lisäksi markkinoilta löytyy suuremmilla nimellisteholla varustettuja sisä- ja ulkoperämoottoreita, kuten moottorivalmistajan Y tuotteita. Valikoimasta löytyy sisäperämoottoreita, joiden nimellisteho vaihtelee 120–400 hevosvoiman ja paino 90–209 kilogramman välillä. Ulkoperämoottoreita on saatavana 120–300 hevosvoiman nimellisteholla, ja niiden paino vaihtelee 203,5–270 kilogramman välillä. Moottorivalmistaja Y myy veneisiin sijoitettavia akkuja, jotka ovat kapasiteetiltaan 63 kWh. Esimerkiksi 120 hevosvoiman ulkoperämoottorin toimintamatka yhdellä 63 kWh akulla on noin 38 kilometriä, ja yksi akku painaa noin 400 kilogrammaa. [16]



Kuva 12. Kolmiulotteisella mallinnustyökalulla tehty kuva veneen sähkömoottorista. Kuva: Evoy AS.

3.3.2 Täyssähköinen v-runko

V-runkoisia täyssähkövenettä on tällä hetkellä myynnissä muutamia (Kuva 13). Näissä on käytetty yleensä ottomoottorilla valmistettua mallia, johon on vaihdettu toisen valmistajan

sähkömoottori ja akusto. Esimerkiksi venevalmistaja X:n valmistamaan runkoon on laitettu moottorivalmistajan Y:n 300 hevosvoimaa nimellisteholla tuottava sähköinen ulkoperämoottori. Venevalmistaja X ilmoittaa tämän konfiguraation mahdollistavan 20-25 solmun matkavauhdin, jolla pystyy ajamaan noin 46 kilometriä, sekä huippunopeuden 54 solmua. Sähköisen veneen kokonaispaino on noin 2900 kg sähkömoottorilla ja akuilla. Vaihto toi lisäpainoa noin 400 kg verran. Veneen kerrotaan toimivan samalla tavoin, kuin polttomoottoriversion, paitsi että liukuun nousu on helpottunut sähkömoottorin tuoman nopean väännön ansiosta. [17]



Kuva 13. Axopar 25 vene, joka on varustettu Evoyn sähköisellä ulkoperämoottorilla. Kuva Axopar Boats Oy.

3.3.3 Täyssähköinen kantosiipivene

Venevalmistaja Y:n kokonaan hiilikuidusta valmistama kantosiipivene on edistyksellinen rungon rakenteen ansiosta. Siinä veneen pohjan muotona käytetään kantosiipimallia, jossa koko veneen runko nousee alle asetettujen siipien varaan (Kuva 14). Tämä ratkaisu vähentää märkäpinta-alaa merkittävästi verrattuna perinteiseen veneen pohjaratkaisuun. Valmistajan mukaan veneellä pystytään saavuttamaan yli 20 solmun nopeus ja sillä on noin 100 kilometrin toimintasäde. Veneen koko runko on rakennettu hiilikuidusta ja painoksi ilmoitetaan noin 1750 kg. Veneen moottorin polttoaineenkulutus on noin 12–18-kertainen verrattuna auton ottomoottoriin. [18]



Kuva 14. Esimerkki kantosiipi runkoisesta veneestä. Kuva. neilloe

3.3.4 Täyssähköisyys kuluttajalle

V-runkoinen veneen paino on huomattavasti suurempi, kuin kantosiipirunkoisen veneen. Tämä johtuu runkojen valmistusmateriaaleista, sekä suunnittelusta. Kantosiipivene oli alusta lähtien rakennettu sähköistä moottoria varten, kun taas V-runkoinen on jatkojalostettu ottomoottoriversiosta. V-runkoinen malli tarjoaa valtaosalle kuluttajia tutumman veneilykokemuksen, sekä huomattavasti suuremman huippunopeuden, kuin kantosiipirunkoinen vene. Kuluttajalla on myös mahdollisuus vaihtaa polttomoottori vastaavaan sähkömoottoriin. Tätä on vaikea vertailla, koska runkona voidaan käyttää melkein mitä tahansa mallia, mutta voidaan olettaa, että tällä hetkellä akusto tuo veneeseen painoa.

4 Hybridi

Hybridivoimalinjat edustavat kehittyneitä teknologioita, jotka yhdistävät perinteisten polttomoottorien ja sähkömoottorien parhaat puolet, pyrkien vähentämään ympäristövaikutuksia ja parantamaan energiatehokkuutta. Tässä kappaleessa käsitellään hybriditeknologian soveltamista veneissä, sen hyötyjä, haasteita ja teknisiä ratkaisuja.

4.1 Hybridimoottori ajoneuvoissa

Hybridimoottorit ovat kombinaatio voimaa tuottavasta akusta ja sähkömoottorista, sekä ottomoottorista. Henkilöautoissa hybridimoottorilla mahdollistetaan pienempi polttoaineen kulutus ja mahdollisuus ottaa energiaa talteen henkilöauton hidastaessa. Hybridimoottori voi vaihdella sähkömoottorin ja ottomoottorin välillä tai hyödyntää molempia voimanlähteitä samanaikaisesti. Hybridimoottoria voidaan käyttää henkilöautossa esimerkiksi korvaamaan kaupunkiajossa tarvittavaa polttoainetta tai liikkeelle lähdön apuna. Hybridimoottoreissa on myös malleja, joissa ottomoottorin tarkoitus on tuottaa sähköä henkilöauton sähkömoottorille. Hybridimalleja on käytetty jo henkilöautojen lisäksi isommissa laivoissa, joissa käytetään dieselottomoottoreita ja sähköä.

4.2 Hybridi veneissä

Moottori valmistaja Y on tehnyt hybridiratkaisun käyttäen kahta dieselillä toimivaa ottomoottoria ja kahta 60kW sähkömoottoria, jotka tuottavat 165 hevosvoimaa. Akustona toimi 8 akkumoduulia, joiden yhteiskapasiteetti oli 67 kWh ja painoksi ilmoitettu noin 600 kilogrammaa. Akuston lisäksi sähköjärjestelmä tarvitsee nestejäähdytyksen ja valvontajärjestelmän. Akuston, moottorin ja lisälaitteiden kokonaispainoksi ilmoitetaan noin 800 kilogrammaa. Vene on liukuva ja ilmoitettu toimintamatka sähköllä on 3 tuntia, jolla päästään 15mpk 5 solmulla. Sähkömoottorit hyödyttävät venettä vain uppoamanopeuksilla. [19]

4.3 Hybriditeknologian haasteet ja hyödyt

Vaikka hybriditeknologialla on potentiaalia veneilyssä, sen hyödyt ovat toistaiseksi rajoittuneet. Suurempi energiantarve liukuvissa veneissä tekee hybriditeknologian käyttämisen haasteelliseksi, ja polttomoottorin lisäpaino voi rajoittaa sen soveltuvuutta. Hybriditeknologia voi kuitenkin tarjota etuja alhaisissa nopeuksissa tai liukuun nousussa.

5 Ekologinen propulsio

Ekologinen propulsio tarkoittaa sellaisten voimanlähteiden ja liikuttamistapojen käyttöä veneissä, jotka vähentävät ympäristövaikutuksia ja parantavat energiatehokkuutta. Tällä hetkellä veneilyn ekologisia propulsiovaihtoehtoja kehitetään aktiivisesti, ja ne sisältävät useita erilaisia teknologioita, kuten täyssähköiset moottorit, hybridiratkaisut ja vaihtoehtoiset polttoaineet. Tässä kappaleessa käydään läpi ekologisten propulsiovaihtoehtojen hyötyjä, haasteita ja käytännön toteutuksia.

5.1 Kulutus

Venevalmistaja Y:n mukaan polttomoottori venettä ja auto verrattaessa, veneen moottori kuluttaa noin 12–18 kertaa enemmän polttoainetta kuljettuaan saman matkan. Kulutus luoo ison esteen veneilyn sähköistämiseksi, koska ajoneuvoihin verrattuna veden aiheuttama vastus vähentää huomattavasti veneen toimintamatkaa. Tämän lisäksi akkujen paino ja niiden tarjoama toimintamatra on huomattavasti vähemmän kuin polttomoottorin ja polttoaineen mahdollistama toimintamatra. Venevalmistaja X käytti täyssähköisessä versiossa polttomoottoriversion runkoa. Vertaillessa versioita huomataan, että toimintamatra vähenee liikutilassa huomattavasti täyssähköisessä versiossa.

5.2 Paino

Täyssähköveneet ovat mahdollisia mutta niitä on tällä hetkellä hyvin vähän, koska akkujen tuoma paino rajaa käyttöä pienemmissä veneissä. Tutkielmassa aikaisemmin mainitut täyssähköiset veneet ovat rungoltaan valmiiksi hyvin painavia veneitä. Suuren painon takia akkujen ja sähkömoottorin paino ei vaikuta veneen kokonaispainoon samalla tavalla, kuin kevyemmässä veneessä, jotka ovat halvempien hintojen puolesta yleisempiä. Lisäpaino kasvattaa kevyemmän veneen märkäpinta-alaa huomattavasti, mikä lisää energian tarvetta vastuksen kasvaessa prosentuaalisesti enemmän, kuin painavamman veneen tapauksessa.

5.3 Kuluttaja

5.3.1 Hintaa

Ekologisempien propulsio mallien käyttöönottoa veneissä hidastaa merkittävästi niiden korkeampi hinta kuluttajille. Tutkielmassa aikaisemmat mainitut veneet ovat hyvin korkealuokkaisia, minkä takia hinnat on hyvin korkeat.

Perinteiset polttomoottoriveneet voidaan muuntaa täyssähköisiksi. Tämä muutos tuo mukanaan lisähaasteita, kuten akkujen sijoittelun ja tilanpuutteen pienissä veneissä. Erityisesti pienissä veneissä täyssähköisyyden hinta voi olla merkittävä este, koska lisäpaino ja tilan tarve akuille vaikuttavat suoraan veneen rakenteeseen ja kustannuksiin. Näin ollen moottorin vaihtamisen hinta on yksi suurimmista haasteista, jotka on ratkaistava ekologisten propulsiovaihtoehtojen laajamittaiselle käyttöönotolle veneissä. Vaikka moottorin vaihtamisen hinta voi olla korkea, sähköisenmoottorin käyttökustannukset ovat alhaisemmat. Sähkön hinta verrattuna polttoaineeseen on edullisempaa ja sähkömoottori vaatii huomattavasti vähemmän huoltoa, kuin ottomoottori.

5.3.2 Latausmahdollisuus

Täyssähköisten veneiden käyttöönotto edellyttää myös tehokkaiden latausasemien saatavuuden lisäämistä. Nykyiset veneinfrastruktuurit ovat suunniteltu pääasiassa polttomoottoreille, joten sähköisellä propulsiolla varustetuiden veneiden latausmahdollisuudet voivat olla rajalliset. Tämä luo haasteita veneilijöille, jotka haluavat siirtyä täyssähköisiin vaihtoehtoihin, erityisesti pidemmällä matkoilla. Lisääntyneet latausmahdollisuudet vesillä ovat välttämättömiä täyssähköisen propulsio laajamittaiselle hyödyntämiselle veneissä, ja tämän infrastruktuurin kehittäminen on keskeinen osa ekologisten propulsio vaihtoehtojen käyttöönottoa merenkulussa.

5.4 Mahdollisuudet ja markkinanäkymät

Tulevaisuudessa sähköisten tai sähköavusteiset liukuvat veneet tulevat kasvattamaan kysyntää, koska sähköinen vene on huomattavasti huoltovapaampi, kuin polttomoottorilla varustettu vene. Sähkö- ja hybridikäyttöisten autojen kysyntä kasvaa jatkuvasti, mikä luo uusia mahdollisuuksia veneiden puolella. Akut ja akkujen lataaminen kehittyy jatkuvasti, mikä tarjoaa innovaatioiden hyödyntämisen ajoneuvoista veneihin. Täyssähköinen tarjoaa kuluttajalle hiljaisempaa kulkua, kuin polttomoottoriversio, sekä nopeampaa kiihtyvyyttä nopean väännön ansiosta.

6 Johtopäätökset

6.1 Runkomallit ja materiaalit

V-pohjarakenne on yleisin malli, tarjoten tasapainon vakauden ja nopeuden välillä. Kantosiipirunko näyttää lupaavalta sähköveneiden suorituskyvyn kannalta vähäisen kitkansa vuoksi. Huolimatta kantosiipirungon teknologisista eduista, V-pohja säilyy todennäköisesti suosituimpana mallina kuluttajamarkkinoilla. Tämä johtuu sen monipuolisuudesta, valmistuksen yksinkertaisuudesta ja siitä, että se on hyvin soveltuva erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten huviveneilyyn, kalastukseen ja nopeampaan liikkumiseen.

Veneiden materiaalivalinnoissa lasikuitu ja lujitemuovi osoittautuivat yleisimmiksi keveyden, helpon muokattavuuden ja kustannustehokkuuden ansiosta. Alumiini on kestävä ja ympäristön vaatimuksiin sopiva, mutta kalliimpi vaihtoehto. Hiilikuitu tarjoaa erinomaisen suorituskyvyn, mutta sen korkeat valmistuskustannukset rajoittavat sen käyttöä.

6.2 Akut ja vene

Sähköistyminen veneilyn alalla on kehittymässä vahvasti, mutta kohtaa edelleen monia haasteita. Täyssähköisten veneiden kehitys nojaa vahvasti ajoneuvojen sähköistyksen teknologisiin innovaatioihin, erityisesti litiumioniakkujen kehitykseen. Erilaiset akkuteknologiat tarjoavat eri käyttötilanteisiin sopivia vaihtoehtoja, mutta jokaisella on omat rajoitteensa erityisesti energiatiheyden, lämpöstabiilisuuden ja turvallisuuden suhteen. Akkujen jäähtytys ja käyttöikä vaativat huomiota, erityisesti veneissä, joissa lämpöhallinta on haastavampaa kuin maalla.

6.3 Propulsio

Ekologinen propulsio veneilyssä tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia ympäristövaikutusten vähentämiseksi ja energiatehokkuuden parantamiseksi. Tällä hetkellä kehitetään erilaisia vaihtoehtoja, kuten täyssähköisiä moottoreita, hybridiratkaisuja ja vaihtoehtoisia polttoaineita. Kuitenkin veneiden korkeampi polttoaineen kulutus – jopa 12–18 kertaa suurempi kuin autoissa – on yksi suurimmista haasteista sähköistämiseksi. Lisäksi akkujen paino rajoittaa täyssähköisten veneiden käyttöä, erityisesti pienemmissä malleissa, sillä ne voivat merkittävästi lisätä veneen kokonaispainoa ja siten vastusta.

Ekologisten propulsiomallien korkea hinta on myös merkittävä haaste kuluttajille, erityisesti kun nykyiset veneet ovat usein korkealuokkaisia ja siten kalliita. Latausmahdollisuudet ovat toinen tärkeä este, sillä nykyinen veneinfrastruktuuri on pääasiassa suunniteltu polttomoottoreille. Tehokkaiden latausasemien lisääminen on välttämätöntä, jotta täyssähköisten veneiden käyttöönotto voidaan toteuttaa laajamittaisesti. Tämän infrastruktuurin kehittäminen on keskeinen askel ekologisten propulsio vaihtoehtojen toteuttamisessa merenkulussa.

7 Lähteet ja viitteet

- [1] Kanerva, T.; Venelehti *Moottoriveneiden runkomuodot: Runko on veneen selkäranka* 19.01.2019
- [2] Molland, A.; Turnock, S.; Hudson, D. *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*, Cambridge University Press, 2011.
- [3] Faltinsen, O. *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*, Cambridge, Cambridge University Press, 2006.
- [4] Steward, R.; Cramer, C. *Boatbuilding Manual 5th Edition*, McGraw Hill Professional, 2010.
- [5] Gerr, D. *The Elements of Boat Strength: For Builders, Designers, and Owners*, McGraw Hill Professional, 2000.
- [6] Trafin ajoneuvokannan tilastot. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot?toggle=K%C3%A4ytt%C3%B6voimat> (viitattu 20.4.2024).
- [7] Tudoroiu, N. *Battery Management Systems of Electric and Hybrid Electric Vehicles*, Basel, Switzerland MDPI - Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2021
- [8] Blum, A.; Long, R. *Fire hazard assessment of lithium ion battery energy storage systems*, New York, Springer, 2016.
- [9] Cicconi, P.; Landi, D.; Germani, M. *Thermal analysis and simulation of a Li-ion battery pack for a lightweight commercial EV*, Elsevier Ltd. 2017, p. 159-177.
- [10] Tarascon, J.-M.; Armand, M. *Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries*. London, 2001-11, Vol.414 (6861), p.359-367.
- [11] Scrosati, B.; Garche, J. *Lithium batteries: Status, prospects and future*, *Journal of power sources*, 2010-05, Vol.195 (9), p.2419-2430.
- [12] Thackeray, M. *Manganese oxides for lithium batteries*, *Progress in solid state chemistry*, 1997, Vol.25 (1), p.1-71.
- [13] Zaghbi, K.; Dontigny, M.; Guerfi, A.; Charest, P.; Rodrigues, I.; Mauger, A.; Julien, C.M. *Safe and fast-charging Li-ion battery with long shelf life for power*, *Journal of power sources applications*, 2011.
- [14] C. Arbizzani, F. De Giorgio, M. Mastragostino, A comparative study of equivalent circuit models for Li-ion batteries, *Journal of Power Sources*, 2012.
- [15] Torqeedo kotisivu. <https://www.torqeedo.fi/> (viitattu 5.3.2024)
- [16] Evoy kotisivu. <https://www.evoy.no> (viitattu 5.3.2024).
- [17] Henkilökohtainen lähde.

- [18] Vélez, C.; Montoya, A. *The dynamic electric boat charging problem*, Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2019.
- [19] Sjölund, J; Totalvene kokeilu *Volvo Penta Hybrid Electric Prototype – Yksi vaihtoehto tulevaisuuteen* 16.6.2023