

Kalastuksen vihreä siirtymä

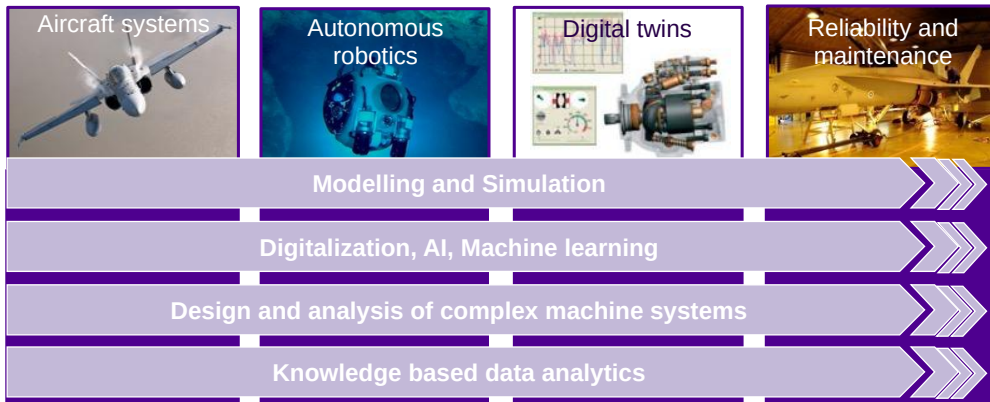
Hiilineutraalit polttoaineet ja voimalinjat kalastusaluksiin

Jussi Aaltonen
Kalle Hakonen
Tuomas Salomaa
Kari Koskinen

Mechatronics Research Group (MRG)

General information

- **Leader:** Prof. Kari Koskinen
- **Research manager:** Dr Jussi Aaltonen
- **Number of staff:** 20+ researchers
3 university teachers
- **Volume of research:** 240 pm / year
3 M€ / year
- **Laboratory facilities:** 500 m² (Tutka hall, Poliisikoulu katu 6)
- **Capabilities:** Prototyping – Real scale systems
Lab testing
Field testing – Relevant environment for extended periods of time



Research focus

Aircraft Systems

- Modelling, simulation, analysis and testing of aircraft systems
- RAMS engineering research for aircrafts
- Condition monitoring and systems integrity management research
- Digital twins

Autonomous Systems (All elements and more – UGV/UAV/USV/AUV)

- Vehicle fundamentals and mechatronics research
 - Flight mechanics and dynamics
 - Hydrodynamics
 - Propulsion system
 - Power systems
- Control and communications systems
- Collaborative autonomous robot systems (AUV-USV-UAV)

Marine vessels and Off-highway vehicles

- Vehicle fundamentals
- Power systems
- Hydraulics
- Control systems
- Digital twins
- Condition monitoring and systems integrity management research

**“Scientists study the world as it exists
—
Engineers create the world that never has been.”**

Dr Theodore von Kármán

Johdanto



- Suomessa on laadittu toimialakohtaiset vähähiilisyystiekartat, jotka auttavat eri toimialoja saavuttamaan hiilineutraaliuden vuoteen 2035 mennessä.
- Ammattikalastuksen hiilineutraaliustavoitteet ovat osa tätä tavoitetta.
- Hiilineutraaliuden saavuttaminen vaatii merkittäviä muutoksia kalastusalalla,
 - Siirtymistä vähäpäästöisiin aluksiin
 - Energiatehokkuuden parantamista
- Merenkulun osuus maailmanlaajuisista hiilidioksidipäästöistä on merkittävä, noin 3 %
- Troolikalastuksen polttoaineen kulutuksesta syntyvät vuotuiset hiilidioksidipäästöt ovat noin 207 miljoonaa tonnia.
 - Polttoaineenkulutuksesta aiheutuvia päästöjä suurempi hiilidioksidipäästöjen lähde on pohjatroolauksen häiritsemästä sedimentistä vapautuva hiilidioksidi, jota vapautuu vuotuisesti noin 370 miljoonaa tonnia.

Kalastusalukset Suomessa



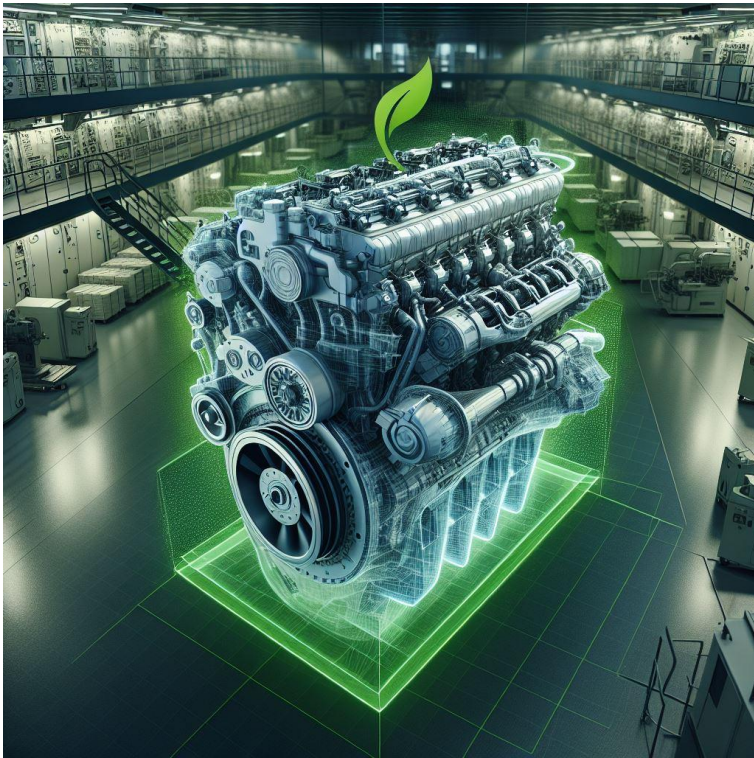
- Suomessa oli kalastusalusrekisterissä vuonna 2023 3228 alusta, joista aktiivikäytössä oli 1148 alusta.
- Valtaosa aluksista on alle 12 m pituisia. Suuria 24 m pituisia aluksia rekisterissä on 19 kappaletta, joista aktiivisia on 15 alusta.
- Laivasto on erittäin ikääntynyttä, alusten keski-ikä on 42 vuotta.
- Pääosa kalastusyrityksistä toimii merellä.
- Tarkastelu rajoittuu seuraaviin alustyyppeihin:
 - Silakkatrootari
 - Vesilinjapituus +30 m avomerellä ja +20 m rannikolla
 - 1000 – 2000 kW
 - Sisävesitrootari muikun kalastukseen
 - Vesilinjapituus max. 12 m
 - 120 – 300 kW
 - Sisävesi ja rannikkokalastuksessa käytettävä perämoottorialus
 - Vesilinjapituus 6 – 8 m
 - 25 – 50 kW

Vaihtoehtoiset polttoaineet merenkulussa



- Nesteytetty maakaasu (LNG) on vähäpäästöisin saatavilla oleva fossiilinen polttoaine.
- Bio-pohjaisia polttoaineita on nykyään rajoitetusti saatavilla meriliikenteen käyttöön.
- LNG-käyttöiset laivat voivat käyttää polttoaineenaan myös nesteytettyä biometaania (LBG).
- Maasähköä on tarjolla vain muutamissa Suomen satamissa.
- Vaihtoehtoiset hiilineutraalit energianlähteet voidaan jaotella vihreään energiaan (tuuli- ja aurinkoenergia, biomassapohjainen energia), ydinenergiaan, uusiutuvilla energian lähteillä tuotettuun vetyyn ja synteettisiin polttoaineisiin.
- Hiilineutraalit polttoaineet voidaan jaotella bio- ja synteettisiin polttoaineisiin.
- Sähköä voidaan hyödyntää akkujen avulla ja satamassa ollessa maasähköliitynnästä sekä hybridiratkaisuna esimerkiksi polttokennon yhteydessä.

Diesel- ja ottomoottorien vaihtoehtoiset polttoaineet



- Dieselmootoreissa käytettävät polttoaineet voidaan jakaa perinteisiin ja vaihtoehtoihin polttoaineisiin. Perinteisiä polttoaineita ovat raskas polttoöljy (HFO), kevyt polttoöljy (MGO) ja meridieselöljy (MDO). Vaihtoehtoihin polttoaineisiin lukeutuvat biodiesel, metaanipolttoainekaasut, eDiesel, ammoniakki, dimetyylieetteri, vety ja metanoli.
- Ottomoottoreissa voidaan käyttää bensiinin ja etanolin seoksia, kuten 98E5 polttoainetta. Muita vaihtoehtoisia polttoaineita ovat metanoli, etanoli, eFuel, metaanipohjaiset polttoainekaasut ja vety.

Sähköiset ratkaisut



- Polttokennot, hybridivoimalinjat ja akut ovat keskeisiä sähköisiä ratkaisuja.
 - Polttokennot muuntavat kemiallisen energian suoraan sähköenergiaksi.
 - Hybridivoimalinjat voivat olla sarja- tai rinnakkaishybridejä.
 - Akkuteknologia on kehittynyt merkittävästi, mutta merenkulun akkusovelluksissa on haasteita järjestelmätason vaatimusten vuoksi.

Muut energiaratkaisut



- Siipipurjeet ja Flettner-roottorit ovat tuulivoimateknologioita, jotka hyödyntävät tuulen energiaa.
- Tuulisähköä tuottavat tuuliturbiinit ovat myös mahdollisia, mutta niiden koko on haasteellinen kalastusaluksille.
- Aurinkovoima ja ydinvoima ovat muita mahdollisia energiaratkaisuja.
 - Aurinkosähköjärjestelmien hyötysuhde on alhainen Suomen leveysasteilla.
- Pienydinreaktorit (SMR) voivat tuottaa lämpöä ja sähköä, mutta niiden käyttöönotto laivassa on haasteellista.

Energiatehokkuuden Parantaminen

- Operatiivisen toiminnan kehittäminen
 - Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP): Parhaiden käytäntöjen ja suorituskyvyn seuranta.
 - Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI): Työkalu operatiivisen energiatehokkuuden mittaamiseen.
- Datalähtöinen suunnittelu: Käyttää historiatietoa ja ulkoisia datalähteitä, kuten säätietoja, polttoainesäästöjen optimoimiseksi.
- Tekniset toimenpiteet
 - Rungon ilmavoitelu: Vähentää kitkaa ja polttoaineenkulutusta jopa 15 %.
 - Tuuliavusteinen propulsio: Hyödyntää purjeita tai leijoja, vähentäen polttoaineenkulutusta jopa 15–20 % suotuisissa olosuhteissa.
 - Lämmön talteenotto: Kerää ja hyödyntää moottoreiden tuottamaa lämpöä, säästäen polttoainetta jopa 15 %.
 - Moottorin hukkalämmön hyödyntäminen jäähdytykseen: Käyttää absorptiolämpöpumppuja.
 - Rungon ja potkurin optimointi: Parantaa hyötysuhdetta ja vähentää polttoaineenkulutusta jopa 20 %.
- Jälkiasennettavat ratkaisut
 - Vetyruiskutus: Parantaa polttoainetehokkuutta ja vähentää päästöjä.
 - Vesiruiskutus: Lisää ilman tiheyttä ja vähentää typen oksidien muodostumista.
 - Vesi-metanoliruiskutus: Tarjoaa jäähdytystä ja lisää tehoa.

Hiilineutraalien polttoaineiden jakelu- ja tuotanto



- Hiilineutraalien polttoaineiden jakelu- ja tuotantoinfrastruktuuri on vielä kehittymätön.
 - Tuotantokapasiteetti on riittämätön laajempaan siirtymiseen.
 - Polttoaineiden hinnat ovat korkeampia kuin fossiilisten polttoaineiden hinnat.
- Vetytalouden kehityksellä on keskeinen merkitys päästöjen alentamisessa.
 - Vetyä voidaan käyttää polttoaineena polttomoottoreissa ja polttokennoissa.
 - Vety on synteettisten hiilineutraalien polttoaineiden raaka-aine
 - Vedyn tuotanto, varastointi ja jakelu vaativat merkittäviä investointeja.
- Liikennevälineiden hiilineutraalius tarkoittaa käytön välittömästi tuottamaa hiilidioksidipäästöä.
- Synteettisten polttoaineiden tuotannossa syntyy päästöjä, ja biopolttoaineiden valmistus tuottaa myös hiilidioksidipäästöjä.

Kehityspolut raskaassa merenkulussa



- Raskaan merenkulun kehityspolut sisältävät LNG-, vety-, ammoniakki-, metanoli-, biodiesel- ja täyssähköiset kehityspolut.
 - Näiden polttoaineiden käyttö vaatii polttoainesäiliöiden koon kasvattamista ja moottorien ominaistehon laskua.
- Laivojen hiilidioksidin talteenottojärjestelmät (OCCS) keräävät hiilidioksidia suoraan laivan pakokaasuista.
 - Talteen otettu CO₂ nesteytetään ja varastoidaan laivalla, kunnes se voidaan purkaa satamassa jatkokäsittelyä varten.
 - Ei ota talteen kaikkea hiilidioksidia

Tekninen vertailu

- Polttoaineiden ja energianlähteiden vertailu toteutettiin pisteyttämällä niiden ominaisuudet perinteisiin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna.
- Vertailussa huomioitiin voimalinjan saatavuus, koko ilman polttoainesäiliötä, toimintasäde muuttamatta polttoainesäiliön kokoa, jakelu- ja varastointi-infrastruktuuri sekä tekninen soveltuvuus erikokoisiin aluksiin.
- Pisteytys tehtiin puhtaasti teknisin perustein nykytilanteen ja lähitulevaisuuden perusteella.

		Ratkaisun pisteytys		
		Perämoottorialus	Sisävesitroolari	Avomeritroolari
Dieselmoottori	Dieselpolttoaineet		24	24
	Biodieselpolttoaineet		23	23
	Bio- ja eMetaani		20	20
	eDiesel		23	23
	Bio- ja eMetanoli		20	20
	eAmmoniakki			11
	Dimetyylieetteri		14	14
	Etanolidiesel		19	19
	Vety		16	16
Ottomoottori	Bensiini E10/E5	24		
	Bio- ja eMetanoli	20		
	Etanoli E85	18		
	eFuel	22		
	Bio- ja eMetaani	19		
	Vety	16		
Hybridi	Sähkö+polttomoottori		21	21
Täyssähkö	Akku	18		
Polttokenno	Vety	16	16	16

Kustannusvertailu

- Hiilineutraaleiden voimalinjojen hankintakustannukset ovat lähes poikkeuksetta suurempia kuin perinteisten.
- Ainoan poikkeuksen tekee suoraan korvaavien hiilineutraaleiden polttoaineiden käyttö fossiilisille polttoaineille tehdyssä voimalinjassa.
- Polttoainekustannusta suhteessa perinteiseen ratkaisuun arvioitiin lisääntyneen polttoaineen kulutuksen ja polttoaineiden hinnan suhteen mukaan.
- Vertailu osoitti, että merikäytössä kaikki vaihtoehtoiset polttoaineet ovat varsin epätaloudellisia ratkaisuja.
- Sisävesillä tilanne on erilainen, ja biometaanin on sekä diesel- että ottomoottorin tapauksessa halvempi polttoaine kuin perinteiset polttoaineet.

		Polttoaineen kulutuskerroin	Polttoaineen hintakerroin	Polttoainekustannusten nousu
Dieselmoottori (meri)				
	MGO	1,00	1,00	1,00
	Biodiesel	1,17	1,87	2,19
	Biometaanin	0,86	1,85	1,60
	eDiesel	1,00	1,21	1,22
	Bio- ja eMetanoli	2,19	1,31	2,87
	Ammoniakki	1,92	0,83	1,59
	Dimetyylieetteri	1,54	1,39	2,15
	Vety	0,36	9,71	3,50
Dieselmoottori (sisävesi)				
	Kevyt polttoöljy	1,00	1,00	1,00
	Biodiesel	1,17	1,17	1,37
	BioMetaanin	0,86	0,92	0,79
	eDiesel	1,00	1,10	1,11
	Vety	0,36	5,42	1,95
Ottomoottori				
	Bensiini E10/E5	1,00	1,00	1,00
	Etanoli E85	1,24	1,14	1,41
	eFuel	1,26	2,50	3,16
	Biometaanin	0,82	1,28	1,05
	Vety	0,34	12,72	4,33
Polttokenno				
	Vety	0,34	9,71	3,28
Verrattuna MGO	Metaanin	0,81	1,85	1,50
	Ammoniakki	1,80	0,83	1,49
Verrattuna kevyt p.ö.	Vety	0,34	5,42	1,83
Verrattuna E95	Vety	0,34	12,72	4,33
Täyssähkö				
	Akku	0,57	0,37	0,21

Ehdotus kehityspoluiksi kalastusaluksissa



- Kolme tarkasteltua alusluokkaa (perämoottorialukset, sisävesitroolarit ja avomeritroolarit) ovat kukin oma erillinen ongelmakenttänsä kehityksessä kohti hiilineutraaliutta.
- Alusten koko, niissä käytetty tekniikka, niiden käyttöympäristö ja käyttötapa ovat erilaisia. Tämän vuoksi täysin yhtenäistä kehityspolkua kalastusaluksille ei ole mahdollista esittää.
- Kehityspoluille voidaan nimetä kaksi päälinjaa: operatiivinen suunnittelu ja alusten tekniikka.
- Operatiivisen toiminnan ohjauksen kehittäminen datalähtöiseksi ja moderneja AI-metodeja hyödyntäväksi on verrattain halpa ja helppo tapa parantaa energiatehokkuutta.
 - Tämä ei riipu alusten tai voimanlähteiden teknologioiden kehityksestä, joten se on sovellettavissa kaikkiin kalastusalusluokkiin.

Ehdotus kehityspoluksi kalastusaluksissa

Meritroolareiden kehitys

- Kehityspolun ydin on uuden tyyppisen hybriditroolarin kehitys.
 - Modulaarinen rakenne
 - Täyssähköinen voimalinja
 - Hiilineutraalit tehonlähteet
 - Tehonkäytön älykäs
 - Sähköiset aputehonlähteet
 - Tehon tuotannon hajauttaminen
 - Maasähkö
 - Laivatekniset energiatehokkuuden parantamiskeinot
- Polttoainekehityspolut
 - Vety
 - Metanoli
 - Metaani

Sisävesitroolareiden kehitys

- Voimalinjan kehityksessä kannattaa keskittyä biometaaniin.
 - Biometaanin käyttöön siirtyminen ei sisällä merkittäviä riskejä
 - Biometaanin käyttö tuo välittömiä käyttökustannussäästöjä.
 - Nykyiset alukset voidaan muuttaa biometaanikäyttöisiksi jälkiasennuksena.
- Tehokkain tapa kerätä kokemuksia biometaanin käytöstä on toteuttaa yhden tai kahden aluksen pilottiprojekti
- Alusten muun tekniikan kehitystyössä kannattaa edetä luonnollisen kehityksen kautta uusien alusten hankinnan yhteydessä.
- Uusien alusten yhteydessä kannattaa myös tutkia hybridivoimalinjojen mahdollisuudet.

Ehdotus kehityspoluksi kalastusaluksissa

Pienten perämootorialusten kehitys

- Sähköperämoottoreita on ollut saatavilla jo pitkään, ja niiden saatavuus paranee jatkuvasti.
 - Suurempien 25–50 kW moottorien saatavuus on rajoitettua, mutta niitä on markkinoilla.
 - Sähköperämoottorien akkujen paino ja koko rajoittavat niiden käyttöä (4 h toiminta-aika yli 1000 kg akkuja)
 - Sähköperämoottorin hinta on 4–6 kertainen verrattuna nelitahtiperämoottoriin ja akkujen hinta n. 110 €/kWh.
- Metaanin hyödyntäminen polttoaineena on toinen potentiaalinen kehityspolku.
 - Metaanikonversioita on tehty, mutta valmiita muutossarjoja ei ole markkinoilla.
 - Metaanitankit vievät veneestä enemmän tilaa kuin bensiinisäiliöt
- Vedyn hyödyntäminen on myös potentiaalinen kehityspolku.



Johtopäätelmät

- **Monipuolinen lähestymistapa:** Hiilineutraaliuden saavuttaminen edellyttää useiden eri teknologioiden ja polttoaineiden yhdistämistä.
- **Teknologian kypsyys ja infrastruktuuri:** Useat vaihtoehtoiset polttoaineet ja teknologiat ovat vielä kehitysvaiheessa ja vaativat merkittäviä investointeja.
- **Taloudelliset haasteet:** Hiilineutraalien polttoaineiden ja teknologioiden kustannukset ovat korkeammat kuin perinteisten fossiilisten polttoaineiden.
- **Energiatehokkuuden parantaminen:** Keskeinen osa hiilineutraaliuden saavuttamista, saavutettavissa operatiivisen toiminnan ja teknisten parannusten avulla.
- **Pilotit ja kokeilut:** Arvokasta tietoa eri teknologioiden ja polttoaineiden toimivuudesta käytännössä.
- **Vetytalous:** Keskeisessä asemassa tulevaisuuden hiilineutraalissa merenkulussa.
- **Kehityspolut:** Erilaisia kehityspolkuja kalastusaluksille, huomioiden alusten koko, käyttöympäristö ja käytötapa.
- **Yhteistyö ja säännöstely:** Kansainvälinen yhteistyö ja yhtenäiset säännökset välttämättömiä.
- **Koulutus ja tietoisuuden lisääminen:** Miehistön koulutus ja tietoisuuden lisääminen energiatehokkuuden ja hiilineutraaliuden merkityksestä.