

Harri Aaltonen*, Udayanto Dwi Atmojo ja Valeriy Vyatkin

Ilmastoinnin hyödyntäminen kysyntäjoustona risteilijäaluksilla

Abstrakti:

Risteilymatkailu on kasvanut maailmanlaajuisesti. Samalla kansainvälinen merenkulkujärjestö pyrkii merenkulkuun liittyvien kasvihuonepäästöjen vähentämiseen. Laivoilla moottoreita käynnistetään tuottamaan tarvittu määrä energiaa. Liian alhaista energian tuotantoa suhteessa kulutukseen voidaan tarvittaessa kompensoida myös kysyntäjouston avulla. Propulsion jälkeen laivalla suurin energiankulutus syntyy ilmastoinnista. Ilmastoinnilla on osoitettu olevan potentiaalia toimia kysyntäjoustossa johtuen kuorman helposta ohjattavuudesta ja ilmastointijärjestelmän dynamiikan hitaudesta. Tässä artikkelissa käsitellään keskeneräistä tutkimusta ilmastoinnin käyttämisestä kysyntäjoustossa laivoilla ja siihen liittyviä haasteita. Tutkimusmenetelmänä käytetään APROS-simulointimallia laivan ilmastointijärjestelmästä ja vahvistusoppimista.

Asiasanat: Ilmastointi, Kysyntäjousto, vahvistusoppiminen

***Harri Aaltonen:** Aalto-yliopisto, E-mail: harri.aaltonen@aalto.fi

Udayanto Dwi Atmojo: Aalto-yliopisto, E-mail: udayanto.atmojo@aalto.fi

Valeriy Vyatkin: Aalto-yliopisto & Luulajan teknillinen yliopisto, Email: valeriy.vyatkin@aalto.fi

1 Johdanto

Kansainvälinen merenkulkujärjestö pyrkii seuravan 25 vuoden aikana saamaan meriliikenteen hiilineutraaliksi. Laivojen elinkaari on noin 25–30 vuotta, minkä vuoksi energiankäytön optimointi koskee myös nykyisiä aluksia. Energiantuotannon ja kulutuksen tulee olla yhtä suurta jokaisena ajanhetkenä. Maissa liian alhaista energian tuotantoa suhteessa kulutukseen voidaan kompensoida ostamalla sähköä naapurimaista. Tällainen markkinaehtoinen lisäkapasiteetti ei kuitenkaan ole mahdollinen laivoilla. Kulutusjouston käyttö lisää energiajärjestelmän joustavuutta.

Laivoilla energia tuotetaan keskitetysti. Risteilyaluksilla yleisin tapa on tuottaa sähköä diesel-, maakaasu- tai hybridi moottorien avulla [1]. Aluksen sähkönkäyttö on optimaalista silloin, kun energiankulutus vastaa moottorien optimaalisella käyntialueella tuottamaa määrää [2]. Laivojen energiaoptimointi on liiketoimintapäätös, jolloin optimaalinen nopeus energiankulutuksen näkökulmasta [1] ei aina ole liiketoiminnan kannalta optimoitua [3]. Samalla tavalla risteilijäaluksilla kulutusjouston käyttäminen on aina liiketoimintapäätös, jossa halutaan löytää optimaalinen tila kahden, usein ristiriitaisen, tavoitteen välillä. Yksinkertaisin kulutusjoustomenetelmä laivoilla on säätää laivan nopeutta [2]. Lähestyttäessä satamaa, laiva hidastaa vauhtiaan, jolloin energiantarve vähenee ja moottoreita voidaan sammuttaa. Samalla nopeuteen liittyvä kulutusjoustopotentiaali vähenee aikataulupaineen myötä. Tällöin kulutusjousto on mahdollista hakea risteilijäaluksilla hotellitoiminnoista. Hotellitoimintojen energiankulutuksesta merkittävä osa johtuu ilmastoinnista. Ilmastointi on potentiaalinen kysyntäjouston instrumentti risteilijäaluksilla, johtuen ilmastoinnin energiankulutuksen määrästä, ohjattavuudesta ja ilmastoinnin dynamiikan hitaudesta [4].

Ilmastoinnissa erityisesti kylmän tuottaminen vaatii paljon energiaa. Laivoissa kylmävesiasemat palvelevat keskitetysti koko laivan jäähdytystarvetta. Tällöin energian säästö jäähdytyksestä vaikuttaa koko laivaan. Ilmanvaihtoon liittyvien toimilaitteiden määrä mahdollistaa kulutusjouston aggregoimalla. Suuressa laivassa ilmanvaihtokoneita voi olla jopa sata ja yksittäinen hyttejä palveleva ilmanvaihtokone voi palvella noin sataa hyttiä. Ilmanvaihtokoneen ohella hytin ilmaa säädellään hyttiakohtaisilla puhallinkonvektoreilla.

Ilmastoinnin energiankulutuksen joustaessa alaspäin, ilmanlaatu heikkenee. Energiankulutuksen mukaan, ilmastointia voidaan tehostaa ennen tarvetta kulutusjoustolle, jotta kulutusjouston kestoa voidaan pidentää heikentämättä ilmanlaatua liikaa.

2 Tutkimusongelma

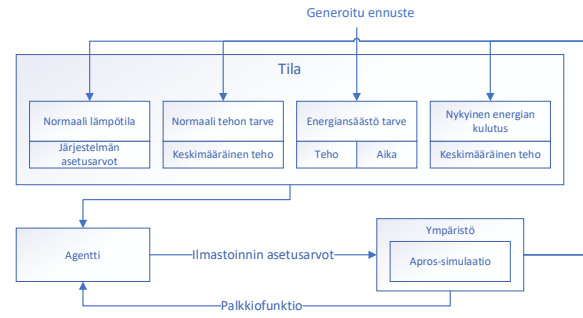
Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, millainen joustopotentiali ilmastoinnilla on risteilijäaluksilla tehon ja ajallisen keston näkökulmasta. Tutkimuksen tutkimuskysymys on: Miten ilmastointia kannattaa ohjata holistisesti kulutusjoustopotentialin aikana? Tutkimuksen haasteena on, että energian kulutus on riippuvaista muun muassa hytin ja ilmanvaihdon lämpötilojen asetusarvoista. Risteilijäaluksilla ilmastointi on pitkälle automatisoitu, jolloin yksittäisen asetusarvon muuttaminen ei usein ole riittävää kulutusjoustopotentialissa. Lisäksi, koska ilmastoinnissa hyödynnetään paljon poistoilman kierrätystä energiatehokkuuden lisäämiseksi, ei ilmastoinnin asetusarvojen muutokset ja niiden vaikutus energiankulutuksen määrään ja ilmanlaatuun ole intuitiivisesti ennustettavissa.

Tutkimuksen tavoitteena on vahvistusoppimista hyödyntäen luoda päätöksentekomalli, jossa riittävän tarkan ja validoidun simulointimallin avulla tekoälyä opetetaan tunnistamaan sellaiset ilmastoinnin asetusarvot, joiden avulla energian säästäminen on mahdollista ilman merkittäviä vaikutuksia ilmanlaatuun.

3 Menetelmät

Johtuen laivan ilmastoinnin kompleksisesta luonteesta, tutkimuksessa käytetään vahvistusoppimista. Vahvistusoppimisen on osoitettu olevan potentiaalinen ratkaisu kompleksissa ja epävarmuutta sisältävissä ympäristöissä.

Kuvassa 1 on ehdotus vahvistusoppimiseen tarvittavan järjestelmän yleiskuvasta. Opetettava agentti saa syötteenä yhden ilmastointikoneen viilennykseen ja lämmitykseen liittyvät lämpötilan asetusarvot sekä niiden hyttien lämpötilan asetusarvon, joita ilmastointikone palvelee. Lisäksi agentti saa tiedon ilmastoinnin vaatimasta keskimääräisestä tehonkulutuksesta, nykyisestä energiankulutuksesta sekä energiansäästöön liittyvän tarpeen tehonalenemalle ja kestolle. Näiden tietojen perusteella agentti opettelee tekemään päätökset hyttien ja ilmastointilaitteeseen liittyvistä lämpötilan asetusarvoista ja ilmastointikoneen puhaltimen kierrosluvusta.



Kuva 1: Järjestelmän yleiskuva

Ilmastointikoneen puhaltimella säädellään raittiin ilman määrää hytteissä. Hyttien oletetaan olevan vakioilmavirtajärjestelmiä, jolloin niihin ei yleensä aseteta CO_2 antureita. Tästä syystä myöskään opetettava agentti ei tätä tietoa saa.

Vahvistusoppimisen agentti toimii Apros- simulointi ympäristöstä saatavan datan pohjalta. Simulaatio validoidaan Metropolian ammattikorkeakoulun ilmanvaihtolaboratoriossa. Simulaation pohjalta agentin päätöksenteolle lasketaan palkkio, seuraavan palkkiofunktion mukaisesti (1)

$$P = C_1 \times \Delta E - C_2 \times \Delta I \quad (1)$$

Palkkiofunktiossa ΔE kuvastaa energiansäästö tarpeen ja hetkellisen energiankulutuksen erotusta, jota painotetaan painokertoimella C_1 . ΔI kuvastaa ilmanlaadun poikkeamaa ja on painotettu summa lämpötilan, ilmankosteuden ja CO_2 poikkeamista. Painokertoimien C_1 ja C_2 avulla kuvataan sitä, miten energiansäästö ja siitä syntyvä ilmanlaadun heikkeneminen on liiketoimintapäätös ja siten säädeltävissä oleva parametri.

4 Lähteet

- [1] Aarnio, Markus. Cruise Ship Handbook. Cham, Switzerland: Springer, 2022. Print.
- [2] A. Marashian et al., "Optimizing Cruise Ship Speed Incorporating Weather and Hotel Load Factors," 2024 European Control Conference (ECC), Stockholm, Sweden, 2024, pp. 1642-1647, doi: 10.23919/ECC64448.2024.10591006.
- [3] Shipping and the Environment: Improving Environmental Performance in Marine Transportation, edited by Karin Andersson, et al., Springer Berlin / Heidelberg, 2016. ProQuest Ebook Central
- [4] Karhula, N.; Sierla, S.; Ihasalo, H.; Ketomäki, J.; Huotari, M.; Vyatkin, V. Primary Frequency Control with an Air Handling Unit. Energies **2024**, *17*, 3777. <https://doi.org/10.3390/en17153777>