

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2023

Kasper Harnaala

P12-lohkovarusteluhallin energiatehokkuuden kehittäminen

– Meyer Turku Oy



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2023 | 26 sivua

Kasper Harmaala

P12-lohkovarusteluhallin energiatehokkuuden kehittäminen

- Meyer Turku Oy

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin ja arvioitiin Meyer Turun telakan P12-lohkovarusteluhallin energiatehokkuuden kehityskohteita. Tutkimuskohde on rakennettu jo vuonna 1994 ja sen takia kehityskohteita on useita.

Energiatehokkuutta tutkittiin enimmäkseen lämpöenergian kannalta. Rakennuksen lämpöhäviöiden laskenta on suoritettu pääosin Microsoft Excelissä Suomen rakentamismääräyskokoelman ja insinööriopintojen mukaan. Tulokset ovat teoreettisia, joten todellisuudessa lämpöhäviöt ovat hieman suurempia.

Hallin vuotuiseksi lämmitysenergiatarpeeksi saatiin noin 300 MWh, joka oli koko telakan kaukolämmön yli 400000 MWh:n vuosikulutukseen verrattuna vain pieni osa. Lohkojen siirtoa varten hallissa on suuret kangasnosto-ovet, jotka saavat aikaan huomattavat lisälämpöhäviöt.

Hallin keskeisimmiksi kehityskohteiksi nousivat muun muassa kangasnosto-ovet, ilmanvaihto ja eristys.

Asiasanat:

Energiatehokkuus, energiankulutus, lämpöhäviö, energiansäästö, kaukolämpö, ilmanvaihto, telakka

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and environmental engineering

2023 | 26 pages

Kasper Harmaala

Development of the energy efficiency of the P12-block outfitting hall

- Meyer Turku Oy

The subject of this thesis was to research and evaluate the energy efficiency of the P12-block outfitting hall at the Meyer Turku shipyard. The hall was built in 1994 and because of that, there is room for improvement.

Energy efficiency was studied mostly in terms of thermal energy. The calculation of the heat losses of the building was mainly executed with Microsoft Excel, according to the collection of Finnish building regulations, and engineering studies. The calculations were theoretical, so in reality the heat losses are slightly higher than the results.

The annual heating energy requirement of the hall was approximately 300 MWh, which is only a small portion compared to the annual consumption of the entire district heating energy consumption at the shipyard, which was more than 400000 MWh. In order to be able to move the blocks, the hall has large hauling doors, which cause significant additional heat losses.

The most important development targets of the hall were, the hauling doors, ventilation and insulation.

Keywords:

Energy efficiency, energy consumption, heat loss, energy saving, district heating, ventilation, shipyard

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	6
1 Johdanto	7
1.1 Meyer Turku Oy	7
1.2 Energiatehokkuus	8
1.3 Kaukolämpö	9
2 Tutkimusasetelma	10
2.1 Tutkimuskohde	10
2.2 Tutkimusmenetelmät	12
3 Energiatehokkuus P12-lohkovarusteluhallissa	13
3.1 Energiankulutus	13
3.1.1 Lämpöhäviöt ja lämmitysenergian tarve	14
3.2 Hallin energiatehokkuuden kehityskohteet	17
3.2.1 Kangasnosto-ovet	18
3.2.2 Eristys	19
3.2.3 Mittarointi	19
3.2.4 Ilmanvaihto	20
4 Laskennan tulokset	21
4.1 Rakennuksen lämmitysenergian tarve	21
4.2 Kangasnosto-ovien lämpöhäviöt	23
5 Yhteenveto	25
Lähteet	26

Kuvat

Kuva 1. Kioton kolmio (Lylykangas ym.; 2015).	8
Kuva 2. Turun telakan aluekartta (Meyer Turku Oy, 2022c).	10
Kuva 3. P12-lohkovarusteluhallin pääpiirustus (HT-Rakennuttajat Oy, 1994).	11
Kuva 4. Hallin koillissivu.	12
Kuva 5. Tuloilmakojeen 1 automaatiokaavio	13
Kuva 6. Hallitilan rakennusvaipan rakenteet.	15
Kuva 7. Lämpötilamittausten lämpökäyrät viikon aikajaksolta 2023 viikko 10.	18
Kuva 8. Telakan kaukolämmön energiamäärä vuonna 2022	22
Kuva 9. Painejakautuma ja neutraalitaso oviaukossa (Fenmer Oy n.d.).	23
Kuva 10. Oviaukon lämpöhäviö neliometriä kohden (Fenmer Oy n.d.).	24

Taulukot

Taulukko 1. Rakenteiden U-arvot ja pinta-alat.	21
Taulukko 2. Hallin vaipan lämpöteho (Φ) ja lämmitysenergiantarve (Q).	22

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

ΔT	Sisä- ja ulkoilman lämpötilaero, °C
A	Pinta-ala, m ²
d	Rakenteen paksuus, m
Q	Johtumislämpöhäviö, kWh
RakMk	Suomen rakentamismääräyskokoelma
t	Ajanjakson pituus, h
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
α	Lämmönsiirtokerroin vaakapinnoissa, W/(m ² K)
α_s	Lämmönsiirtokerroin sisäilmasta seinään, W/(m ² K)
α_u	Lämmönsiirtokerroin seinästä ulkoilmaan, W/(m ² K)
λ	Lämmönjohtavuus, W/(mK)
Φ	Lämpövirta eli lämpöteho, W

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Meyer Turun telakan P12-lohkovarusteluhallin lämpöenergiankulutusta ja arvioida kohteen mahdollisia energiatehokkuuden kehityskohteita. Energiatehokkuus on tärkeää sekä ympäristö- että kustannussyistä ja erityisesti suurten yritysten kohdalla sen tuomat hyödyt korostuvat. Myös vuoden 2022 maailmantilanteesta johtuva energian hintojen nousu lisää entisestään energiansäästön ajankohtaisuutta. Telakka-alue on mittava kokonaisuus ja energiaa kuluu paljon niin sähkön kuin lämmönkin muodossa muun muassa telakka-alueen rakennusten ja rakenteilla olevien laivojen lämmitykseen. Koko alueen energiatehokkuuden kehittäminen on kuitenkin iso konsepti ja sen takia aihe on rajattu käsittelemään lohkovarusteluhallia ja pääpaino kohdistuu lämpöhäviöiden minimoimiseen.

1.1 Meyer Turku Oy

Toimeksiantajana toimii Meyer Turku Oy, joka on yksi maailman johtavista laivanrakennusyriyksistä. Turun telakka on perustettu jo vuonna 1737 ja sinä aikana telakalla on valmistunut yli 1300 alusta. Nykyään Turun telakka on yksi kolmesta Meyer Groupin telakasta, joista muut sijaitsevat Saksassa, Meyer Werft Papenburgissa ja Neptun Werft Rostockissa. Turun telakka on myös merkittävä työllistäjä, yli 2000 oman työntekijän lisäksi telakka-alueella toimii yli 9000 työntekijää lukuisten eri verkostoyritysten kautta. (Meyer Turku Oy 2022a.)

Vastuullisuus ja ekologisuus ovat merkittävässä osassa Meyer Turun toiminnassa ja Turun telakan tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteeseen on monia työkaluja, kuten kiertotalous, hiilineutraalin laivakonseptin suunnittelu ja telakka-alueen energiatehokkuuden kehittäminen, johon myös tämä opinnäytetyö osaltaan pyrkii. (Meyer Turku Oy 2022b.)

1.2 Energiatehokkuus

Energiatehokkuus on yksi helpoimmista ja kustannustehokkaimmista tavoista laskea energiakustannuksia, hillitä ilmastonmuutosta ja parantaa yritysten kilpailukykyä. Energiatehokkuuden kehittämällä voidaan vähentää kasvihuonepäästöjä, minimoida riippuvuutta tuontienergiasta ja turvata energian saatavuutta myös tulevaisuudessa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022.)

Rakennusten energiatehokkuutta voi parantaa monella eri tavalla, mutta erityisesti Suomessa ja muissa pohjoismaissa lämmitystarpeen minimointi nousee kehityskohteista keskeisimmäksi. Kuvan 1 ”Kioton kolmio” on yksi esimerkki eri tavoista ja järjestyksestä, miten energiatehokkuutta voi lähteä kehittämään. (Lylykangas ym. 2015)



Kuva 1. Kioton kolmio (Lylykangas ym.; 2015).

1.3 Kaukolämpö

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto ja kuten monilla muillakin teollisuusalueilla, käytetään sitä myös Turun telakka-alueella. Kaukolämpö toimii tiivistettynä niin, että voimalaitoksissa tai lämpökeskuksissa lämmitetty kaukolämpövesi tai -höyry siirretään jakeluverkoston kautta kohteen lämmönjakokeskukseen, jossa lämpöenergia luovutetaan lämmönsiirtimen välityksellä kiinteistön toisiopiiriin. (Mäkelä ym.; 2015.)

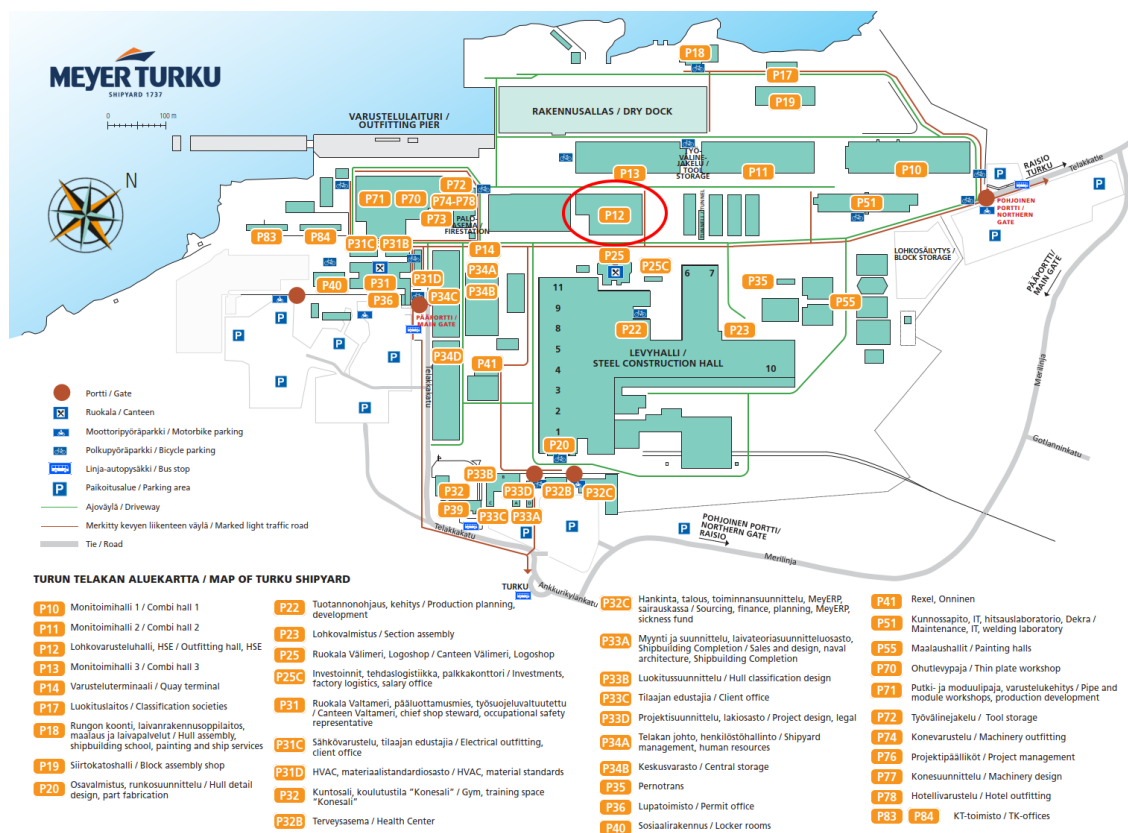
Telakka-alueella on yhteensä 26 lämmönjakohuonetta ja kaukolämmön kokonaiskulutuksen lisäksi vain osaa alueen rakennuksista mittaroidaan erikseen, mutta P12-halli ei ole yksi niistä. Energiatehokkuuslain mukaan kaikkiin kaukolämpöä käyttäviin rakennuksiin tulee asentaa etäluettava mittausjärjestelmä vuoden 2026 loppuun mennessä (Energiavirasto 2022).

2 Tutkimusasetelma

2.1 Tutkimuskohde

Lohkorakentaminen on keskeinen osa nykyaikaista laivanrakennusprosessia. Alukset kootaan esivalmistetuista runkokokonaisuuksista, joita kutsutaan lohkoiksi. Lohkovarusteluhallia käytetään nimensä mukaan laivan lohkojen varustelutyöhön ja se toimii samalla myös sääsuoja. Varustelu pitää sisällään muun muassa ilmanvaihtokanavien, eristysten, putkistojen ja kaapeliratojen asennukset. (Chakraborty 2019.)

P12-lohkovarusteluhalli on rakennettu kolmen pienemmän varusteluhallin tilalle vuonna 1994 ja se sijaitsee keskellä telakka-aluetta (Kuva 2). P12-hallin lisäksi telakka-alueella on myös kolme kappaletta suurlohkotalleja sekä katoksia ja pressuhalleja, joita käytetään vastaavasti varustelutyössä.

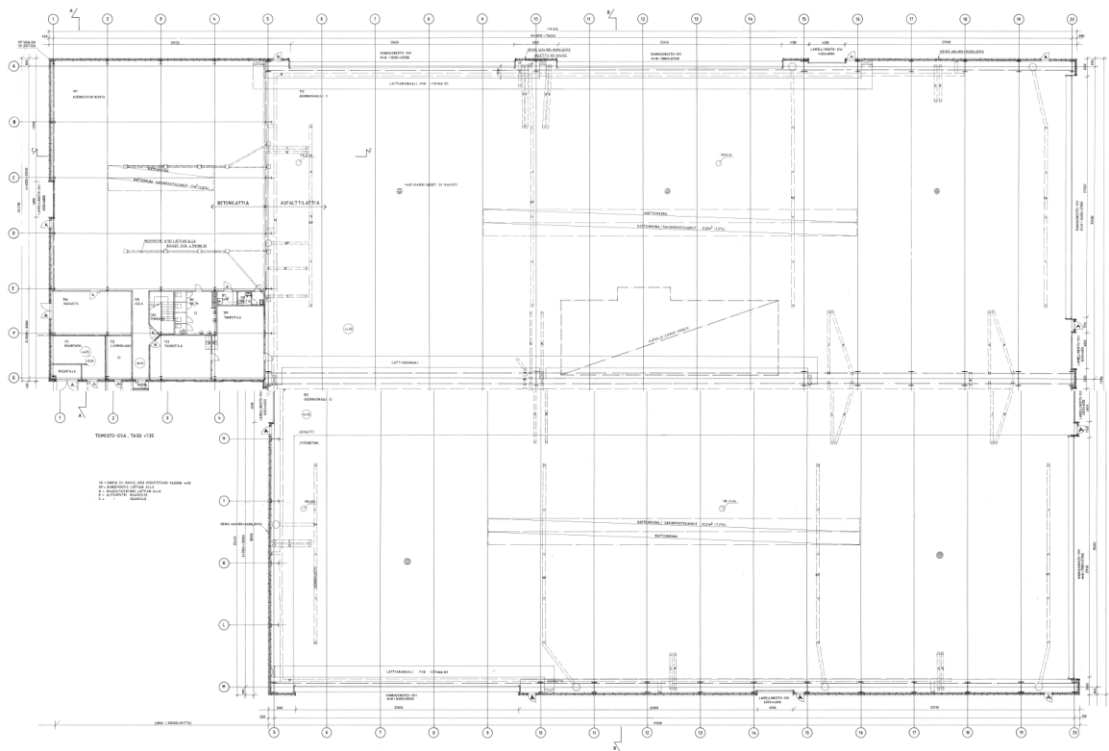


Kuva 2. Turun telakan aluekartta (Meyer Turku Oy, 2022c).

P12-lohkovarusteluhalliin kuuluu hallitilan lisäksi myös toimistotiloja, mutta työ on rajattu käsittelemään vain rakennuksen hallitilaa. Hallin ilmanvaihdon sisälämpötilan asetusarvo on 5°C, mutta talvisin lämpötila voi laskea alimmillaan lähemmäs nollaa. Pohjapiirroksissa hallitila on jaettu kolmeen osaan (Kuva 3).

- Asennustukikohta (101)
- Asennushalli I (102)
- Asennushalli II (103)

Tilan jakaminen helpotti myös rakennuksen rakenteiden pinta-alojen ja tilavuuksien laskentaa. Yhteensä lattiapinta-alaa on noin 6900m² ja hallin yhteenlaskettu ilmatilavuus on noin 149955m³.



Kuva 3. P12-lohkovarusteluhallin pääpiirustus (HT-Rakennuttajat Oy, 1994).

Hallissa on lohkojen siirtämistä varten viisi kappaletta isoja kangasnosto-ovia. Ovien yhteenlaskettu kokonaispinta-ala on 1787m² ja varsinkin kylmempinä vuodenaikoina, ovien ollessa auki ne aiheuttavat merkittävät lisälämpöhäviöt halliin. Kuten kuvasta 4 näkyy, yksi kangasnosto-ovi muodostaa suuren osan seinän pinta-alasta.



Kuva 4. Hallin koillissivu.

2.2 Tutkimusmenetelmät

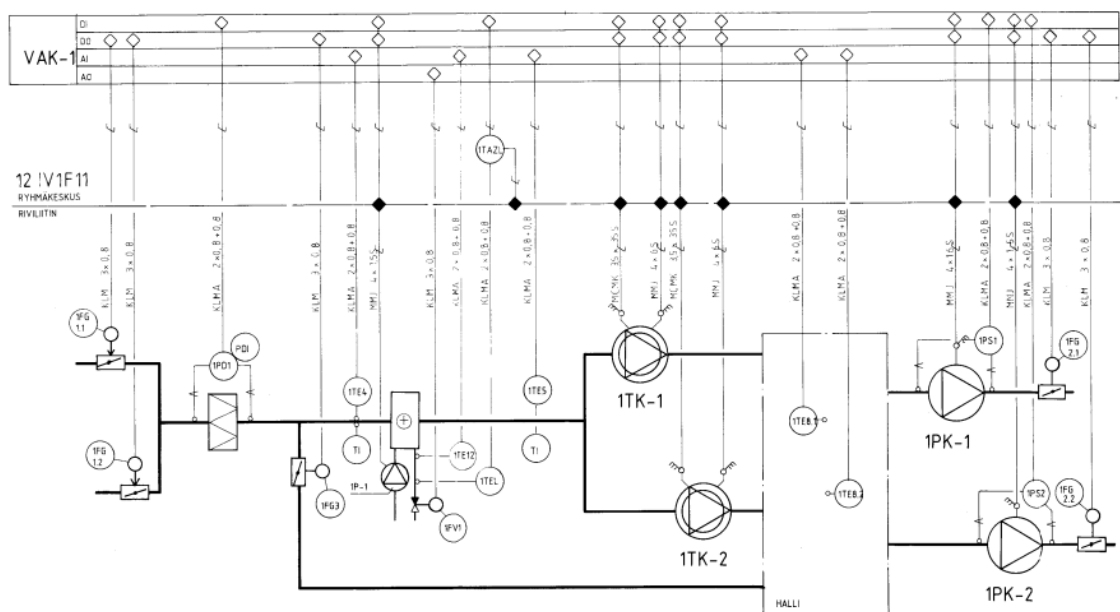
Opinnäytetyön tutkimusmenetelmät koostuvat kirjallisuuskatsauksesta ja laskennasta. Kirjallisuuskatsauksessa perehdytään hallin energiatehokkuuteen ja sen kehittämiseen teoriatasolla. Käytännön osuus puolestaan suoritetaan mittaustuloksiin pohjautuvilla laskennoilla, joilla selvitetään muun muassa lämpöhäviöitä ja lämpöenergiankulutusta.

Kaikki työssä hyödynnetyt rakennuksen piirustukset ovat alkuperäisiä eli vuodelta 1994. Kaikkia rakenteiden paksuuksia ja käytettyjen rakennusmateriaalien tuotetietoja ei selvinnyt piirustuksista, joten laskenta on toteutettu osittain sovelletuilla tiedoilla. Rakennepaksuudet on päätelty osittain piirustusten sekä mittausten perustella ja puuttuvien rakennemateriaalien lämmönjohtavuuksina on sovellettu yleisesti käytettyjen vastaavien tuotteiden tietoja.

3 Energiätehokkuus P12-lohkovarusteluhallissa

3.1 Energiankulutus

Hallitilan lämmitys on toteutettu kahdella tuloilmakojeella. Kussakin kojeessa on 1180kW tehoinen lämmityspatteri sekä kaksi kappaletta tuloilmapuhaltimia, joiden tuloilmavirta on 12m³/s (Kuva 5.) Hallin ilmanvaihto on aikanaan mitoitettu 15°C sisälämpötilalla.



Kuva 5. Tuloilmakojeen 1 automaatiokaavio

Kaukolämmön energiankulutusta ei mitata kohteessa, ja tämän takia selvitetään laskennallinen energiankulutus. Lisäksi pohditaan teoriatasolla, minkälaiset hyödyt mahdollisista kehityskohteista voidaan saada tai ovatko ne taloudellisesti kannattavia.

3.1.1 Lämpöhäviöt ja lämmitysenergiantarve

Hallin lämmitystehon ja lämmitysenergian tarve selvitetään Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMk) kappaleiden C4 ja D5 mukaan. Lämmitystehontarpeen laskentaa varten löytyy lukuisia eri ohjelmia, mutta tässä opinnäytetyössä laskenta on toteutettu pääosin Microsoft Excelissä kirjallisuudesta löytyvien kaavojen mukaan.

Aluksi piti selvittää laskuissa vaaditut lähtötiedot. Säätiiedot selvitetään Ilmatieteenlaitoksen kuukausitilastoista ja laskuissa käytetään Turun havaintoaseman vuosien 1991-2020 kuukausikohtaisia keskilämpötiloja. Sisätilojen lämpötilana käytettiin 5°C.

Kaikki laskennoissa käytetyt pinta-alat ja tilavuudet on laskettu piirustuksista saatujen mittojen perusteella kullekin rakenteelle ja tilalle erikseen.

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt ovat teoreettisia, koska kaikkia rakenteiden paksuuksia ja materiaaleja ei selvinnyt saatavilla olevista piirustuksista. Seinärakenteet on lueteltu seuraavalla sivulla (Kuva 6), jossa ympyröityjä rakenteita on käytetty laskuissa ja ympyröimättömät ovat toimistotilojen rakenteita.

Rakenteet

US 1

- betoni (sileä; ulkopinta)
- lämpöeristys
- betoni (telattu)

US 2

- **profilipelti** VTR 35, PVF 2
- **tuulensuojavilla** PV-PKL
- **lämpöeristetty** peltikasetti

US 3 (korkeuteen + 10.00) (huone 101 ylös asti)

- kuten US 2, peltikasetti rei'itetty ja varustettu höyrysulkumuovilla

US 4

- **kuten** US 2
- **puukoolaus**
- **lämpöeristys**
- **kipsilevy** EK
- **pintakäsittely**

VK 1

- vesieristys
- lämpöeristys
- höyrysulku
- rocktex äänenvaimennuskangas
- kantava profilipelti, uumassa äänenvaimennusrei'itys

VK 2

- vesieristys
- lämpöeristys
- höyrysulku
- kantava profilipelti

AP 1

- jyräbetoni
- suodatinkangas
- hyvin tiivistetty murske

AP 2

- betonilaatta
- suodatinkangas
- hyvin tiivistetty murske

AP 3 (taukotilat)

- lattiapinnoite
- betonilaatta
- lämpöeristys
- hyvin tiivistetty murske

AP 4

- **asfaltti**
- **hyvin tiivistetty** murske

Kuva 6. Hallitilan rakennusvaipan rakenteet.

Materiaalien lämmönjohtavuudet ovat lähtökohtaisesti RakMk:n kappaleesta C4. Rakenteiden lämmönläpäisykerroimet, eli U-arvot on laskettu tekniikan kaavaston "Lämpöoppi" kappaleen ohjeiden mukaan. Kaavaa 1 on käytetty, ovia ja ikkunoita lukuun ottamatta, kaikkien rakennusvaipan rakenteiden U-arvojen selvittämiseen.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \dots + \frac{1}{\alpha_u}} \quad (1)$$

jossa:

U	Lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
α _s	Lämmönsiirtokerroin sisäilmasta seinään, W/(m ² K)
α _u	Lämmönsiirtokerroin seinästä ulkoilmaan, W/(m ² K)
α	Lämmönsiirtokerroin vaakapinnoissa, W/(m ² K)
d	Rakenteen paksuus, m
λ	Lämmönjohtavuus, W/(mK)

Kun rakennekohtaiset U-arvot ja pinta-alat on saatu selville voidaan seuraavaksi laskea rakennusvaipan johtumislämpöteho kaavalla 2.

$$\Phi = U \times A \times \Delta T \quad (2)$$

jossa:

Φ	Lämpövirta eli lämpöteho, W
U	Lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
A	Pinta-ala, m ²
ΔT	Sisä- ja ulkoilman lämpötilaero, °C

Lopuksi vuotuinen johtumislämpöhäviöistä johtuva lämmitysenergiantarve voidaan selvittää kertomalla saadut kuukausikohtaiset koko vaipan lämpötehot vastaavilla tuntimäärillä ja laskemalla ne yhteen. Johtumislämpöhäviöt lasketaan kaavalla 3

$$Q = \Phi \times t \times 10^{-3} \quad (3)$$

jossa:

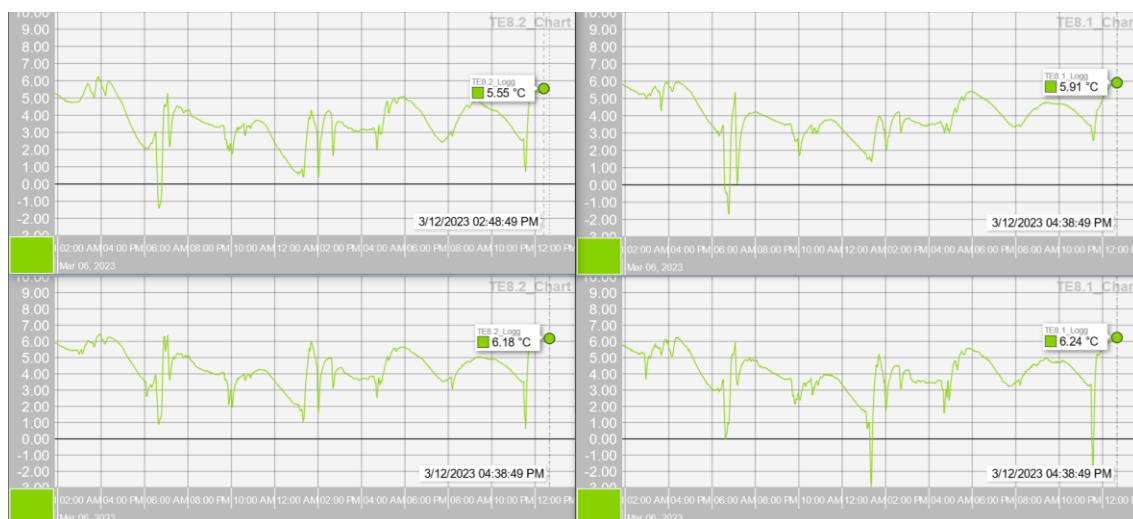
Q	Johtumislämpöhäviö, kWh
Φ	Lämpövirta eli lämpöteho, W
t	Ajanjakson pituus, h
10^{-3}	muunnoskerroin kilowattitunneiksi

3.2 Hallin energiatehokkuuden kehityskohteet

Energiatehokkuutta voidaan kehittää monella eri tavalla, mutta kaikki kehityskohteet eivät välttämättä ole kannattavia, kun suhteutetaan kehityskohteesta saadut hyödyt sen hintaan. Keskeisimmiksi kehitys-/ tutkimuskohteiksi nousivat hallin kangasnosto-ovet, eristys ja ilmanvaihto.

3.2.1 Kangasnosto-ovet

Hallin lämpötilakaavio havainnollistaa hyvin, milloin kangasnosto-ovet ovat olleet auki (Kuva 7).



Kuva 7. Lämpötilamittausten lämpökäyrät viikon aikajaksolta 2023 viikko 10.

Keskilämpötila laskee hallissa nopeimmillaan noin 4 astetta vain kahdessa tunnissa, mutta kuten lämpötilakuvaajista näkyy, lämpötila vastaavasti myös nousee nopeasti. Myös mittareiden sijoitus vaikuttaa osittain lämpötilakäyrien piikkeihin. Ottaen hallin tilavuus huomioon, sen uudelleen lämmittämiseen kuluu huomattava määrä energiaa, mutta samasta syystä sen jäähtyminenkään ei tapahdu hetkessä, kunhan ovet pyritään pitämään suljettuina.

Tällä hetkellä nosto-ovissa on vain käsiohjaus, mutta jonkinlainen ajoitettu tai liiketunnistimeen liitetty automatisointi on yksi mahdollinen ratkaisu aukiolon minimointiin. Automatisointia edullisempi ja yksinkertaisempi vaihtoehto on liittää oviin jonkinlainen hälytys, joka aktivoituu oven avautuessa ja häiritsee työntekoa niin, ettei ovia tule jätettyä turhaan auki.

Ovien aukiolon minimoinnin lisäksi ilmavirtaa voi myös häiritä. Ilma- ja liuskaverhot ovat yleisesti käytössä pienemmässä mittakaavassa teollisuus- ja liiketiloissa. Lohkovarusteluhallin kohdalla ongelmaksi muodostuu oviaukkojen suuri pinta-ala. Ilma- ja liuskaverhojen tulisi siis myös olla kooltaan hyvin suuria, mikä ei olisi kyseisessä mittakaavassa enää käytännöllistä.

3.2.2 Eristys

Eristyksellä on suuri merkitys rakennuksen lämpöhäviöihin ja vaikka kyseessä onkin puolilämmin tila, eristykseen kannattaa siitä huolimatta panostaa. Hallin kangasnosto-ovissa ei ole eristystä ja kun otetaan huomioon ovien osuus seinän pinta-alasta ja niistä aiheutuvat johtumislämpöhäviöt, lisäeristyksellä olisi mahdollista pienentää vuotuisia lämpöhäviöitä huomattavasti. Hallin muiden rakenteiden eritystä voi myös lisätä, mutta alhaisen sisälämpötilan takia sitä ei ole koettu kannattavaksi.

3.2.3 Mittarointi

Kuten johdannossa mainittiin, kaukolämmön mittaroinnin tulee olla etäluettavissa vuoden 2026 loppuun mennessä (Energiavirasto 2022). Mittaroinnin lisäämisestä on hyötyä myös käyttäjälle, sillä kattavien mittaritietojen ja valvonnan avulla voidaan havaita ja ennaltaehkäistä mahdollisia energiankulutuspiikkejä ja järjestelmän komponenttivikoja (Energy.gov.au 2022). Mittaroinnin lisääminen Meyerin Turun telakalla voi siis olla hyvä lisä energiatehokkuuden kehittämiseen edelleen.

3.2.4 Ilmanvaihto

Hallin ilmanvaihtojärjestelmä on alkuperäinen eli sitä ei ole päivitetty sitten vuoden 1994. Vaikka ilmanvaihtojärjestelmää olisikin huollettu säännöllisesti, niin 90-luvun IV-koneiden käyttöikä on arviolta 20-30 vuotta. Laitteiston uusiminen alkaa siis olla ajankohtaista, vaikka järjestelmää olisikin säädetty ja huollettu säännöllisesti. Laitteiston uusimisella saa leikattua myös energiakuluissa, koska IV-laitteiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet ovat kasvaneet merkittävästi vanhojen koneiden 30%:sta jopa yli 80%:iin. (Rakennusvalvonta 2013.)

Laitteiston päivittämisen lisäksi ilmanvaihdon voisi linkittää myös kangasnosto-ovien ohjaukseen siten että koneet kytkeytyvät pois päältä aina ovien avautuessa. Näin saadaan minimoitua ovien aiheuttamia lämpöhäviöitä entisestään.

4 Laskennan tulokset

4.1 Rakennuksen lämmitysenergian tarve

Rakennuksen lämmitysenergian tarvetta laskettaessa alapohjan lämmönläpäisykerroin vaikutti liian korkealta verrattuna RakMk:n kappaleessa C3 esitettyihin puolilämpimän tilan vertailuarvoihin. Alapohjien rakenteiden paksuus, materiaalit ja eristyksen puute kuitenkin selittävät normaalia korkeamman U-arvon, ja hallin matalan sisälämpötilan vuoksi se on todettu riittäväksi. Taulukossa 1 on lueteltu rakenteiden keskimääräiset lämmönläpäisykertoimet ja pinta-alat.

Taulukko 1. Rakenteiden U-arvot ja pinta-alat.

Rakenteet	U-arvo / W/(m ² K)	A / m ²
Seinät	0,71	5535
Yläpohja	0,21	6760
Alapohja	1,48	6900
Ikkunat	3,1	403
Ovet	2,5	1915

Lämpötehoa laskettaessa sisälämpötilan arvoksi asetettiin 5°C, koska hallin taloautomaation ilmanvaihto on säädetty pitämään sisälämpötila 0-5°C välillä. Taulukon 1 arvoilla ja Ilmatieteenlaitoksen kuukausitilastojen ulkolämpötiloilla saatiin kuukausikohtaiset lämpövirrat kunkin rakenteen läpi. Tuloksissa otettiin huomioon vain ulospäin suuntautuva lämpövirta, koska lämpimimpinä kuukausina lämmitykselle ei ole tarvetta lämpövirran suuntautuessa ulkoilmasta rakennukseen.

Koko vaipan kautta johtuva lämpövirta saadaan laskemalla rakennuksen osien lämpöhäviötehot yhteen, jonka jälkeen voidaan selvittää lämmitysenergian tarve kertomalla kuukausien lämpövirrat vastaavalla tuntimäärällä.

Taulukossa 2 on lueteltu saadut lämpötehot ja tarvittava lämmitysenergia.

Taulukko 2. Hallin vaipan lämpöteho (Φ) ja lämmitysenergiantarve (Q).

Kuukausi	Φ / kW	Q / kWh
Tammikuu	106,77	79435
Helmikuu	115,76	77791
Maaliskuu	79,56	59194
Huhtikuu	19,34	13926
Toukokuu	0	0
Kesäkuu	0	0
Heinäkuu	0	0
Elokuu	0	0
Syyskuu	0	0
Lokakuu	0,11	84
Marraskuu	34,04	24506
Joulukuu	73,42	54625
Koko vuoden lämmitysenergian tarve		309561

Koska laskennassa ei ole otettu tuulta huomioon, lämpötilat ovat keskiarvoja ja ovien U-arvot ovat arvioita, niin saatu tulos on todellisuudessa hieman suurempi.

Kaukolämmön mittausasemalta saadaan selville koko telakka-alueen vuotuinen lämpöenergian mittarilukema (Kuva 7). Kun suhteutetaan hallin vuoden lämmitysenergian tarvetta mittarilukemaan, voidaan havaita, että saatu tulos on vain pieni osa kokonaiskulutusta.

Edellinen vuosi 415887.0 MWh

Kuva 8. Telakan kaukolämmön energiamäärä vuonna 2022

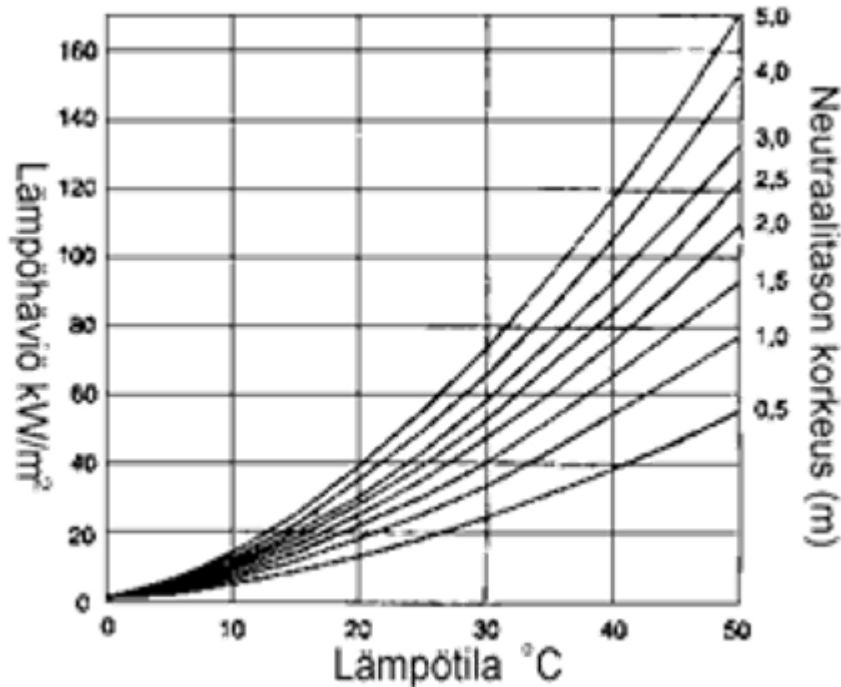
4.2 Kangasnosto-ovien lämpöhäviöt

Hallin sisätilan ja ulkoilman lämpötilaerot aiheuttavat tilojen välille myös paine-eron. Ovien ollessa auki paine-ero pyrkii tasoittumaan siten, että lämmin ilma virtaa ulos oviaukon yläreunasta ja vastavuoroisesti kylmä ilma virtaa sisään alhaalta. Virtausten väliin syntyy neutraalitaso, jossa virtausta ei tapahdu (Kuva 9). Neutraalitasoon korkeuteen vaikuttaa monia tekijöitä, kuten rakennuksen tiiviys, ilmanvaihto ja tuuli (Fenmer Oy n.d.)



Kuva 9. Painejakautuma ja neutraalitaso oviaukossa (Fenmer Oy n.d.).

Laskuissa on käytetty kuvan 10 arvoja, jotka on laskettu ilman tuulta ja oven kertavastusluvun ollessa 1,5.



Kuva 10. Oviaukon lämpöhäviö neliometriä kohden (Fenmer Oy n.d.).

Esimerkkilaskussa toinen hallin koillissivun 27 metriä leveistä ovista on avattu 10 metrin korkeuteen lohkon siirtoa varten ja oletetaan, että neutraalitaso on aukon keskellä. Ulkona on -15°C pakkasta ja hallin sisälämpötila on 5°C . Ovi on auki puoli tuntia. Kuviosta 1. saadaan lämpötilaeron ja neutraalitason avulla neliometrikohtaiseksi lämpöhäviöksi 40 kW/m^2 . Oviaukon kokonaislämpöhäviöksi saadaan $270\text{m}^2 \times 40 \text{ kW/m}^2 = 10\,800 \text{ kW} = 10,8 \text{ MW}$. Kun kerrotaan saatu tulos oven aukioloajalla, saadaan menetetty lämpöenergia eli $10,8 \text{ MW} \times 0,5 \text{ h} = 5,4 \text{ MWh}$. Täytyy silti huomioida, että saatu tulos pätee vain mikäli lämpötilaero pysyy samana. Kun sisälämpötila laskee, myös sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero ja ilmavirta pienenevät. Syntyneet lämpöhäviöt lievittyvät siis lämpötilaeron tasaantuessa.

5 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Meyer Turun telakan P12-lohkovarusteluhallin lämpöenergiankulutusta ja arvioida kohteen mahdollisia energiatehokkuuden kehityskohteita. Lohkovarusteluhalli on pieni mutta tärkeä osa koko telakan mittakaavassa, ja Meyer Turulla on myös monia muita eri kehityskohteita hiilineutraaliuden saavuttamiseksi.

Hallin energiatehokkuutta tarkasteltiin pääosin lämpöenergian näkökulmasta. Hallin johtumislämpöhäviöiden ja kangasnosto-ovista aiheutuvan hukkalämmön laskenta toteutettiin pääosin teoriatasolla. Todellisuudessa lämpöhäviöt ovat hieman suurempia, kun otetaan huomioon esimerkiksi hallin rakenteiden ikä ja tiiviys sekä vaihtelevat sääolosuhteet ja paine-erot. Tuloksia vertaillaessa kuitenkin konkretisoituu, kuinka paljon avoin ovi lisää hukkalämpöä varsinkin kylmempinä vuodenaikoina. Ovien aukiolon minimoinnilla ja ilmavirtauksen häirinnän avulla voitaisiin siis leikata hallin lämmityskuluja merkittävästi ja riippuen ratkaisutavasta, myös edullisesti.

Ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen ja eristyksen lisääminen ovat kalliimpia kehityskohteita, mutta yhtäläillä nekin maksaisivat itsensä takaisin ajan kanssa. Erityisesti ilmanvaihtolaitteistot ovat kehittyneet huomattavasti sitten vuoden 1994 ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet ovat jopa kaksinkertaistuneet.

Lohkovarusteluhallin matalan minimisisälämpötilan ja verrattain pienemmän tilavuuden takia se ei ole Meyer Turun kehityskohteista ensimmäisenä. Esimerkiksi telakan maalaushallien korkeamman sisälämpötilan ja ilmanvaihtuvuuden sekä levyhallin huomattavasti suuremman tilavuuden vuoksi niiden energiatehokkuuteen on panostettu enemmän. Kehityskohteita on valtavasti ja investointien koot vaihtelevat, joten on tärkeä selvittää energiatehokkuutta myös pienemmissä kohteissa.

Lähteet

Chakraborty, S. 2019. What Is Advanced Outfitting in Shipbuilding?. Viitattu 6.10.2022. <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/advanced-outfitting-in-shipbuilding/>

Energiavirasto. 2022. Lämpöenergian mittaus. Viitattu 10.10.2022. <https://energiavirasto.fi/lampoenergian-mittaus>

Energy.gov.au. 2022. Metering and monitoring. Viitattu 13.11.2022. <https://www.energy.gov.au/business/equipment-and-technology-guides/metering-and-monitoring>

Fenmer Oy. n.d. Avoimen oven energiankulutus. Viitattu 16.1.2023. <https://fenmer.com/suomi/havio.htm>

Lylykangas, K.; Andersson, A.; Kiuru, J.; Nieminen, J. & Päätaalo, J. 2015. Rakenteellinen energiatehokkuus. Viitattu 28.11.2022. https://termex.fi/wp-content/uploads/2018/05/RET_opas_20150917.pdf

Meyer Turku Oy 2022a. Turun telakka. Viitattu 29.9.2022. https://www.meyerturku.fi/fi/yritys/turun_telakka/index.jsp

Meyer Turku Oy 2022b. Vastuullisuus. Viitattu 29.9.2022. <https://www.meyerturku.fi/fi/vastuullisuus/index.jsp>

Meyer Turku Oy 2022c. Aluekartta. Viitattu 3.10.2022. https://www.meyerturku.fi/en/09_contact/meyer_turku_aluekartta_2022_v02_ioeh.pdf

Mäkelä, V. & Tuunanen, J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Viitattu 4.10.2022. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf>

Rakennusvalvonta. 2013. Ilmanvaihdon energiakorjaus. Viitattu 20.10.2022. <https://www.ouka.fi/documents/486338/20578333/10-Ilmanvaihto-2013.2.12-valmis.pdf/6d8035d4-8496-4fc1-90e4-9a48bd8c13d2>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2022. Energiatehokkuus. Viitattu 19.10.2022. <https://tem.fi/energiatehokkuus>