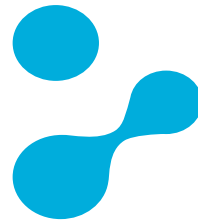




samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

MARIA OJANEN

Suunnitelma kappaleen lämmitys- ratkaisusta tuotantolinjastossa

SÄHKÖ JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN KOULUTUSOH-
JELMA
2022

Tekijä(t) Ojanen, Maria	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2022
	Sivumäärä 42	Julkaisun kieli suomi
Julkaisun nimi Suunnitelma kappaleen lämmitysratkaisusta tuotantolinjastossa		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
<p>Tämän opinnäytetyöt tarkoituksena oli suunnitella tuotantolinjastossa lämmitettävän kappaleen lämmitystapaa ja teknistä ratkaisua. Se toteutettiin Rejlers Finland Oy:n asiakkaalle. Työn tarve syntyi osana projektin esisuunnittelua.</p> <p>Tavoitteena oli suunnitella ja esittää tilaajayritykselle laskemisen avulla, millä tavalla kappaletta kannattaa lämmittää tuotantolinjastossa. Tämän tuloksen pohjalta valittiin paras tekninen ratkaisu karkealla valitsemistavalla. Työssä tuli myös vertailla vaihtoehtoja keskenään sopivimman löytämiseksi. Teknisistä ratkaisuista tuli olla lyhyt yleinen kuvaus. Yhteen lämmitystapaan parhaimmaksi soveltuvaan tekniikkaan perehdyttiin hieman tarkemmin.</p> <p>Työn alussa tutustuttiin tuotantolinjan toimintaan keskittyen kappaleen lämmitysprosessiin. Laskujen avulla löydettiin paras mahdollinen lämmitystapa. Tämän jälkeen määriteltiin tavoitteet ja rajattiin teknisten ratkaisujen toteutustapoja.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena löydettiin lämmitystapaan parhaiten soveltuva tekninen ratkaisu ja tämän suunnittelua vietiin eteenpäin.</p>		
<p><u>Asiasanat</u> lämpöoppi, esilämmitys, asiakaskappale, linjasto, mekaniikkasuunnittelu, sähkötekniikka</p>		

ALKUSANAT

Haluan kiittää Rejlers Finland Oy:tä tästä opinnäytetyön aiheesta sekä avusta mitä olen saanut sen tekemiseen. Haluan myös kiittää asiakasyritystä, joka mahdollisti työn tekemisen projektista. Kiitän myös koulua ja läheisiä tuesta työhön liittyen.

Author(s) Last name, First name Ojanen, Maria	Type of Publication Thesis AMK	Date April 2022
	Number of pages 42	Language of publication: Finnish
Title of publication Heating solution plan for object in production line		
Degree Program Electrical and Automation Engineering		
<p>The purpose of this thesis was to design the heating method and technical solution for the part to be heated in the production line. It was implemented for a customer of Rejlers Finland Oy. The need for the work arose as part of the pre-planning of the project.</p> <p>The aim was to design and present to the client company the most cost effective heating method by using calculations. Based on this result, the best technical solution was chosen using a rough selection method. The work also had to compare alternatives to find the most suitable one. There had to be a brief general description of the technical solutions. One of the best suitable techniques for heating was studied in a little more detail.</p> <p>At the beginning of the work, the operation of the production line was introduced, focusing on the heating process of the part. The calculations were used to find the best possible way to heat. This was followed by the definition of objectives and the implementation of technical solutions.</p> <p>As a result of the thesis, the best technical solution for the heating method was found and its design was taken forward.</p>		
<u>Key words</u> Thermodynamics, preheating, customer piece, production line, mechanical design, electrical engineering		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 TAUSTATIETOA.....	10
2.1 Tilaajayritys.....	10
2.2 Projekti	10
2.3 Tuotantolinjasto	11
2.4 Asiakaskappale.....	11
2.5 Tuotantolinjan toimintaprosessi	12
2.6 Sykli analyysi	14
2.7 SolidWorks.....	15
3 OPINNÄYTETYÖN AIHE	16
3.1 Vaatimukset.....	16
3.2 Tavoitteet.....	16
3.3 Opinnäytetyön rajaus	17
3.4 Asiakaskappaleen lämmittäminen nykytilanne.....	17
4 SKENAARIOT	17
5 LASKUT	19
5.1 Johdanto	19
5.2 Asiakkaan vaatimukset.....	20
5.3 Lähtötiedot	20
5.4 Skenaariolaskurit.....	21
5.4.1 Johdanto	21
5.4.2 Skenaario 1	22
5.5 Jäähtymisen vaikutus laskuri.....	29
5.5.1 Jäähtymisen vaikutus energian hintaan.....	30
5.6 Energian hinta laskuri	31
5.6.1 Laskut.....	32
5.7 Tulokset.....	33
6 TEKNISEN RATKAISUN SUUNNITTELU	33
6.1 Kaasu.....	34
6.2 Induktio, erilliset induktio levyt.....	35
6.3 Induktio, kappale induktiokäämin sisällä.....	35
6.4 Erillinen lämmityselementti sähkövastuksilla	35
6.5 Vastukset integroitu kappaleeseen	36
6.6 Öljy.....	36
6.7 Vaihtoehtojen vertailu.....	37

6.8 Valitun ratkaisun kuvaus.....	37
7 SUUNNITTELU	38
7.1 Esisuunnittelu.....	39
7.2 Työn eteneminen.....	40
7.3 Haasteet	41
8 YHTEENVETO JA TULOSTEN ARVIOINTI	41
LÄHTEET	43
LÄHTEET	

TERMIT

Asiakaskappale	Tuote, jota lämmitetään lämmitettävän kappaleen sisällä
Kelkka (Sled)	Tuotantolinjastossa kiertävä elementti, jonka sisällä on lämmitettävä kappale
Layout-suunnitelma	Tuotantolinjastosta esitetty suunnitelma
Positio	Positio linjastossa (H1, H2, Pre-Heat, MB, D)
Syklianalyysi	Suunnitelma layout suunnitelman toiminnasta
Skenaario	Yksi lämmitystapa mahdollisuus, näitä on yhteensä 7
Tuote	Toinen asiakaskappaleesta käytettävä termi

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään parhaan lämmitystavan löytämiseksi asiakaskappaleen lämmittämisessä tuotantolinjastossa. Parhaalla lämmitystavalla tarkoitetaan tässä sitä, että lämmitetäänkö kappaletta koko linjaston ajan, vai onko halvempaa lämmitellä sitä kerralla enemmän lämmityspisteillä. Lasketaan siis sähkön hinta jokaiselle lämmitysvaihtoehdolle.

Tarkoituksena on lämmitellä kappale tavoitelämpötilaan, jotta sen sisällä oleva asiakaskappale saavuttaa halutun lämpötilan tietyssä ajassa. Valitun lämmitystavan myötä päästään vertailemaan parasta teknistä ratkaisua. Opinnäytetyössä etsitään ja vertaillaan erilaisia teknisiä ratkaisuja lämmitykseen pääasiassa valitun lämmitystavan mukaan.

Valittuun tekniseen ratkaisuun päästään laskemalla ja suunnittelemalla. Prosessisuunnittelussa, jota opinnäytetyö sisältää, ovat apuna mekaniikkasuunnittelijat. Lämmitysmenetelmästä tehdään karkeaa sähkösuunnittelua ja kerrotaan, miten ratkaisu voitaisiin toteuttaa.

Teknisen ratkaisun suunnittelu aloitetaan tutustumalla tuotantolinjaston toimintaan ja siitä tehtyyn layout suunnitelmaan, josta käytetään opinnäytetyössä nimeä sykli analyysi. Tuotantolinjaston toiminnasta on esitetty seitsemän erilaista skenaariota, joilla kappaletta voidaan lämmitellä. Skenaariot sisältävät erilaisia vaihtoehtoja lämmityspisteiden määrästä sekä lämmitysajoista. Tutkimaan myös jäähtymisen vaikutus energian ja tehon tarpeeseen. Tätä kautta selvitetään laskemalla, onko kannattavaa lämmitellä kappaletta koko ajan sen kiertäessä tuotantolinjastossa vai monessa eri paikassa.

Kun ollaan laskettu karkea hinta energialle, valitaan tämän jälkeen, onko lämmitystapa mobiili vai ei-mobiili. Toisessa vaiheessa, listataan kaikki realistiset tekniset ratkaisut ja esitellään ne lyhyesti. Lopulta löydetään laskujen ja mekaniikkasuunnittelun avulla

tilaajayrityksen tarpeisiin sopiva lämmitysratkaisu, jota tilaaja todennäköisesti ryhtyy toteuttamaan.

Koska projekti on tilaajayrityksellä esisuunnittelu vaiheessa, toi se opinnäytetyön tekemiseen omat haasteensa esimerkiksi lähtötietojen määrässä. Ne olisivat tuoneet tarkempia tuloksia laskuille ja tätä kautta esimerkiksi energian todelliselle hinnalle. Näillä tiedoilla tarkoitetaan esimerkiksi sitä seikkaa, että lämmittämiseen tarvittavan energiamäärän ja tehon laskut suoritetaan käyttäen kappaleen mittoja, eikä huomioida asiakaskappaleen vaikutusta lämmittämiseen, joka on itse kappaleen sisällä. Tai esimerkiksi linjaston toiminnan suunnittelu oli vielä tässä kohtaa suunnittelua epäselvää, eikä tiedetty kuinka monta lämmitettävää kappaletta linjastossa on samanaikaisesti tai miten kappaleet tarkalleen ottaen linjastossa liikkuvat, eli mikä on syklin todellinen toiminta. Laskut toteutettiin mekaniikkasuunnittelijoilta saaduilla arvioilla. Käytin laskemisessa Excel-taulukoita ja kaikki kaavat esitetään opinnäytetyössä.

Opinnäytetyössä ei perehdytä tarkasti tuotantolinjaston laitteiden toimintaan ja mekaniinisiin yksityiskohtiin. Myös komponenttivalinnat, mahdollinen automaatio sekä tuotantolinjaston lopullinen layout-suunnitelma rajataan työn ulkopuolelle. Itse tuotantolinjaston karkea mekaniikkasuunnittelu on kuitenkin keskeisenä asiana pohdittaessa ratkaisujen soveltuvuutta kyseiseen lämmitystapaan.

Koska laskuissa käytettävän asiakaskappaletta lämmittävän kappaleen todelliset mitat eivät ole tarkkoja, eikä tekniset ratkaisun vaikutusta huomioida vielä energialaskuissa, ei voida päästä täysin todelliseen sähkön hintaan vuodessa. Tavoitteena olikin vain vertailla skenaarioita ja löytää taloudellisesti kannattavin tapa lämmittää kappaletta.

2 TAUSTATIIETOA

2.1 Tilaajayritys

Toimeksiantaja työlle on Rejlers Finland Oy. Suomen Rejlers on osa kansainvälistä Rejlers AB –yhtiötä, joka on yksi Pohjoismaiden ja Suomen johtavista insinööritoimistoista. Lisäksi Rejlers toimii myös Lähi-Idässä, Abu Dhabissa. Rejlers tarjoaa erilaisia insinööripalveluja teollisuuden, rakentamisen, energian ja infran asiakaskunnille. Rejlers osaa yhdistää ICT:n insinööriosaamiseen ja tarjoaa asiakkailleen myös digitaalisia palveluratkaisuja. (Rejlers Finland Oy:n www-sivut 2021).

Rejlers Finland Oy:n päätoimisto sijaitsee Mikkelissä. Yritys toimii yli 20:llä paikkakunnalla ja toimistot sijaitsevat Helsingissä, Vantaalla, Hyvinkäällä, Joensuussa, Hämeenlinnassa, Jyväskylässä, Kemissä, Kotkassa, Kuopiossa, Kouvolassa, Kurikassa, Lappeenrannassa, Lohjalla, Mikkelissä, Oulussa, Porissa, Porvoossa, Salossa, Savonlinnassa, Tampereella ja Turussa. Itse työskentelen tällä hetkellä Vantaan toimistolla. Suomessa Rejler-sillä työskentelee lähes 1000 henkilöä. Yritys on toiminut Suomenna 40 vuotta. (Rejlers Finland Oy:n www-sivut 2021).

Koko Rejlers-konsernin Suomen yhtiöiden liikevaihto vuonna 2019 oli noin 73 miljoonaa euroa. Yrityksen tavoitteena on tuplata liikevaihto vuoteen 2025 mennessä. Vuosittainen tavoite on kasvattaa liikevaihtoa 10%. (Rejlers Finland Oy:n www-sivut 2021).

2.2 Projekti

Opinnäytetyö toteutetaan osana Rejlersin asiakkaalle tehtävää projektia. Projektissa Rejlers suunnittelee uuden tuotantolinjaston vanhan tuotantotavan tilalle, jossa lämmitetään kappaleita. Kappale lämmitetään tavoitelämpötilaan, jolloin sitä pystytään muokkaamaan halutulla tavalla.

Asiakkaalla ei ole kohteessa tällä hetkellä linjastoa, vaan tämänhetkinen toimintaperiaate tapahtuu manuaalisesti. Tuote siis lisätään ja poistetaan lämmityspisteestä käsin.

Uuden tuotantolinjaston avulla halutaan lisätä turvallisuutta, kasvattaa asiakaskappaleen tuotantomäärää ja näin ollen tehdä lopputuotteiden tuotannosta tehokkaampaa. Tuotantolinjastossa on siis tarkoitus lämmitellä kappaleita, jotka liikkuvat linjastossa. Lämmitettävän kappaleen sisälle asetetaan asiakaskappale ja sitä lämmitetään tiettyyn pisteeseen, jonka jälkeen se poistetaan linjastossa ja uudet asiakaskappaleet lisätään sisään.

Mekaniikkasuunnittelijat antoivat minulle tietoja, joiden mukaan laskut tulisivat suorittaa. Tiedot:

- Lämmitettävän kappaleen mitat ja materiaali
- Asiakaskappaleiden tuotantomäärä vuodessa
- 7 skenaariota
- Yleiskuva linjaston toiminnasta
- 3D-kuvia
- Positioiden väliset ajat
- Lämmitysajat

2.3 Tuotantolinjasto

Tuotantolinjasto on asiakaskappaleita lämmitävä linjasto. Linjastossa kiertää kelkoja, joiden sisälle lisätään lämmitettäviä asiakaskappaleita. Kelkat pysähtyvät lämmityspisteille ajaksi, jotka ovat määritelty asiakkaan toimesta. Ajat ovat erilaisia lämmitysvaihtoehdosta riippuen, näitä kutsutaan skenaarioiksi. Isoin kokonaisuus opinnäytetyöstä on laskea fysiikan ja sähkötekniikan kaavojen avulla, mikä näistä lämmitysvaihtoehdoista on halvin.

2.4 Asiakaskappale

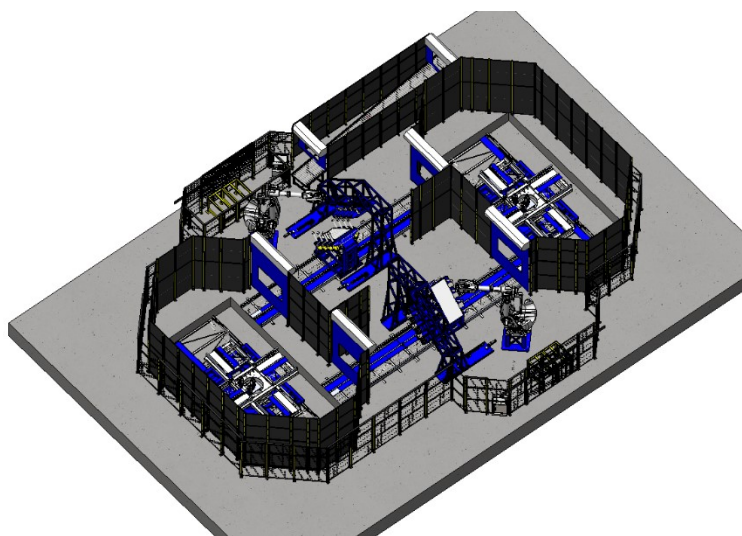
Asiakaskappale tulee olemaan lopputuote, jota projektissa lämmitetään. Kuitenkin laskut ollaan suoritettu niin, että sen tietoja ja vaikutusta ei huomioida laskuissa tai suunnittelussa. Lämmitys suunnitellaan kappaleelle, johon tuote asetetaan sisään.

Asiakkaalla tulee olemaan linjastossa monenlaisia tuotteita, näin ollen myös linjastossa kulkevia lämmitettäviä kappaleita tulee olemaan erilaisia, mutta tässä keskitytään vain yhteen.

Projekti tehdään Rejlersin asiakkaalle, jonka kanssa ollaan sovittu tietyistä asioista, mistä opinnäytetyössä voidaan puhua ja mistä asioista ei tule mainita niiden todellisilla nimillä. Yksi näistä on tuotantolinjastossa lämmitettävän kappaleen ja sen sisällä olevan asiakaskappaleen oikean nimen käyttö. Työssä siis puhutaan kappaleen lämmittämisestä, joka lämmittää sen sisällä olevaa asiakaskappaletta. Eli puhutaan lämmitettävästä kappaleesta sekä sen sisälle asetettavasta asiakaskappaleesta.

2.5 Tuotantolinjan toimintaprosessi

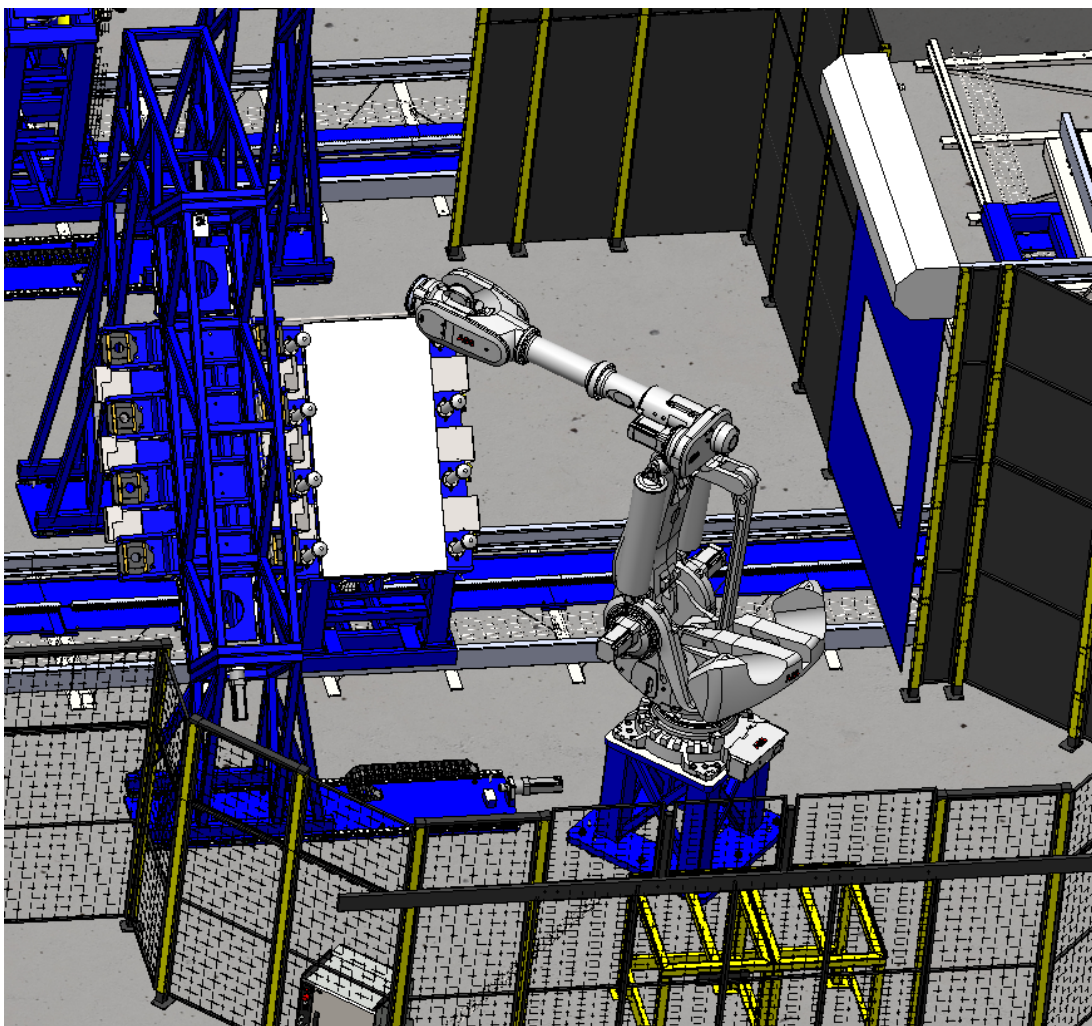
Tuotantolinjaston toimintaa ei pystytä tässä vaiheessa projektia kuvaamaan yksityiskohtaisesti. Toimintaa on myös suhteellisen haastavaa kuvata opinnäytetyössä, koska koko suunnittelu on vielä niin avoin muutoksille. Tuotantolinjaston toiminnan kuvauksella halutaankin, että lukija saa yleiskuvan linjastosta, vaikka laskujen kannalta kaikista linjastosta kerrottavista tiedoista ei ole hyötyä. Tuotantolinjastosta on esitetty Layout suunnitelma, jonka sain Rejlersiltä. Tämän layoutin tarkoituksena on kuvata, miltä tuotantolinjasto tulisi alustavasti näyttämään. (ks. Kuva 1).



Kuva 1. Kuva layout suunnitelmasta. (Rejlers 2021)

Kappale kulkee linjastossa syklissä, jossa sitä lämmitetään haluttuun lämpötilaan ja tämän jälkeen asiakaskappale poistetaan linjastosta seuraavaan vaiheeseen, joka ei enää kuulu opinnäytetyöhön. Tuotantolinjan toiminnasta ollaan esitetty layout piirustus, joka on tämän hetkinen suunnitelma linjaston rakenteesta. Se kertoo mitä erilaisia positioita linjastossa on ja mitä näissä tapahtuu ja kuinka kauan. (ks. Kuva 3).

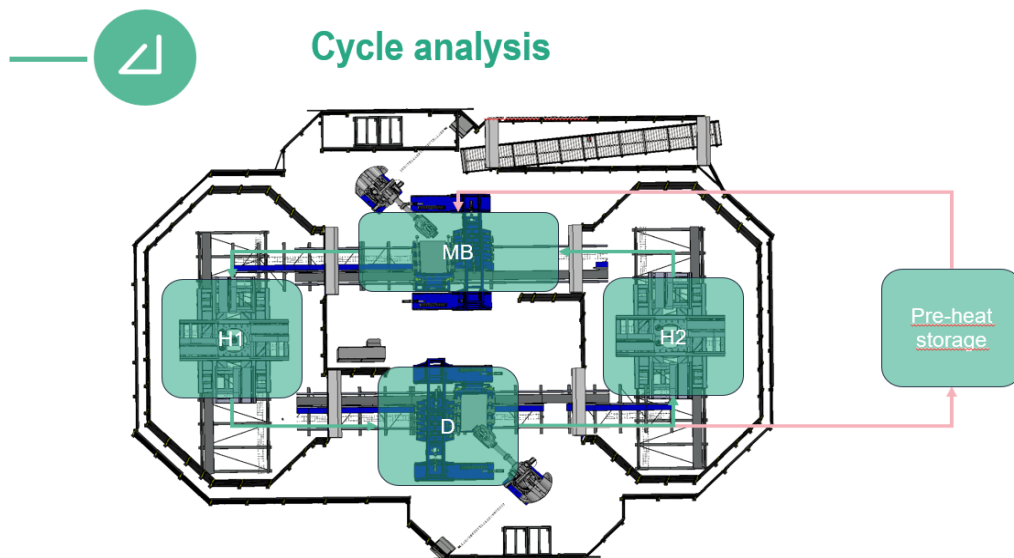
Koska opinnäytetyössä on tarkoitus tutkia parasta lämmitysratkaisua, positoiden rakenne on erilainen skenaariosta riippuen. Esimerkiksi skenaariossa 2 laskut suoritetaan käyttäen H1-positiota lämmittämiseen, kun taas skenaario 3:ssa lämmitetään kappaletta H1- sekä H2-positioissa.



Kuva 2. Positio, jossa asiakaskappale lisätään lämmitettävän kappaleen sisään. (Rejlers 2021)

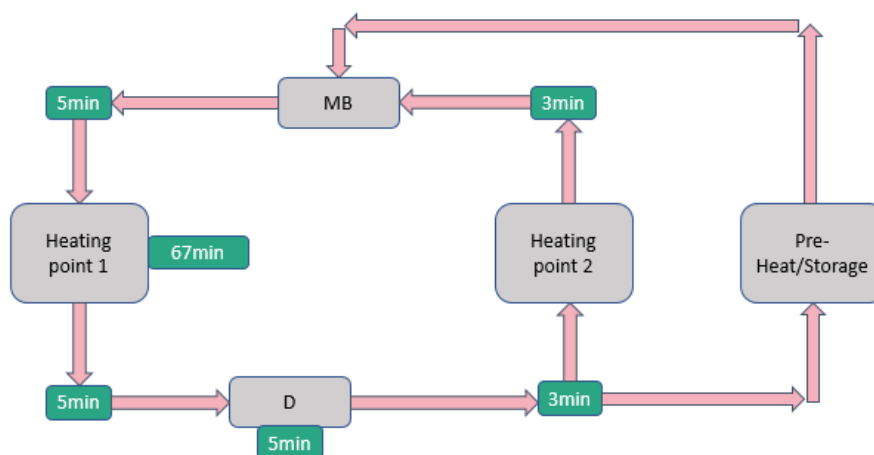
2.6 Sykli analyysi

Opinnäytetyössä tarkastellaan asiakkaan yhdenlaisen tuotteen lämmityssykliä 7 erilaisen skenaarion kautta. Asiakas on ilmoittanut Rejlersille lämmitysajan kyseiselle kappaleelle. Tätä lämmitysaikaa käytetään laskuissa, joissa selvitetään paras mahdollinen skenaario kappaleen lämmittämiseen. Aluksi käydään läpi mitä tarkoittaa sykli analyysi.



Kuva 3. Sykli analyysin positiot. (Rejlers 2021)

Sykli analyysin avulla on tarkoitus auttaa lukijaa hahmottamaan positoiden paikat tuotantolinjastossa. Rejlers antoi minulle positioissa vietettävät ajat. Lisäksi sain positoiden väliset ajat, eli kuinka kauan kappaleella kuluu aikaa liikkua linjastosta positiossa toiseen. (ks. Kuva 4). Syklianalyysin positiot on selitetty taulukossa 1.



Kuva 4. Positoiden väliset ajat (Rejlers 2021)

Taulukko 1. Positioiden selitykset

Position	Description
Pre-heat	Preheating postio, jossa tapahtuu esilämmitys
Storage	Lämmitettäviä kappaleita voidaan varastoida varastoon, jossa niitä voidaan muokata. Varasto ja esilämmitys ovat samassa positiossa.
MB	Asiakaskappale lisätään lämmitettävän kappaleen sisään.
H1	Lämmityspiste. Kappaletta lämmitetään tässä pisteessä 67 minuuttia.
H2	Toinen lämmityspiste. Tätä lämmityspistettä käytetään skenaarioissa 3 ja 4.
D	Tuote poistetaan lämmitettävän kappaleen sisältä.

Sain Rejlersiltä hahmotelman tuotantolinjaston toiminnasta, jota kutsutaan sykli analyysiksi. (ks. Kuva 2) Sykli on yksi lämmitettävän kappaleen kierros. Sen on määrä kuvata, millainen tuotantolinjaston hahmotelma on ja missä kohdassa sykliä tapahtuu mitään. Siihen on merkitty ajat, jotka kelkka viettää missäkin positiossa.

Lämmitettävä kappale siis liikkuu sykli analyysin mukaisesti tuotantolinjastossa. Opinnäytetyö tehdään nykyisen suunnitelman mukaan. Nuolet kuvaavat kappaleen liikkeen suuntaa linjastossa. Harmaat pisteet ovat positioita, joissa kappaleelle tehdään tiettyjä toimenpiteitä. Nämä positiot ollaan selitetty Kuvassa 2. Vihreät pisteet kuvaavat aikaa, joka kuluu, kun kappale liikkuu positioista toiseen tai kuinka kauan se on kyseisessä positiossa.

2.7 SolidWorks

SolidWorks-ohjelmistolla suunnitellaan tuotteet osina ja osista tehdään kokoonpanoja samalla logiikalla kuin koneenrakentajakin toimii. SolidWorksin tavoitteena on ollut luoda CAD-ohjelmisto, joka toimii mekaniikkasuunnittelijan monipuolisena työkaluna, mutta on niin helppokäyttöinen, että palvelee myös satunnaisen käyttäjän tarpeita. (Cadworks www-sivut 2021).

Käytin SolidWorks-ohjelmaa jonkin verran opinnäytetyön aikana. Ohjelman avulla pääsin pyörittelemään esisuunnittelussa tehtyä tuotantolinjaston 3D-mallia, joka auttoi hahmottamaan teknisen ratkaisun suunnittelua. 3D-malli on esisuunnittelussa tehty

hahmotelma linjastosta, joten se ei ole lopullinen mutta sitä käytetään tässä opinnäytetyössä auttamaan lukijaa hahmottamaan linjaston rakenteen.

Tarvitsin myös työssäni 3D-mallia lämmitettävästä kappaleesta. Tämä malli oli realistinen ja laskut toteutettiin sitä käyttäen. Tämä malli oli edellytys, jotta päästiin realistisiin tuloksiin lämpö ja tehon tarve laskelmissa. SolidWorksin avulla pystyin selvittämään kappaleen oikean massa, pinta-alan, tilavuuden ja muut oleelliset tiedot. Ohjelman avulla onnistui myös oikean materiaalin lisääminen kappaleen tietoihin. Joka tässä tapauksessa on teräs.

3 OPINNÄYTETYÖN AIHE

3.1 Vaatimukset

Opinnäytetyön vaatimuksia on se, että Rejlersin edustajat ja heidän asiakas saavat päättää mitä yritykseen ja projektiin liittyvää tietoa työssä saa esittää. Rejlers päätti asiakkaan kanssa, ettei työssä puhuta asiakkaasta nimellä. Päätettiin myös, että lämmitettävästä kappaleesta, ei mainita muuta kuin materiaali ja mitat. Ja sen sisälle tulevasta tuotteesta ei kerrota muuta kuin että se tulee olemaan lämmitettävän kappaleen sisällä. Lämmitettävästä kappaleesta puhutaan Excel-laskuissa nimellä object. Siitä on olemassa 3D-malli, jonka tietoja käytin laskuissa mutta sitä ei esitetä opinnäytetyössä asiakkaan pyynnöstä.

3.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli laskemisen avulla todentaa, mikä skenaario kappaleen lämmittämiseen on halvin. Tavoitteena oli myös karkeasti esittää kaikki tekniset ratkaisut, joilla kappaletta voidaan lämmittää tuotantolinjastossa. Tarkoituksena oli vertailla ja pohtia hyötyjen ja haittojen kautta, mikä tekninen ratkaisu valitaan. Suurin pääpaino opinnäytetyössä on kuitenkin löytää paras lämmitys skenaario laskemalla.

3.3 Opinnäytetyön rajaus

Tuotantolinjaston toiminnassa tulee olemaan paljon erilaisia seikkoja, jotka jäävät tämän työn ulkopuolelle. Projekti on tässä hetkellä esisuunnitteluvaiheessa, joten kaikki tämän opinnäytetyön mekaaniset seikat ja lämpölaskenta on alustavaa ja karkeasti tehty. Myös sähkösuunnittelu ja mahdollinen automaatio suunnittelu ja tarkat komponenttivalinnat jätetään työn ulkopuolelle.

3.4 Asiakaskappaleen lämmittäminen nykytilanne

Tuote, jonka lämmittämistä tässä työssä tutkitaan, ei ole uusi. Lämmitysjärjestelmä on olemassa tälläkin hetkellä, mutta Rejlers suunnittelee täysin uudenlaisen tuotantolinjaston. Nykyinen lämmittämistapa on lähes kokonaan manuaalinen ja lämmitys tapahtuu höyryllä. Uusi linjasto, jossa lämmitys tapahtuu syklissä ja automaatio on suuremmassa roolissa, helpottaisi asiakkaan tuotantoa huomattavasti. Tuotantolinjaston tarkoitus on siis nopeuttaa kappaleen lämmittämistä, lisätä tuotantoa ja mahdollistaa monen eri tuotteen lämmittäminen helpommin sekä energiatehokkaammin.

4 SKENAARIOT

Rejlers antoi minulle esisuunnittelussa suunnitellut vaihtoehdot kappaleen lämmittämiseen, näitä kutsutaan skenaarioiksi. Vaihtoehtoisia lämmitystapoja oli yhteensä 7. Alempana kuvataan skenaariot. Tarkoituksena etsiä laskemalla kaikista edullisin ja energiatehokkain vaihtoehto näistä skenaarioista. (ks. Taulukko 12).

Asiakas oli asettanut vaatimuksia linjaston lämmitykseen liittyen. Kaikkia skenaarioita yhdisti yksi asiakkaalta tullut vaatimus. Kappaleen lämpötila tuli aina olla 175 C° H1-lämmityspisteelle tultaessa, joten tuotetta lämmitettäisiin aina Pre-heat positiossa niin paljon, että sen lämpötila on jäähtymisen jälkeen H1 saapuessa aina 175 astetta. Pre-heatissa tapahtuvaa lämmitystä ei ole mainittu alhaalla olevassa taulukossa, koska se on mukana jokaisessa skenaariossa.

Ensimmäisessä skenaariossa laskettiin energian hinta sille, että kappaletta lämmitetään koko syklin ajan. Jäähdytymisen vaikutus olisi tässä tapauksessa vähäinen, koska kappale olisi kokoajan lämmityksessä. Toinen skenaario sisältäisi Pre-heatin lisäksi H1 lämmityspisteen, jossa kappaletta lämmitettäisiin H1 67 minuuttia.

Kolmannessa skenaariossa kappaletta lämmitettäisiin pre-heat, H1 ja H2-positioilla. Neljännessä vaihtoehdossa lämmitys tapahtuisi Pre-heatissa, H1, H2 sekä MB-positioissa. Viidennessä skenaariossa lämmitys tapahtuisi pre-heatissa, H1 ja MB-positioissa. Skenaariossa 6 lämmitetään Pre-heatissa, H1 sekä jatkuvasti sen kulkiessa tuotantolinjastossa. Skenaario 7 on mukana jokaisessa skenaariossa, koska se kuvaa jäähtymisen vaikutusta.

Taulukko 2. Skenaarioiden selitykset

Scenario	Description
Scenario 1	Preheat + Heating constantly (no H1 and H2)
Scenario 2	Preheat + Heated only on H1
Scenario 3	Preheat + Heated on H1 and H2
Scenario 4	Preheat + Heated on H1, H2 and MB
Scenario 5	Preheat + Heated on H1 and MB
Scenario 6	Preheat + Heated on H1 and constantly
Scenario 7	Object cooling cycle effect

Työ aloitettiin käymällä kaikki seitsemän skenaariota läpi, jotka kuvaavat mahdollisia lämmityspisteiden määrää ja sijaintia tuotantolinjastossa. Opinnäytetyössä oli tarkoituksen aluksi vertailla niiden energiankulutuksen hintaa ja suurinta tehon tarvetta. Skenaarioiden vertailu oli aluksi haastavaa, koska itse tuotantolinjaston toiminta ei ollut vielä selkeää ja näin ollen skenaarioiden vertailu vaati pohdintaa, miten laskujen tekeminen onnistuu ilman selvää tapahtumaketjua jokaisesta skenaariosta ja linjaston toiminnasta. Koska en tiennyt miten kappaleen linjastossa menivät, laskin laskut niin, että yksi kappale kiertää tuotantolinjastossa. Todellisuudessa niitä on linjastossa enemmän.

5 LASKUT

5.1 Johdanto

Ennen kuin opinnäytetyössä päästiin soveltuvimman teknisen ratkaisun valintaan, piti selvittää laskemisen avulla, mikä skenaario tulisi olemaan edullisin vaihtoehto kappaleen lämmittämiseen. Eli kuinka paljon sähkön hinta on kullekin skenaariolle. Lähdin selvittämään tätä laskemalla, jotka toteutin Excel-taulukoilla. Tein jokaisesta skenaariosta oman taulukon, jolla pystyi laskemaan energiantarpeen hinnan kyseiselle lämmitystavalle. Lisäksi laskuihin sisältyi jäähtymisen vaikutus sekä tehon hinta-laskuri. Projektin alusta asti mukana olleet mekaniikkasuunnittelijat antoivat minulle tiedot, jonka mukaan laskut tehtäisiin. Näitä olivat esimerkiksi se, että kuinka monta kertaa tuote tulee menemään linjastossa vuoden aikana ja kuinka monta tuotetta linjastossa on samaan aikaan.

Tässä vaiheessa projektin esisuunnittelua ei voitu laskea realistista energian hintaa, vaan tulokset olivat suuntaa-antavia. Laskuista jätettiin pois oleellisia asioita. Tällaisia asioita olivat esimerkiksi asiakaskappale, joka tulee olemaan lämmitettävän kappaleen sisällä. Tämä tulee vaikuttamaan kappaleen lämpötilaan, joka taas nostaa energiantarvetta ja näin vaikuttaa lopulliseen hintaan. Toisena mainittakoon tuotantolinjaston sykli. Linjaston toiminta olisi tarvinnut tietää tarkemmin, eli miten kappale on lämmityksessä eri positioissa. Tärkeintä laskuissa oli siis käyttää samoja lähtötietoja jokaisessa skenaariossa, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia.

Tarkoitus laskuilla olikin saada vain vertailukelpoisia tuloksia skenaarioiden välillä ja esittää asiakkaalle, mikä näistä on halvin. Tein opinnäytetyöhön jokaiselle skenaariolle oman laskentataulukon. Skenaarioiden laskureissa käytettävät lähtötiedot ja kaavat ovat samat, joten työssä esitellään yksi laskuri yksityiskohtaisemmin ja muut yleisesti. Energian hinta vaihtelee skenaarioiden välillä jäähtymisen ja lämmitysaikojen vaikutuksesta. Skenaario 1 todistettiin näillä laskuilla kaikista parhaimmaksi tavaksi lämmitteä kappaletta.

5.2 Asiakkaan vaatimukset

Asiakas oli esittänyt Rejlersille erilaisia vaatimuksia tuotantolinjastoon liittyen. Vaatimukset liittyivät esimerkiksi lämmitys- sekä positioiden välisiin aikoihin, kappaleen esilämmitykseen sekä tavoitelämpötilaan. Kaikki vaatimukset eivät vaikuttaneet opinnäytetyöhön, koska niitä ei voinut hyödyntää laskujen lopputuloksen tarkentamisessa. Tässä esitellään vain ne, jotka vaikuttivat laskujen tuloksiin.

Yksi työhön vaikuttavista seikoista liittyi kappaleen lämpötilaan. Asiakas oli antanut nykyisen järjestelmän mukaan Rejlersille lämpötilan, johon kappale pitää saada, jotta sen sisällä oleva asiakaskappale alkaa reagoimaan halutulla tavalla. Lämpötila oli 175 C°. Lisäksi vaatimukseen sisältyi, että lämpötila tulee saavuttaa ennen kuin kappale tulee ensimmäiselle lämmityspisteelle. Kolmas opinnäytetyöhön vaikuttava vaatimus oli, että kappaletta lämmitetään aina ennen kuin se tulee positioon (MB), jossa asiakaskappale asetetaan kappaleen sisään. Eli Pre-Heat ja MB-position välillä lämpötila pitää saada 175 asteiseksi.

5.3 Lähtötiedot

Laskuissa käytettiin 3D-mallista saatuja lämmitettävän kappaleen mittoja. (ks. Taulukko 3) Aluksi keräsin kaikki lähtötiedot Excel-tilukkuun. Tiedot:

- lämmitettävän kappaleen mitat
- massa
- kappaleen materiaalin eli teräksen tiheys
- ja lämpökapasiteetti
- sähkön hinta
- tuotantolinjaston syklin toisto määrä vuodessa
- tavoitelämpötila
- lämmitysajat eri skenaarioille

Taulukko 3. Lämmitettävän kappaleen tiedot

Heated object				
Width	1650	mm	1,65	m
Length	2000	mm	2	m
Height	340	mm	0,34	m
Volume	1122000000	mm ³	1,12	m ³
Area	9082000	mm ²	9,082	m ²
Mass	400	kg		

Tarvitsin energian tarpeen laskuja varten teräksen tiheyden sekä lämpökapasiteetin. (ks. Taulukko 4). Lämmitettävän kappaleen tiheys on $7,85 \frac{g}{cm^3} \rightarrow 7850 \frac{kg}{m^3}$. (Teräsra-
kenneyhdistyksen www-sivut 2022). Teräksen ominaislämpökapasiteetti on 20 °C
lämpötilassa noin $450 \frac{J}{kg K}$. (Heiskanen, 2008, 3). Ominaislämpökapasiteetti on vai-
keaa määrittää laskuissa täysin oikein, koska se kasvaa suhteellisen tasaisesti 650 C°:n
saakka, jonka jälkeen se kasvaa erittäin nopeasti 735 C°:n asti. (Heiskanen, 2008, 3)
Lämpökapasiteetti tulee siis todellisuudessa olemaan erilainen linjaston syklin aikana.

Taulukko 4. Teräksen tiheys ja lämpökapasiteetti

Steel		
Density	7850	kg/m ³
Specific heat capacity	450	J/kg K

5.4 Skenaariolaskurit

5.4.1 Johdanto

Skenaariolaskurit sisälsivät taulukoita, jotka olivat samanlaisia skenaariosta riippu-
matta. Tässä kappaleessa avataan, mitä taulukoihin sisältyi ja millaisilla kaavoilla ne
laskin. Laskurissa käytetään 'Sled'-termiä, joka kuvaa yhtä lämmitettävää linjastolla
liikkuvaa kelkkaa, johon asiakaskappale lisätään ja poistetaan linjaston eri vaiheissa.
Jokainen laskurin kaava avataan seuraavaksi. Ensin laskettiin, kuinka paljon energiaa
vaaditaan, kun nostetaan kappaleen lämpötila alkulämpötilasta tavoitelämpötilaan ja
kuinka monta kertaa vuodessa tämä tapahtuu.

Seuraavaksi tein jäähtymistä tutkivan taulukon ja jäähtymisen vaikutus huomioitiin energiantarpeessa. Skenaarioiden lämmitysajat olivat erilaisia, joten kappaleen jäähtymisajat vaihtelivat. Totesin parhaaksi tavaksi tehdä jäähtymiselle oma laskuri ja laskea sillä yksitellen jäähtymisen vaikutus kussakin skenaariossa. Lopuksi laskin hinnan jokaiselle skenaariolle kertomalla skenaarioiden energia tarpeen sähkön hinnalla. Laskurin kaavat esitetään seuraavaksi yksityiskohtaisesti skenaario 1 kautta.

5.4.2 Skenaario 1

Ensimmäiseksi tein skenaariolaskuriin taulukon, jolla pystyin laskemaan energian tarpeen lähtö lämpötilasta tavoitelämpötilaan. Yksi vaatimus oli, että kappale lämmitetään 175 asteiseksi ennen kuin se tulee Pre-Heat-positioon. Lämpötilaan tuli päästä 20 minuutissa. Kappale on 20 C° tullessaan linjastoon ja se nostetaan 175 C°.

Kaava 1) Heat rise (C°)

$$\text{Heat rise (C°)} T3 = T2 - T1$$

$$\text{Heat rise (C°)} = 175\text{C}^\circ - 20 = \mathbf{155\text{C}^\circ}$$

, jossa

$$T1 = \text{Alkulämpötila} = 20 \text{ C}^\circ$$

$$T2 = \text{loppulämpötila} = 175 \text{ C}^\circ$$

Taulukko 5. Energian tarpeen laskuri

Temperature, object		
Target temperature (T2)	175	C°
Initial temperature (T1)	20	C°
Heat rise (T3)	155	C°
Final temperature (T)	141,00	C°
Air temperature (∞)	20	C°
Heat-transfer coefficient, steel (h)	20,00	W/m²K
Heating time (T4)	20	min
Heating time (T5)	0,3333333333	h

”Heating time” kuvaa aikaa, jossa kappale pitää saada tietyn lämpöiseksi. Laskin myös lämmitysajan tunteina:

Kaava 2) Heating time (h)

$$\text{Heating time (h)} = \frac{T4}{60}$$

$$\text{Heating time (h)} = \frac{20\text{min}}{60} = 0.33\text{h}$$

, jossa

$$T4 = \text{Lämmitysaika} = 20\text{min}$$

Laskin seuraavaksi, kuinka paljon energiaa tarvitaan nostamaan kappaleen lämpötila 20 asteisesta 175 asteiseksi. Energia tarve tälle tapahtumalle jouleina saatiin kerrottuna lämpötilannousu, ominaislämpökapasiteetti, sekä lämmitettävän kappaleen massa keskenään. Saatu arvo muutettiin laskujen kannalta järkevämpään muotoon, kilowattitunneiksi. Taulukossa on esitetty myös tulos kilojouleina sekä watti sekunteina.

Taulukko 6. Energian tarve yhden kelkan lämmittämiseen 20 C°:sta 175 C°:seen.

Energy required for one heating session		
Energy required for one heating session	429300000	J
Energy required for one heating session	429300	kJ
Energy required for one heating session	429300000	Ws
Energy required for one heating session	119,25	kWh

Taulukko 7. Energian tarve yhden kelkan lämmittämiseen 20 C°:sta 175 C°:seen, kaava.

Scenario 1: Heating constantly (No H1 and H2)			Heated object				
Steel			Width	1650	mm	1,65	m
Density	7850	kg/m³	Length	2000	mm	2	m
Specific heat capacity	450	J/kg K	Height	340	mm	0,34	m
Rubber			Volume	1122000000	mm³	1,12	m³
Density	1200	kg/m³	Area	9082000	mm²	9,082	m²
Specific heat capacity	2005	J/kg K	Mass	400	kg		
Temperature, Object			Temperature, rubber				
Target temperature (T2)	179	C°	175	C°			
Initial temperature (T1)	20	C°	120	C°			
Heat rise (T3)	159	C°	55	C°			
Final temperature (T)	141,00	C°					
Air temperature (°)	20	C°					
Heat-transfer coefficient, steel (h)	20,00	W/m²K					
Heating time (T4)	20	min					
Heating time (T5)	0,333333333	h					
Energy required for one heating session			Scenario 1 heating times				
Energy required for one heating session	=G11°C6°C16	J	67	min			
Energy required for one heating session	28620	kJ	4020	s			
Energy required for one heating session	28620000	Ws	225	min			
Energy required for one heating session (E1)	7,95	kWh	13500	s			
			67	min			
			0,75	min			
			15	min			
			900	s			
			Energy required for heating rubber				
			64185001,79	J			
			64185,00179	kJ			
			64185001,79	Ws			
			17,82916716	kWh			
Heating power demand / sled (E2)			0,266106973	kW			
Heating efficiency (η)			0,75				
Heating power demand per sled taking into account efficiency (E3)			0,354809297	kW			
Number of heating elements / sled			2,00	kpl			
Heating power demand per heating element			11,925	kW			
Heating power demand per heating element taking into account efficiency			15,9	kW			
Number of heating sleds			20	kpl			
The heating sled heats up daily			15,60	h			
The heating sleds heat up daily			312	h			
The heating sleds are heated annually			11380	h			
			Production				

Kaava 3) Energy required for one heating session (kWh)

$$\begin{aligned} \text{En. req. for one heat. sessio (kWh)} &= m * 450 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \text{K} * T3 \\ &= \mathbf{7,95 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{En. req. for one heat. ses. (kWh)} &= 400\text{kg} * 450 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \text{K} * 159 \text{ C}^\circ = \\ &= \mathbf{7,95 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

, jossa $m = \text{kappaleen massa} = 400\text{kg}$

$T3 = \text{lämpötilan nousu} = 159 \text{ C}^\circ$

Seuravaksi laskin tehon tarpeen yhdelle kelmalle, kun se lämmitetään 20 C° asteesta 175 C° asteiseksi 20 minuutissa. Tämä saatiin jakamalla lämmitysaika energiantarpeella.

Kaava 4) Heating power demand / sled (kW)

$$\text{Heating power demand / sled (kW)} = \frac{T5}{E1}$$

$$\text{Heating power demand / sled (kW)} = \frac{0,33\text{h}}{7,95 \text{ kWh}} = \mathbf{357,75 \text{ kW}}$$

, jossa $T5 = \text{Lämmitysaika} = 0,33\text{h}$

$E1 = \text{Energiantarve yhdelle lämmityskerralle} = 7,95\text{kWh}$

Taulukko 8. Tehon tarve yhden kelkan lämmittämiseen 20 C° :sta 175 C° :een.

Scenario 1: Heating constantly (No H1 and H2)					
Steel			Heated object		
Density	7850	kg/m³	Width	1650	mm
Specific heat capacity	450	J/kg K	Length	2000	mm
Rubber			Height	340	mm
Density	1200	kg/m³	Volume	1122000000	mm³
Specific heat capacity	2005	J/kg K	Area	9082000	mm²
			Mass	400	kg
Temperature, object			Temperature, rubber		
Target temperature (T2)	179	C°	175	C°	
Initial temperature (T1)	20	C°	120	C°	
Heat rise (T3)	159	C°	55	C°	
Final temperature (T)	141,00	C°			
Air temperature (t =)	20	C°			
			Scenario 1 heating times		
Heat-transfer coefficient, steel (h)	20,00	W/m²K	67	min	
Heating time (T4)	20	min	4020	s	
Heating time (T5)	0,333333333	h	225	min	
			13500	s	
			67	min	
			0,75	min	
			15	min	
			900	s	
Energy required for one heating session			Energy required for heating rubber		
Energy required for one heating session	28620000	J	64185001,79	J	
Energy required for one heating session	28620	kJ	64185,00179	kJ	
Energy required for one heating session	28620000	Ws	64185001,79	Ws	
Energy required for one heating session (E1)	=C28:I60/I1000	kWh	17,82916716	kWh	
Heating power demand / sled (E2)	23,85	kW			
Heating efficiency (n)	0,75				
Heating power demand per sled taking into account efficiency (E3)	31,8	kW			
Number of heating elements / sled	2,00	kpl	0,266106973	kW	
Heating power demand per heating element	11,925	kW	0,75		
Heating power demand per heating element taking into account efficiency	15,9	kW	0,354809297	kW	
Number of heating sleds	20	kpl			
The heating sled heats up daily	15,60	h	11120,909	Ws	
The heating sleds heat up daily	312	h			
The heating sleds are heated annually	113880	h			
			Production		
			Product cycle repetition yearly	40 000	kpl

Jokaisessa skenaariossa ollaan käytetty hyötysuhteen (Heating efficiency) 0,75 arvoa, joka ei ole realistinen koska siihen vaikuttaa tekninen ratkaisu. Mutta koska kaikissa skenaarioiden energia laskureissa käytetään samaa, saadaan vertailukelpoisia tuloksia. Laskettiin tehon tarve hyötysuhde huomioiden:

Kaava 5)

Heating power demand per sled taking into account efficiency (kW)

$$= \frac{E2}{\eta}$$

$$= \frac{23,85 \text{ kW}}{0,75} = 31,8 \text{ kW}$$

, jossa $E2 = \text{Heating power demand / sled} = 23,85 \text{ kW}$

$\eta = \text{hyötysuhde} = 0,75$

Taulukko 9. Yhden lämmityskerran tehon tarve hyötysuhde huomioituna

Density	1200	kg/m ³	Area	9082000
Specific heat capacity	2005	J/kg K	Mass	400
Temperature, object			Temperature, rubber	
Target temperature (T2)	179	C°	175	C°
Initial temperature (T1)	20	C°	120	C°
Heat rise (T3)	159	C°	55	C°
Final temperature (T)	141,00	C°	Scenario 1 heating times	
Air temperature (∞)	20	C°	67	min
Heat-transfer coefficient, steel (h)	20,00	W/m ² K	4020	s
Heating time (T4)	20	min	225	min
Heating time (T5)	0.333333333	h	13500	s
Energy required for one heating session			67	min
Energy required for one heating session	28620000	J	0,75	
Energy required for one heating session	28620	KJ	15	min
Energy required for one heating session	28620000	Ws	900	s
Energy required for one heating session (E1)	7,95	kWh	Energy required for heating rubber	
Heating power demand / sled (E2)			64185001,79	J
Heating efficiency (η)	0,75		64185,00179	KJ
Heating power demand per sled taking into account efficiency (E3)	=C32/C33	kW	64185001,79	Ws
Number of heating elements / sled	2,00	kpl	17,82916716	kWh
Heating power demand per heating element	11,925	kW	0,266106973 kW	
Heating power demand per heating element taking into account efficiency	15,9	kW	0,75 kW	
Number of heating sleds	20	kpl	0,354809297 kW	
The heating sled heats up daily	15,60	h	11120,909 Ws	
The heating sleds heat up daily	312	h	Production	
The heating sleds are heated annually	113880	h	Product cycle repetition yearly	
Total energy			40 000	
Total energy demand per year	2716038	kWh	Heating time per year	
Total energy demand per year taking into account efficiency	3621384	kWh	44 667	
Price of electricity			Available hours in year	
Price of electricity	2,5	c/kWh	6 768	
Energy transfer cost	2,5	c/kWh	Available seconds in year (s)	
Cost per year	90 319,97	€	406080	
			Pre-heat cycle repetition yearly	
			1	
			Number of moulds	
			24	
Power consumption Scenario 1 Scenario 2 Scenario 3 Scenario 4 Scenario 5 Scenario 6 Scenario 7 (Cooling) Taul1 Taul2				

Päätimme että kelkassa, johon lämmitettävä kappale asetetaan, on kaksi lämmityselementtiä. Tämä esitettiin myös yllä olevassa taulukossa. Ja yhden kelkan energian tarve jaettiin kahdelle elementille, näin saatiin yhden elementin tehon tarve.

Kaava 6) *Heating power demand per heating element (kW)*

$$\text{Heating power demand per heating element (kW)} = \frac{E2}{2}$$

$$\text{Heat. pow. dem. per heat. ele. (kW)} = \frac{23,85kW}{2,00} = \mathbf{11,92 kW}$$

, jossa E2 = Heating power demand / sled = 23,85kW

Lämmityselementtien määrä = 2,00

Lisäksi laskin tähän yhden kelkan tehon tarpeen hyötysuhde huomioituna:

Kaava 7)

Heating power demand per heating element taking into account efficiency (kW)

$$\rightarrow \frac{E3}{2,00}$$

Heating power demand per heating element taking into account efficiency (kW)

$$\rightarrow \frac{31,8kW}{2,00} = \mathbf{15,9 kW}$$

,jossa E3 = Heating power demand per sled taking into account efficiency= 31,8kW

Lämmityselementtien määrä = 2,00

Sain mekaniikkasuunnittelijoilta laskuihin tuotantomäärän, eli kuinka monta kertaa lämmitettävä kappale menee vuodessa syklin läpi. Se esitetään alhaalla kuvassa ”Product cycle repetition yearly”-kohdassa.

Taulukko 10. Tuotantomäärät

Production		
Product cycle repetition yearly	40 000	kpl
Heating time per year	44 667	h
Available seconds in year (s)	33 500	s
Pre-heat cycle repetition yearly	1	kpl
Available hours in year	6 768	h
Number of objects	24	kpl

Laskin myös, kuinka kauan kyseisessä skenaariossa lämmitetään kappaletta. Skenaario 1:ssä kappaletta lämmitetään koko syklin ajan. Laskin tämän sekunteina. (ks. Taulukko 10).

Kaava 8) Product cycle repetition yearly (s)

$$\text{Product cycle repetition yearly (s)} = \frac{67 \text{ min} * n}{60} * \eta$$

$$\text{Product cycle repetition yearly (s)} = \frac{67 \text{ min} * 40\,000}{60} * 0,75 = 33\,500 \text{ s}$$

, jossa n = Syklien määrä vuodessa = 40 000kpl

Taulukko 11. Skenaario 1 lämmitysaika vuodessa

Heating power demand / sled (E2)	23,85	kW	
Heating efficiency (η)	0,75		
Heating power demand per sled taking into account efficiency (E3)	31,8	kW	
Number of heating elements / sled	2,00	kpl	
Heating power demand per heating element	11,925	kW	
Heating power demand per heating element taking into account efficiency	15,9	kW	
Number of heating sleds	20	kpl	
The heating sled heats up daily	15,60	h	
The heating sleds heat up daily	312	h	
The heating sleds are heated annually (T)	113880	h	
Total energy			
Total energy demand per year	2716038	kWh	
Total energy demand per year taking into account efficiency	3621384	kWh	
Price of electricity			
Price of electricity (P1)	2,5	c/kWh	
Energy transfer cost (P2)	2,5	c/kWh	
Cost per year	90 319,97	€	
Energy requirement			
Energy required for one heating session, Object (20 to 179)	7,95	kWh	Pre-Heat
Energy requirement for one mould for heating constantly for maintaining 175 degrees (6768h)	75 266,31	kWh	Heating constantly (6768h)
Heating energy requirement per year (E10)	1 806 399,44	kWh	
Jännite	690,00	V	
Virta	46,09	A	

Seuraavaksi laskin sähkön hinnan skenaariolle. Taulukoin sähkön hinnan ja siirtomaksun ja laskin koko vuoden energian kilowattitunteina.

Kaava 9) Total energy demand per year (kWh)

$$\text{Total energy demand per year (kWh)} = T * E2$$

$$\text{Tot. en. dem. (kWh)} = 113880 \text{ h} * 23,85 \text{ kW} = 2716038 \text{ kWh}$$

, jossa T = Lämmitysaika vuodessa = 113880h

$$E2 = \text{Lämmityksen tehon tarve} = 23,85 \text{ kWh}$$

Laskin myös saman hyötysuhde huomioon. Seuraavaksi tein Energy requirement- taulukon, johon laskin koko vuoden energian tarpeen. Tämän jälkeen laskin koko vuoden sähkön hinnan:

Kaava 10) Cost per year (€)

$$\text{Cost per year (€)} = \frac{E10 * (P1 + P2)}{100}$$

$$\text{Cost per year (€)} = \frac{1\,806\,399,44 \text{ kWh} * (2,5 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + 2,5 \frac{\text{€}}{\text{kWh}})}{100}$$

$$= 90\,319,91 \text{ €}$$

, jossa E10 = Energiantarve vuodessa = 1 806 399,44 kWh

$$P1 = 2,5 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$P2 = 2,5 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Taulukko 12. Tulokset

Heating power demand / sled (E2)	23,85	kW		17,82916716
Heating efficiency (η)	0,75			
Heating power demand per sled taking into account efficiency (E3)	31,8	kW		
Number of heating elements / sled	2,00	kpl		0,266106973
Heating power demand per heating element	11,925	kW		0,75
Heating power demand per heating element taking into account efficiency	15,9	kW		0,354809297
Number of heating sleds	20	kpl		
The heating sled heats up daily	15,60	h		11120,909
The heating sleds heat up daily	312	h		
The heating sleds are heated annually (T)	113880	h		
				Production
				Product cycle repetition yearly
				Heating time per year
				Available hours in year
				Available seconds in year (s)
				Pre-heat cycle repetition yearly
				Number of moulds
Price of electricity				
Price of electricity	2,5	€/kWh		
Energy transfer cost	2,5	€/kWh		
Cost per year	90 319,97	€		
Energy requirement				Power requirement for step [kW]
Energy required for one heating session, Object (20 to 179)	7,95	kWh	Pre-Heat	375
Energy requirement for one mould for heating constantly for maintaining 175 degrees (6768h)	75 266,31	kWh	Heating constantly (6768h)	11,12
Heating energy requirement per year (E10)	1 806 399,44	kWh		
Jännite	690,00	V		
Virta	46,09	A		

Energiantarpeessa on huomioitu myös jäähtymisen vaikutus. Tämä esitetään opinnäytetyössä seuraavaksi.

5.5 Jäähtymisen vaikutus laskuri

Yksi iso energiantarpeeseen vaikuttavista asioista on jäähtyminen. Kappale jäähtyy jatkuvasti linjaston eri vaiheissa. Jäähtymistä tapahtuu myös lämmityksen aikana. Jäähtymiseen vaikuttavia asioita on jäähtyvän kappaleen massa, pinta-ala, ympäristön ja kappaleen lämpötila, jäähtymisaika sekä lämmönsiirtokerroin. Jäähtymiseen vaikuttaa myös tekninen ratkaisu, mutta sitä ei huomioida laskuissa.

Kappale jäähtyy tietyllä teholla tietyssä ajassa; jäähtymisen teho pienenee ajan kuluessa. Kappaleen luovuttaman energian määrä on kääntäen verrannollinen kuluneeseen aikaan. (Peda:n www-sivut 2022) Halusin esittää tämän mahdollisimman selkeästi ja tämä onnistui parhaiten Excelin-taulukon avulla. Näin pystyin laskemaan, kuinka paljon kappale jäähtyy ja kuinka paljon tarvitaan energiaa, jotta se nostetaan uudestaan haluttuun lämpötilaan.

Taulukko 13. Jäähtymisen vaikutus. Kuvassa esitetty jäähtyminen 15 minuutissa.

Cooling			2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00
Min		1														
Cooling time		60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900
Area, Object (A)	9,08	m ²	9,082	9,082	9,082	9,082	9,082	9,082	9,082	9,082	9,082	9,082	9,082	9,082	9,082	9,082
Overall Heat Transmission Coefficient (h)	7,90	W/(m ² K)	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
Ambient temperature	20	C°	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Temperature difference between object and environment (T1)	155	C°	151	147,67472	144,143	140,6956	137,3308	134,046	130,841	127,711	124,657	121,676	118,766	115,925	113,153	110,447
Object start temperature	175															
Energy	38 326 927,50	J	38326928	38326928	3,8E+07	38326928	38326928	3,8E+07	3,8E+07	3,8E+07	3,8E+07	3,8E+07	3,8E+07	3,8E+07	3,8E+07	3,8E+07
Total cooling power (W)	11 120,91	W	10854,942	10595,336	10341,9	10094,6	9853,18	9617,53	9387,52	9163,01	8943,67	8729,97	8521,18	8317,39	8118,47	7924,31
Total cooling power (kW)	11,12	kW														
Cooling time	60	s	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Energy	667 254,54	Ws	651296,52	635720,16	620516	605676,1	591190,8	577052	563251	549780	536632	523798	511271	499043	487108	475459
Mass	400,00	Kg	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Specific heat capacity	450,00	J/kg K	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
The temperature drops	4	C°	3,618314	3,5317787	3,44731	3,364867	3,284393	3,20584	3,12917	3,05434	2,98129	2,90999	2,84039	2,77246	2,70616	2,64144
Object temperature after cooling	171	C°	167,7	164,1	160,7	157,3	154,0	150,8	147,7	144,7	141,7	138,8	135,9	133,2	130,4	127,8
	Final temperature	127,81														
	Final cooling	47,19														

Tein taulukon, joka kuvaa minuutti kerrallaan jäähtymisen vaikutusta. Laskurin taulukon tarkoitus oli kertoa, kuinka paljon kappale jäähtyy linjaston eri vaiheissa. Tämä tieto tarvittiin, koska jäähtynyt lämpötila pitää nostaa takaisin vaadittuun lämpötilaan, joka on 175 C°, joka taas vaikuttaa vaadittuun tehoon. Tämä taas vaikuttaa energian hintaan jokaisessa skenaariossa, riippuen kuinka kauan kappale kyseisessä lämmitystavassa jäähtyy.

Tein vain yhden jäähtymistä käsittelevän laskurin ja laskin jokaiselle skenaariolle kuinka paljon kappale ehtii jäähtyä ja kuinka paljon energiaa tarvitaan, jotta päästään takaisin 175 asteeseen. Jos jokaisella skenaariolla olisi ollut oma jäähtymistä kuvaava

laskurinsa, olisi esitys ollut hieman selkeämpi, mutta ajan säästämiseksi tein vain yhden ja poimin sieltä jäähtymisen vaikutukset skenaario kerrallaan ja lisäksi ne skenaariolaskureihin.

5.5.1 Jäähtymisen vaikutus energian hintaan

Aluksi keräsin jäähtymiseen vaikuttavat tiedot taulukkoon. (Ks. Taulukko 14). Tämän jälkeen laskin, millä teholla kappale jäähtyy. Tein taulukkoon sarakkeet jokaiselle minuutille 15 minuuttiin asti. Joissakin skenaarioissa jäähtymistä kesti enemmän kuin 15 minuuttia, mutta totesin tämän taulukon antavan tarpeeksi tarkan arvion jäähtymisen vaikutuksesta.

Taulukko 14. Jäähtyminen

Cooling		
Min		1
Cooling time		60
Area, Object (A)	9,08	m ²
Overall Heat Transmission Coefficient (h)	7,90	W/(m ² K)
Ambient temperature	20	C°
Temperature difference between object and environment (T1)	155	C°
Object start temperature	175	
Energy	38 326 927,50	J
Total cooling power (W)	11 120,91	W
Total cooling power (kW)	11,12	kW
Cooling time	60	s
Energy	667 254,54	Ws
Mass	400,00	Kg
Specific heat capacity	450,00	J/kg K
The temperature drops	4	C°
Object temperature after cooling	171	C°
	Final temperature	127,81
	Final cooling	47,19

Kaava 11) *Total cooling power (W)*

$$\text{Total cooling power (W)} = A * h * T1$$

$$\begin{aligned} \text{Total cooling power (W)} &= 9,08\text{m}^2 * 7,90 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * 155\text{C}^\circ \\ &= \mathbf{11\ 120,91\text{W}} \end{aligned}$$

, jossa

$$A = \text{Lämmitettävän kappaleen pinta-ala} = 9,08\text{m}^2$$

$$h = \text{Lämmönsiirtokerroin} = 7,90 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$T1 = \text{Lämpötila ero kohteen ja ympäristön välillä} = 155 \text{ C}^\circ$$

Seuraavaksi laskin jäähtymisen energian jäähtymiselle watti sekunteina. (ks. Taulukko 13)

Kaava 12) *Cooling energy (Ws)*

$$\text{Cooling energy (Ws)} = P * T6$$

$$\text{Coolin energy (Ws)} = 11\ 120,91\text{W} * 60\text{s}$$

, jossa

$$P = \text{Kokonais jäähtymisteho} = 11\ 120,91\text{Ws}$$

$$T6 = \text{Jäähtymisaika} = 60\text{s}$$

5.6 Energian hinta laskuri

Kolmas taulukko laskuja varten oli energian hinta laskuri. Tein tämän laskurin vasta skenaariolaskurien tekemisen jälkeen, joten sen tuloksia ei käytetty parhaimman mahdollisen skenaarion sähkön hinnan määrittämisessä, mutta mekaniikkasuunnittelijat katsoivat sen olevan hyödyllinen tulevaisuudessa. Taulukolla pystyy laskemaan hinnan kappaleen lämpötilan nostamiselle tietystä lämpötilasta toiseen. Taulukolla on helppo tutkia tehon tarvetta, energiantarvetta, lämmitysaikaa sekä sähkön hintaa. (Ks. Taulukko 15).

Taulukko 15. Energian hinta laskuri

Mass		400	kg			Price of electricity								
Specific heat capacity		450	J/kg K			Price of electricity		2,5	c/kWh					
						Energy transfer cost		2,5	c/kWh					
Lämpötila (C°)										Hyötysuhde huomioituna				
Alkulämpötila	Tavoitelämpötila	Erotus	Energiantarve (kWh)	Lämmityksen hinta (€)	Lämmityskertojen määrä vuodessa	Hinta vuodessa (€)	Lämmitysaika (min)	Tehontarve (kW)	Hyötysuhde	Energiantarve (kWh)	Lämmityksen hinta (€)	Hinta vuodessa (€)	Tehontarve (kW)	
20	175	155	7,75	0,39	36182	14020,53	2	232,50	0,7	11,07	1	20 029,32	332	
21	175	154	7,70	0,39	36182	13930,07	2	231,00	0,7	11,00	1	19 900,10	330	
22	175	153	7,65	0,38	36182	13839,62	2	229,50	0,7	10,93	1	19 770,88	328	
23	175	152	7,60	0,38	36182	13749,16	2	228,00	0,7	10,86	1	19 641,66	326	
24	175	151	7,55	0,38	36182	13658,71	2	226,50	0,7	10,79	1	19 512,44	324	
25	175	150	7,50	0,38	36182	13568,25	2	225,00	0,7	10,71	1	19 383,21	321	
26	175	149	7,45	0,37	36182	13477,80	2	223,50	0,7	10,64	1	19 253,99	319	
27	175	148	7,40	0,37	36182	13387,34	2	222,00	0,7	10,57	1	19 124,77	317	
28	175	147	7,35	0,37	36182	13296,89	2	220,50	0,7	10,50	1	18 995,55	315	
29	175	146	7,30	0,37	36182	13206,43	2	219,00	0,7	10,43	1	18 866,33	313	
30	175	145	7,25	0,36	36182	13115,98	2	217,50	0,7	10,36	1	18 737,11	311	
31	175	144	7,20	0,36	36182	13025,52	2	216,00	0,7	10,29	1	18 607,89	309	
32	175	143	7,15	0,36	36182	12935,07	2	214,50	0,7	10,21	1	18 478,66	306	
33	175	142	7,10	0,36	36182	12844,61	2	213,00	0,7	10,14	1	18 349,44	304	
34	175	141	7,05	0,35	36182	12754,16	2	211,50	0,7	10,07	1	18 220,22	302	
35	175	140	7,00	0,35	36182	12663,70	2	210,00	0,7	10,00	1	18 091,00	300	
36	175	139	6,95	0,35	36182	12573,25	2	208,50	0,7	9,93	0	17 961,78	298	
37	175	138	6,90	0,35	36182	12482,79	2	207,00	0,7	9,86	0	17 832,56	296	
38	175	137	6,85	0,34	36182	12392,34	2	205,50	0,7	9,79	0	17 703,34	294	

5.6.1 Laskut

Tässä osiossa esitellään lyhyesti, miten energian hinta taulukko sisälsi ja avataan sanallisesti kaavoja. Opinnäytetyön pituuden vuoksi jokaista kaavaa ei enää esitellä, vaan viitataan skenaariolaskureissa käytettäviin kaavoihin, sekä kerrotaan sanallisesti taulukon idea ja hyödyt.

Aluksi merkitsin ylös jälleen kappaleen massan, lämmönsiirtokertoimen, sähkön hinnan sekä sähkön siirron hinnan. Ensimmäiseen sarakkeeseen listasin lämpötilat asteittain. Alkaen 20 C° asteesta, jonka lämpöinen kappale on tullessaan linjastoon. Seuraavana tavoitelämpötila ja näiden erotus. Energiantarpeen laskin samalla tavalla kuin skenaariotaulukossa. (ks. Kaava 3) Mutta jaoin tuloksen 2 kertaa 60:llä ja tämän jälkeen tuhannella, niin sain tuloksen kilowattitunteina. (ks. Taulukko 14) Laskin lämmityksen hinnan asteiden välillä. Lämmityksen hintaan tarvittiin energian hinta, sähkön hinta ja siirto maksut ja tämä jaettiin sadalla. Näin saatiin hinta kuinka paljon kappaleen lämpötilan nostaminen maksaa jokaisella asteella.

Tämän jälkeen lisäsin taulukkoon lämmityskertojen määrän vuodessa, hinta vuodessa euroina, lämmitysaika minuutteina, tehon tarve kilowattitunteina sekä hyötysuhde. Hyötysuhteena käytettiin jälleen 0,7 arvoa, joka on arvio. Lisäksi tein taulukkoon sarakkeet energiantarpeelle, lämmityksen hinnalle, hinta vuodessa sekä tehon tarpeelle, hyötysuhde huomioituna. (ks. Taulukko 15).

5.7 Tulokset

Lopuksi kaikkien skenaarioiden tulokset kerättiin yhteen taulukkoon ja todettiin, että kaikista energiatehokkain ja halvin tapa lämmittää kappaletta on lämmittää sitä koko linjaston ajan. Suurin syy tälle oli se, että kappale ei pääse jäähtymään positioiden välillä, kuten esimerkiksi skenaario numero 4:ssä. (ks. Taulukko 16).

Taulukko 16. Tulokset

Cycle repletion per year 40 000						
Cycle rep	Yearly energy req. (kWh)	Scenario 7 effect (kWh)	Scenario 7 effect (€)	Est. yearly cost (€)	Req. power (kW)	Comments
Scenario 1	1 806 510	0	0	90 325	375	The object is heated throughout the cycle.
Scenario 2	1 929 253	120 000	6000	96 462	375	Curing time 67min
Scenario 3	2 406 406	600 000	30 000	120 320	303	Calculate how the addition of the H2 heating station affects the cycle.
Scenario 4	2 721 696	915 200	45 760	136 084	292	The curing time is divided between the MB, H1 and H2 positions
Scenario 5	2 210 451	871 100	43 555	110 522	375	Heated on MB and H1
Scenario 6	3 180 688	0	0	159 034	315	Heated on H1 and constantly

Kuten aiemmin ollaan todettu, nämä laskut eivät ota huomioon teknisestä ratkaisusta johtuvia tekijöitä, jotka vaihtelet valinnasta riippuen. Näitä ovat energiahäviö, energiatehokkuus, mekaniikka ja se, mitä energiaa käytetään.

Päästiin siis lopputulokseen, että kappaletta tullaan lämmittämään tuotantolinjastossa skenaario 1 mukaan. Tämän pohjalta päätettiin, että tekninen ratkaisu tulee olemaan mobiili, koska erillisiä lämmityspisteitä ei käytetä, vaan lämmitys tapahtuu kappaleen liikkussa linjastossa.

6 TEKNISEN RATKAISUN SUUNNITTELU

Yksi opinnäytetyön osa oli löytää sopivin tekninen ratkaisu asiakaskappaletta lämmitävän kappaleen lämmittämiseen. Alla on listaus kaikista realistisista tavoista lämmitää. Koska laskujen teoreettiset tulokset kertoivat, että lämmitystekniikka tulee olemaan mobiili, karsiutui joitakin ratkaisuja heti pois. Niiden toteuttaminen olisi

ongelmallista kappaleen liikkuessa linjastossa. Tästä huolimatta kaikista realistisista tavoista on esitetty lyhyt kuvaus ja toimintaperiaate.

6.1 Kaasu

Ensimmäisessä teknisessä ratkaisussa kappaleen lämmittämiseen käytettäisiin kaasua. Nestekaasua polttamalla vapautuu kemiallista energiaa, jolla voidaan lämmittää kappaletta. Tuotantolinjaston läheisyydessä olisi tila, jossa nestekaasua säilytettäisiin. Kaasua poltettaisiin polttimella ja tästä syntynyt lämpöenergia lämmittäisi kattilassa olevaa vettä. Tästä syntyy höyryä, jota voidaan käyttää kappaleen lämmittämiseen.

Tässä teknisessä ratkaisussa olisi kaksi erilaista vaihtoehtoa. Yksi vaihtoehto olisi, että asiakaskappaletta lämmittävään kappaleen rakenteisiin laitetaan putkia, joissa virtaisi kaasulla tuotettu höyry. Lämmityspisteen lähetyvillä olisi kattila, jonka sisällä olisi nestekaasua. Tai vaihtoehtoisesti yksi höyryä läpäisevä putki rakenteisiin virtauksen luomiseksi. Useilla ohuilla putkilla saavutetaan suurempi lämmönsiirtonopeus kuin pienemmällä määrällä paksuja putkia. Lämmönvaihtimen luotettavuus ja helppohoitaisuus on otettava huomioon suunnittelussa, joten putkien koossa on tehtävä kompromisseja. Toinen vaihtoehto olisi, että säiliön nestekaasua poltettaisiin kappaleella, jolloin se lämpeäisi.

Huomioitavia seikkoja tässä ratkaisussa oli erityisesti rakenteelliset haasteet. Suunnittelussa tuli ottaa huomioon, että asiakaskappaletta lämmittävän kappaleen mitat pysyvät sallituissa rajoissa, kun sen rakenteiden sisälle laitetaan putkia. Toinen rakenteellinen haaste on se, että kappaleen rakenteiden tulee kestää siihen kohdistuvat voimat, esimerkiksi paine ja mahdolliset linjastossa tapahtuvat iskut, koska putkien myötä sen rakenne muuttuu huomattavasti. Nestekaasu säiliö voitaisiin sijoittaa kauemmas tuotantolinjastosta turvallisuuden vuoksi. Säiliötä voisi olla yksi tai useampi. Riippuen esimerkiksi siitä, kuinka monessa lämmityspisteessä kaasua käytettäisiin.

6.2 Induktio, erilliset induktio levyt

Yksi mahdollinen tekninen ratkaisu kappaleen lämmittämiseen on induktio. Ensimmäisessä induktiota hyödyntävässä vaihtoehdossa asiakaskappaletta lämmittävä kappale asetetaan induktio levyjen väliin. Levyjä voisi olla kaksi kappaleen ylä- ja alapuolella. Levyn sisällä on käämi. Kappaleen pitää sisältää riittävästi magneettista materiaalia, jotta magnetoitumine tapahtuu. Induktio on nopea tapa lämmittää, jota voidaan pitää yhtenä hyvänä puolena tässä ratkaisussa. Levyt vaativat kuitenkin myös energiaa, ja ne pitää lämmittää ennen kuin itse kappale lämpiää. Tämä kasvattaa energiankulutusta.

6.3 Induktio, kappale induktiokäämin sisällä

Toinen induktiota hyödyntävä tapa on asettaa asiakaskappaletta lämmittävä kappale käämin sisään. Tässäkin tapauksessa kappaleen tulisi sisältää tarpeeksi magnetoituvaa materiaalia, jotta indusoituminen tapahtuisi. Aiempaan ratkaisuun verrattuna tämä tapa olisi energiatehokkuuden kannalta parempi vaihtoehto. Lämmittimessä ei ole lämmityselementtiä, joka varaa lämpöenergiaa. Eli lämpöelementin lämmittämiseen ei kulu energiaa.

Erillisten lämmityselementtien käyttöä voidaan kyseenalaistaa, koska tuotantolinjaston lämmityssykli ei mahdollisesti ole aina tasaista, joten ei ole tarpeellista, että lämmityselementit jäähtyvät lämmityspisteillä tässä ajassa aina tietyn verran. Ja kun taas ne laitetaan päälle, tarvitsee elementin lämmitä ensin. Voidaan siis pitää parempana vaihtoehtoa, että kappale asetetaan suoraan käämin sisään.

6.4 Erillinen lämmityselementti sähkövastuksilla

Neljäs mahdollinen tekninen ratkaisu on erillinen lämmityselementti sähkövastuksilla. Lämmityselementit voidaan asettaa lämmitettävän kappaleen ylä- ja alapuolelle ja integroida vastukset elementteihin. Tämän ratkaisun hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että asiakaskappaletta lämmitettävän kappaleen hinta ei nouse niin korkealle, kuin että lämmityskomponentit integroitaisiin sen rakenteisiin.

Huonoina puolina tässä ratkaisussa voidaan pitää ainakin kahta asiaa. Sähkökulutus todennäköisesti nousisi suureksi sekä energiahukka. Energiahukka siksi, että vastuksien tulee lämmitää ensin elementti, joihin ne on kiinnitetty, toisin kuin esimerkiksi kappaleeseen integroidut vastukset.

6.5 Vastukset integroitu kappaleeseen

Seuraava tekninen ratkaisu on vastukset integroituna asiakaskappaletta lämmitävään kappaleeseen. Vastusten avulla sähköenergia muutetaan lämmöksi. Vastukset voitaisiin sijoittaa kappaleen rakenteisiin, joko sen seiniin, kanteen tai pohjaan. Vaihtoehtoisesti kaikkiin. Kappale voidaan rakentaa osittain ontoksi, ja asettaa vastukset sinne. Toinen vaihtoehto on rakentaa se osaksi vastuselementeistä.

Tässä teknisessä ratkaisussa pitää myös ottaa huomioon rakenteelliset seikat. Kun asiakaskappale laitetaan sekä poistetaan lämmitettävän kappaleen sisältä tuotantolinjaston eri vaiheissa, kohdistuu sen myötä rakenteisiin voimaa. Vastusten integroitu kappaleen sisään vaikuttaa kappaleen kykyyn kestää voimia, joka pitää ottaa suunnittelussa huomioon.

Tämän teknisen ratkaisun huonona puolena voidaan pitää rakenteellisia haasteita, sekä hintaa. Kuten muissakin integrointia hyväksi käytettävissä teknisissä ratkaisuissa, tulisi tässäkin ottaa huomioon kappaleen kestävyys sen rakenteen muutoksen jälkeen. Lisäksi tulee huomioida, että kappaleen koko pysyy sallituissa rajoissa mekaniikan kannalta. Kappale olisi myös huomattavasti kalliimpi, jos siihen integroitaisiin vastukset. Hyvänä puolena voitaisiin pitää nopeutta. Kappale olisi nopeampi lämmitää kuin erilliset sähkövastukset. Myös energiaa säästyy enemmän, koska erillistä elementtiä ei tarvitse lämmitää.

6.6 Öljy

Yksi ratkaisu kappaleen lämmittämiseen on öljy. Öljyä polttamalla voidaan lämmitää vettä, jolla saadaan aikaan höyryä. Prosessi olisi samantapainen kuin kaasulla

lämmittäminen. Yksi vaihtoehto olisi, että tälle prosessille olisi oma tila tuotantolinjaston läheisyydessä. Öljylämmitysjärjestelmä koostuu öljykattilasta, öljypolttimesta, säätölaitteista ja öljysäiliöstä. (Energiatehokaskoti www-sivut 2021). Öljy siirrettäisiin säiliöstä öljypumpulla tai vaihtoehtoisesti erillisellä siirtopumpulla. (Pietarila, 2016). Öljyn palaminen saadaan alkuun öljylämmityskattilassa polttimen sytytyslaitteiden avulla. (Pietarila, 2016) Palamisessa vapautuva lämpöenergia siirtyy osin johtumalla sekä säteilemällä kattilaveteen, jonka kiehumisprossista saadaan aikaan höyryä. Tällä voidaan lämmittää kappaletta.

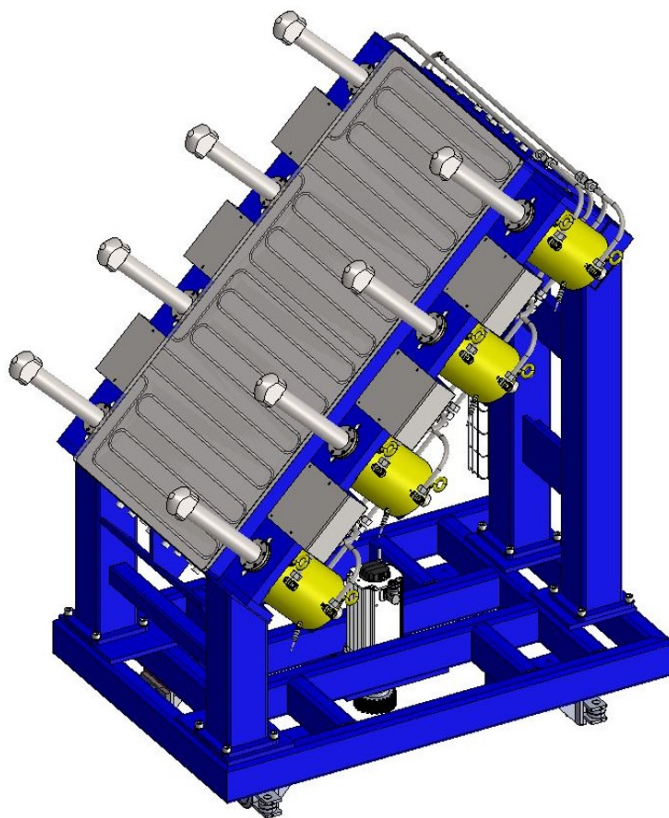
Esimerkiksi kahdella vaihtoehdolla voitaisiin toteuttaa höyryllä lämmittäminen. Yksi vaihtoehto olisi, että kappaleen sisään integroidaan putkia, joissa höyry lämmittää. Toinen vaihtoehto olisi höyryputket, jotka lämmittäisivät kappaletta ulkoapäin. Kappaleessa tulee olemaan reikiä, joista höyry pääsisi kappaleen sisälle ja lämmittämään asiakaskappaletta. Tämä vaihtoehto kuitenkin karsiutui pois sen toteutuksen hankaluuden vuoksi. Koska lämmitysratkaisu tulee olemaan mobiili, ei höyryputkien liikuttaminen linjaston kelkkojen mukana olisi järkevää.

6.7 Vaihtoehtojen vertailu

Vaihtoehtojen vertailu tapahtui aluksi mekaniikkasuunnittelijoiden kanssa, pidimme kolmen suunnittelijan kanssa lämmitykseen liittyviä workshop-tapaamisia, joissa ideoimme ja mekaniikkasuunnittelijat kertoivat näkemyksiään lämmitykseen liittyen. Keräsimme myös yhteen kaikki mahdolliset tavat lämmittää kappaletta. Tällöin laskuni eivät olleet vielä valmiit, joten emme tienneet pitäisikö ratkaisun olla mobiili vai ei-mobiili ratkaisu.

6.8 Valitun ratkaisun kuvaus

Tekniseksi ratkaisuksi valitsin erillisen lämmityselementin sähkövastuksilla. Koska skenaario laskelmissa päädyttiin siihen, että kappaletta on paras lämmittää koko syklin ajan, suurin vaikuttava asia valintaan oli ratkaisun tarve olla mobiili. Joitakin ratkaisuja olisi ollut liian haastavaa toteuttaa linjastossa liikkuvana ratkaisuna. Asiakaskappale asetettaisiin kahden elementin väliin, joissa on sähkövastukset.



Kuva 5. Kelkka, joka liikkuu tuotantolinjastossa. (Rejlers, 2021)

Valittua ratkaisua ei päästy toteuttamaan mekaniikkasuunnittelijoiden kanssa loppuun, mutta pääsimme kuitenkin rajaamaan monia vaihtoehtoja pois, kun paras tapa lämmittämiseen löytyi. Teknisen ratkaisun lopulliseen suunnitteluun tarvitaan lisää laskelmia ja mekaanista suunnittelua. Yrityksellä on tarkoitus tulevaisuudessa toteuttaa tuotantolinjastossa kiertävästä kelkasta prototyyppi, joka toimitetaan asiakkaalle. Tarkoituksena on asettaa asiakaskappale kelkkaan ja se puristettaisiin kahden lämmityselementin väliin. Kelkasta on olemassa CAD-hahmotelmia. (Ks. Kuva 5).

7 SUUNNITTELU

Suunnittelu kuvastaa prosessia, jossa ongelmanratkaisun keinoin tavoitellaan jotain määrättyä lopputulosta. Suunnittelua projektissa voidaan kuvata prosessina, joka voidaan jakaa pienempiin suunnittelutehtäviin. Kunkin tehtävän tuloksena tietty osa

syntyy tai täydentyy. Tehtävät käyttävät toisten tehtävien tuloksia, mutta koska tieto on usein puutteellista ja muutokset yleisiä, sama tehtävä suoritetaan usein moneen kertaan. (Suomen Automaatioseura ry, 2007, 13-14). Siksi laskelmat olivat hyvä tehdä Exceliin, koska muutoksia tulee varmasti tulevaisuudessa.

Etsittäessä suunnittelun lähtökohtia tulisi löytää tasapaino räätälöinnin ja valmiiden ratkaisumallien tai tuotteiden välillä. Oikea lähestymistapa on selvittää perusteellisesti asiakkaan vaatimukset, jonka jälkeen järjestelmän toiminta määriteltäisiin ottamatta kantaa toiminnan toteuttamistapaan. Toteutukseen tulisi siirtyä vasta viimeisessä vaiheessa. Tämä mahdollistaa suunnittelulle vapauden mahdollisimman pitkään. Tämän lähestymistavan tehokkuus on parempi silloin, kun aikataulu ei ole tiukka, sovellusalue ei ole tuttu tai kun tarjolla ei ole valmiita ratkaisuja. (Suomen Automaatioseura ry, 2007, 20).

Opinnäytetyön energialaskujen oli tarkoitus kuvata asiakkaalle mikä tapa lämmittää olisi kaikista taloudellisin. Tästä voitiin siirtyä tekniseen ratkaisuun ja sen suunnitteluun. Näin suunnittelu eteni yhteisen päämäärän mukaisesti ja löydettiin paras mahdollinen ratkaisu, jotka asiakasyritys tulee todennäköisesti käyttämään

7.1 Esisuunnittelu

Vaikka projekti oli esisuunnitteluvaiheessa ja moni työvaihe todella alussa, niin oli suunnittelun silti oltava laadukasta. Asiakkaan kanssa sovittu yhteinen käsitys suunnittelun kohteista ja suunnittelun kulusta oli sama. Esisuunnittelu on kaikista tärkein suunnittelun vaihe haastavissa tai epäselvissä projekteissa. Hyvä esisuunnittelu säästää rahaa, resursseja ja virheitä myöhemmissä suunnittelun vaiheissa ja toteutuksessa. Esisuunnittelun tärkein tehtävä on selventää tarvittavaa kokonaisuutta ja sitä myötä syntyviä kokonaiskustannuksia kustannustehokkaasti. Esisuunnittelun pohjalta saadaan tarkemmat lähtötiedot jatko suunnittelua varten ja hahmotelmaa tarvittavista oheistoiminnoista. (Outoplan [www-sivut 2022](#)) Tätä suunnittelu periaatetta käytettiin projektissa. Suunnittelu nähtiin avoimena muutoksille, vaikka päämäärä olikin esimerkiksi opinnäytetyölläni selkeä.

7.2 Työn eteneminen

Aloitin opinnäytetyön tekemisen tutustumalla projektiin, jonka minulle esitteli kaksi mekaniikkasuunnittelijaa, sekä esimieheni. Minulle kerrottiin työn lähtökohdat ja mitä niistä haluttiin saavuttaa. Työn ensimmäisessä vaiheessa listasin itselleni asioita ylös, joihin tarvitsin vastauksen päästäkseni eteenpäin työssäni. Aloin myös samalla tutustumaan projektin erilaisiin dokumentteihin, kuten karkeisiin suunnitelmiin tuotantolinjastosta, syklianalyysiin, SolidWorks-malleihin, sekä mekaniikkasuunnittelijoilta saatuihin Excel-taulukoihin.

Mekaniikkasuunnittelijat auttoivat paljon työn eri vaiheissa. Pidimme tiiviisti palaveriteita projektista, joissa oli mahdollisuus kysyä opinnäytetyöhöni liittyen. Koko opinnäytetyötäni helpotti se, että työni oli osa isoa projektia, joissa kaikilla osallisilla oli yhteinen tavoite ja opinnäytetyöni oli osa sitä. Näin ollen työtehtävämme ikään kuin sulautuivat myös hyvin yhteen ja apuja sai runsaasti. Työ eteni hyvin palavereiden myötä, koska näin sain vastauksia kysymyksiini ja pääsin kiinni siihen, miten haluttua lopputulosta on järkevä lähteä tavoittelemaan.

Työni toisessa vaiheessa pidimme palaverin esimieheni, sekä mekaniikkasuunnittelijoiden kanssa, joissa kävimme läpi kaikki teoriassa mahdolliset lämmitystavat kappaleelle. Näistä minun piti miettiä kaikki, jotka olisivat toteutettavissa ja vertailla niiden hyötyjä ja haittoja keskenään. Teknisiä ratkaisuja tuli yhteensä seitsemän kappaletta, jotka käydään tarkemmin läpi kappaleessa 6.

Kun olin tehnyt tarpeeksi taustatyötä, pystyin ymmärtämään syklianalyysin, eli tuotantolinjaston toiminnan hahmotelman, jossa kappaletta lämmitetään. Tämän jälkeen oli tarkoitus laskea, millaisella skenaariolla kappaleen lämmittäminen olisi järkevintä. Skenaarioita oli yhteensä seitsemän. Listasin jokaisen skenaarion Exceliin ja tein niistä laskut. Alussa ongelmia aiheutti se, että skenaarioiden hahmottaminen oli vaikeaa. Tein kuitenkin jokaisesta laskut oman näkemykseni mukaan, jotka esittelin mekaniikkasuunnittelijoille.

Seuraava työvaihe olikin selvittää, millä skenaariolla kappaletta on taloudellisin lämmitettävä. Laskut toteutettiin Excelin avulla niin, että jokaiselle skenaariolle laskettiin

energian hinta. Laskutavat, laskuissa huomioitavat seikat sekä jokaisen skenaarion tulokset esitetään tarkemmin opinnäytetyön kappaleessa 5. Tulosten perusteella todettiin, että paras tapa on lämmitellä asiakaskappaletta koko syklin ajan. Eli sen ajan, jonka se viettää tuotantolinjastossa. Seuraavassa työvaiheessa tuli selvittää, toteutetaanko valittu tekninen ratkaisu mobiilina vai ei-mobiilina. Koska taloudellisin tulos oli lämmitellä kappaletta jatkuvasti, kun se liikkuu tuotantolinjastossa, tuli tekniset ratkaisun olla mobiili. Tämän kautta pääsin seuraavaan työvaiheeseen, jossa valittiin paras tekninen ratkaisu kappaleen lämmittämiseen. Seitsemästä vaihtoehdosta oli laskujen tuloksen perusteella helppo karsia ainakin ne ratkaisut pois, joiden toteuttaminen mobiilina olisi mahdotonta tai hyvin vaikea toteuttaa.

7.3 Haasteet

Opinnäytetyö oli haastava erityisesti alussa, koska alkuun pääseminen oli vaikeaa. Pidimme mekaniikkasuunnittelijoiden kanssa palaveriteita, joissa he kertoivat tuotantolinjastosta ja sen toiminnasta. Lähtötietoja sain vähitellen. Eniten haastetta aiheutti se, että en tiennyt tuotantolinjaston syklin toimintaa selkeästi, joten en pääsisi täysin oikeisiin tuloksiin. Ongelmia kirjoitusprosessissa, sekä opinnäytetyön aiheen selkeyttämisessä aiheutti se, että tietyistä seikoista ei saanut puhua nimillä ja niistä ei saanut laittaa työhön kuvia. Haasteista huolimatta pystyin laskemisen avulla saamaan vertailukelpoisia tuloksia skenaarioiden väliltä ja ne esitettiin asiakasyritykselle. Jouduin rajaamaan aihetta opinnäytetyön pituuden vuoksi. Lisäksi teknisen ratkaisun tarkempi suunnittelu olisi vaatinut mekaniikka suunnittelijoilta resursseja.

8 YHTEENVETO JA TULOSTEN ARVIOINTI

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja esittää asiakkaalle paras tapa lämmitellä kappaletta linjastossa. Valinta perustui tehtyihin energian ja tehon tarpeen laskelmiin, joiden kautta saatiin vertailukelpoisia tuloksia. Tämän jälkeen valittiin tekninen ratkaisu, jonka valinta perusteltiin esisuunnittelussa tiedettyjen asioiden sekä lämpölaskelemien tuloksiin.

Työ aloitettiin perehdytyksellä, jonka piti jo projektiin perehtyneet mekaniikkasuunnittelijat. Käytiin läpi mitä ollaan jo suunniteltu ja minkälaisilla tiedoilla lähdetään tekemään opinnäytetyötä. Joitakin vaatimuksia oli lämmityksen, valmistusprosessin esimerkiksi kappaleiden määrän linjastossa suhteen, näitä ollaan esitetty työssä aiemmin. Apunani oli CAD-malli, joista sain mittoja laskuja varten. Fysiikan ja sähkötekniikan kirjallisuus oli myös mukana asusta asti.

Työn lopputuloksena sain laskettua jokaiselle skenaariolle karkean sähkön hinnan, joiden avulla pystyttiin esittämään asiakkaalle paras lämmitystapa. Työssä saatiin myös listattua monia mahdollisia teknisiä lämmitysratkaisuja kappaleelle ja näistä karsittiin heikot. Yksi tekninen ratkaisu löydettiin, ja todettiin sen olevan paras mahdollinen lämmitystapa näillä tiedoilla. Täysin lopulliseen tulokseen ei päästä, koska projekti on vasta esisuunnitteluvaiheessa. Mutta suunnittelun edetessä ja prototyypin valmistuessa päästään lopullisiin tuloksiin.

Skenaarioiden erojen laskeminen onnistui hyvin Excel-taulukoiden avulla. Olisin säästänyt aikaa laskemisessa, mikäli olisin keksinyt parhaimman tavan laskea heti ja olisin tehnyt energian hinnan taulukon jo alussa. Alkuun pääseminen entuudestaan tuntemattoman suuren projektin kanssa oli haastavaa, mutta perehtymällä insinöörifysiikan, sekä sähkötekniikan peruslaskuihin pääsin kiinni laskemiseen ja se alkoi sujua. Mekaniikkasuunnittelija oli kuitenkin tyytyväinen saatuihin tuloksiin ja kertoi sen hyödyllisyydestä tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Automaatioseuran www-sivut. Viitattu 2.2.2022 https://www.automaatioseura.fi/https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/automaatiosuunnittelun_proses-simalli.pdf

CadWorks Oy:n www-sivut 2021. Viitattu 2.5.2021. <https://cadworks.fi/fi/>

Energiatehokaskoti www-sivut 2021. Viitattu 8.7.2021. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/oljylammitys

Heiskanen, A. (2008). Palosuojaamattomien betonitäytteisten putkiliittopilarien palonkestävyys ranskalaisen menetelmän mukaan [AMK-opinnäytetyö, Metropolia ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200905112658>

Outoplan www-sivut. Viitattu 3.3.2022 <https://www.outoplan.fi>

Peda:n www-sivut 2022. Viitattu 01.03.2022. <https://www.peda.net>

Pietarila, S. 2016. LVI-ratkaisujen vaihtoehtovertailut rivitalojen peruskorjauksessa. AMK opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu.

Rejlers Finland Oy:n www-sivut 2021. Viitattu 20.2.2021. <https://www.rejlers.fi/>

Teräsrakenneyhdistyksen www-sivut. Viitattu 1.2.2022. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi>

