

Mikko Anttila

KYSYNTÄJOUSTON TOTEUTTAMINEN  
LASIVILLATEOLLISUUDESSA

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
2020

# KYSYNTÄJOUSTON TOTEUTTAMINEN LASIVILLATEOLLISUUDESSA

Anttila, Mikko  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2020  
Sivumäärä: 20  
Liitteitä: 0

Asiasanat: kysyntäjousto, tehdas, energiankulutus

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kysyntäjouston soveltuvuutta Forssan lasivilla tehtaalla. Työssä tutustuttiin Fingridin tarjoamiin kysyntäjousto tuotteisiin ja niiden soveltuvuuteen Forssan tehtaalla. Työn toimeksiantajana toimii Saint-Gobain Finland Oy.

Työ aloitettiin tutkimalla tehtaan suurimmat energiankuluttajat. Sen jälkeen suoritettiin koeajoja ja tutkittiin näiden vaikutus tuotteen laatuun. Työssä selvitettiin mikä olisi paras kysyntäjousto tuote näille laitteille ja onko kysyntäjouston toteuttaminen edes mahdollista.

# IMPLEMENTATION OF DEMAND ELASTICITY IN THE GLASS WOOL INDUSTRY

Anttila, Mikko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in electrical and automation engineering

May 2020

Number of pages: 20

Appendices: 0

Keywords: demand elasticity, plant, energy consumers,

---

The purpose of this thesis was to find out the suitability of demand elasticity at the Forssa glass wool plant. In this thesis, the demand elasticity products offered by Fingrid and their suitability at the Forssa plant. The work is commissioned by Saint-Gobain Oy.

The work began by investigating the plant's largest energy consumers. After that test runs were performed and their effect on product quality was investigated. The study what would be the best demand elasticity product for these devices and can demand elasticity put into action?

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	SAINT-GOBAIN OY.....	6
2.1	Lasivillan valmistus prosessi .....	6
3	OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITE.....	8
4	KYSYNTÄJOUSTO .....	9
4.1	Yleisimmät kysyntäjoustopalvelut teollisuudessa .....	9
4.1.1	Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N).....	10
4.1.2	Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D).....	10
4.1.3	Sähkömarkkinat.....	10
4.2	Kysyntäjoustopalvelujen hyödyt .....	12
5	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTTAMINEN.....	13
5.1	Sähköuunin toiminta .....	13
5.2	Kuidutuskoneiden toiminta.....	14
6	KOEAJOT .....	15
6.1	Laatuongelmat.....	15
7	TULOKSET .....	17
7.1	Prosessin arviointi.....	18
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	19
	LÄHTEET.....	20

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Saint-Gobain Finland Oy. Opinnäytetyö toteutetaan Forssan lasivillatehtaalla. Tehtaalla on käytössä lasin sulattamiseen sähköuuni, joka sulattaa päivässä noin viisikymmentätuhatta kiloa lasia. Tämän seurauksena sähkönkulutus on tehtaalla suuri ja opinnäytetyön tarkoitus on lähteä selvittämään kysyntäjouaston mahdollisuuksia tehtaalla. Käytettävät raaka-aineet eivät kuitenkaan ole tasalaatuisia, joka muuttaa paljon uunin sähkönkulutusta ja vaikeuttaa prosessin hallintaa. Uunin käyttäytymistä mahdollisiin sähkötehonmuutoksiin lähdetään tutkimaan erilaisilla koeajoilla. Työssä selvitetään myös muut suurimmat energiankuluttajat ja tutkitaan tuotannon rajoja laadun näkökulmasta.

Työn rakenne on seuraavanlainen. Toisessa kappaleessa perehdytään Saint-Gobain konserniin ja perehdytään hieman syvemmin Forssan lasivillatehtaaseen ja lasivillan valmistusprosessiin. Kolmannessa kappaleessa selvitetään opinnäytetyön tarkoitusta. Neljännessä kappaleessa käydään kysyntäjoudesta teoriaa. Viidennessä kappaleessa kerrotaan, miten opinnäytetyötä lähdettiin toteuttamaan ja perehdytään hieman syvemmin lasivillan valmistukseen, jotta lukija ymmärtää lasivillan valmistuksen haasteet. Kuudennessa kappaleessa kerrotaan, miten koeajot toteutettiin ja onnistuttiinko tavoitteissa. Seitsemännessä kappaleessa käydään läpi koeajojen tulokset ja viimeisessä kappaleessa käydään läpi johtopäätökset, mitkä tehtiin tuloksien pohjalta.

## 2 SAINT-GOBAIN OY

Tässä kappaleessa kerrotaan Saint-Gobainista ja sen liiketoiminnasta. Saint-Gobain oli siis opinnäytetyön tilaaja. Saint-Gobain Oy on yksi maailman suurimmista rakennusteollisuuden yrityksistä ja sillä on toimipisteitä jopa 67. maassa. Saint-Gobain on perustettu Pariisissa 1665 ja sen pääkonttori sijaitsee vieläkin Pariisissa. Saint-Gobainin liikevaihto on noin 42 miljardia euroa ja päätuotteina toimivat rakennuslasi ja eristeet.

Saint-Gobain Finland Oy:ssä työskentelee noin 1300 työntekijää yli kymmenessä toimipisteessä, joista kaksi ovat Isoverin toimipisteitä. Nämä sijaitsevat Hyvinkäällä ja Forssassa. Työ toteutetaan Forssan toimipisteellä. Isover valmistaa mineraalivillaeristeitä rakennusten peruskorjaukseen ja uudisrakentamiseen. Mineraalivillaeristeissä eli lasivillassa kierrätyslasin osuus on noin 85 prosenttia. Kierrätyslasin käyttö lasivillassa vähentää huomattavasti energian kulutusta prosessissa. Saint-Gobainin tärkeitä periaatteita ovatkin vastuullisuus, ympäristö ystävällisyys ja kestäväkehitys. Arvoja noudatetaan myös hyvin Forssan tehtaalla, joka otti biokaasun käyttöönsä vuonna 2010 ensimmäisenä lasivillatehtaana maailmassa.

### 2.1 Lasivillan valmistus prosessi

Lasivillan valmistus prosessin ymmärtäminen on tärkeää työnkannalta. Prosessi on helppo jakaa seitsemään vaiheeseen, kuten alla olevassa prosessikuvassa on tehty. Ensimmäisessä vaiheessa valmistetaan mänkiseos, joka koostuu kierrätyslasista, kalkkikivestä, hiekasta ja soodasta. Tämä seos kaadetaan uuniin, missä tapahtuu prosessin toinen vaihe eli sulaminen. Sulaminen tapahtuu noin 1400 celsius asteessa sähkö- tai kaasu-uunissa. Forssan tehtaalla käytetään sähköuunia. Kolmas vaihe on kuidutus, jossa nestemäinen lasi kulkeutuu syöttölaitteen kautta kuidutuskoneeseen. Kuidutuskoneessa se työntyy keskipakovoiman voiman ansiosta lingon pienten reikien läpi ja valmistaa näin todella ohuita kuitusuikaleita. Ne ruiskutetaan sideaineella ja muovataan viltiksi. Neljännessä vaiheessa kuitu kulkeutuu kypsyty-suunin läpi, jossa kuitu kovettuu ja samaan aikaan uunissa viltti puristetaan lopulliseen paksuuteensa.

Viidennessä vaiheessa tapahtuu lasivillan muotoilu eli siihen liimataan pinnoite tai pinnoitteita, tuotteesta riippuen, jonka jälkeen lasivilla leikellään haluttuihin mittoihin ja sahausjätteet palautetaan takaisin valmistusprosessiin. Kuudennessa vaiheessa tapahtuu villan pakkaaminen. Jotkut lasivillatuotteet pystytään pakkaamaan jopa kymmenesosaan niiden tilavuudesta, joten pakkaaminen on hyvin tärkeä vaihe prosessia. Viimeisessä vaiheessa paketit siirretään kuormalavalle ja sen jälkeen ne ovat valmiina kuljetettavaksi maailmalle. Myöhemmin työssä perehdytään vielä hieman tarkemmin kuidutukseen ja sulatukseen. Näissä prosessivaiheissa tapahtuu suurimmat muutokset, kun sähkötehoa säädetään.



Kuva 1. Seitsemän vaihetta lasivillan valmistuksessa (Isoverin www-sivut 2020.)

### 3 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITE

Tässä kappaleessa kerrotaan, mitkä olivat tilaajaan esittämät tavoitteet opinnäytetyöhön. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, mikä kysyntäjousto palveluista olisi paras vaihtoehto Forssan tehtaalle vai onko kysyntäjousto edes mahdollista toteuttaa Forssan tehtaalla vai kärsiikö tuotanto siitä liikaa. Tavoite olisi siis löytää kysyntäjousto palveluista paras vaihtoehto taloudellisesti, joka ei kuitenkaan vaikuttaisi tuotantoprosessiin. Kuitenkin työn hyväksyttävä tulos on myös se, että kysyntäjousto ei kannata lähteä toteuttamaan Forssan tehtaalla. Ohessa tutkitaan myös tehtaan suurimmat sähkökuluttajat ja selvitetään tarkemmin tuotannon laadullisia rajoja.



## 4 KYSYNTÄJOUSTO

Tässä kappaleessa perehdytään, mitä kysyntäjoustolla tarkoitetaan ja kerrotaan yleisimmistä kysyntäjousto muodoista. Suomen koko kantaverkon haltija on Fingrid, joten se tarjoaa kaikki suomen kysyntäjousto palvelut.

Kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkönkäytön siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta edullisempaan ajankohtaan tai käytön hetkellistä muuttamista tehotasapainon hallinnan tarpeisiin. (Fingridin www-sivut 2020)

Kaikkialla jousto tapahtuu pääosin automaatioon perustuen. Kuluttajan aktiivisuutta tarvitaan lähinnä investointipäätöksessä, joten kysyntäjousto on vaivatonta ja helppoa. (Smartenergytransitionin www-sivut 2020)

Kysyntäjoustopalvelun tarve on lisääntynyt Suomessa vuosi vuodelta, kun joustamattoman energian tarve verkossa on kasvanut. Kysyntäjoustolla yritetään varmistaa nykyisen sähkömarkkinamallin säilyminen jatkossakin. Suomen sähkömarkkinoilla reservinä on toiminut pääsääntöisesti suurteollisuus eli metalli-, metsä- ja kemianteollisuus. Osallistuminen kysyntäjoustopalveluun vaatii yleensä yrityksiltä investointeja, mutta pidemmällä tähtäimellä se on taloudellisesti kannattavaa ja ympäristöystävällistä.

Valtakunnan verkko perustuu tehotasapainoon eli joka hetki kaikki kulutettu sähkö myös tuotetaan jossain. Jos näin ei ole, tasapaino ei säily. Tehotasapainoa ylläpidetään tyypillisesti ohjaamalla sähköntuotantoa, esimerkiksi käynnistämällä varavoimavaihtoehtoja. Samaan lopputulokseen päästään myös kysyntäjoustopalvelun avulla. (Helenin www-sivut 2020)

Uusi asia sähkömarkkinoilla ovat myös aggregaattorit eli yritykset, jotka muodostavat pienkulutuksesta ja -tuotannosta isomman kokonaisuuden, joka voi osallistua eri markkinoille. (Fingridin www-sivut 2020)

### 4.1 Yleisimmät kysyntäjoustopalvelut teollisuudessa

Yleisimmät kysyntäjoustopalvelut teollisuudessa ovat taajuusohjatut käyttö- ja häiriöreservit. Niillä voi käydä kauppaa joko tunti- tai vuosimarkkinoilla. Myös molemmilla markkinoilla on mahdollista käydä kauppaa samanaikaisesti, mutta samaa reservi

kapasiteettia ei voi myydä molemmille markkinoille. Tuntimarkkinoista Fingrid maksaa pääsääntöisesti parempaa korvausta, mutta se vaatii sähkönmyyjän tekemään tarjouksen jokaiselle tunnille erikseen. Vuosimarkkina tarjoukset kilpailutetaan kerran vuodessa.

#### 4.1.1 Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)

Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N) on taajuuden vakautusreservi, joka pyrkii pitämään taajuuden normaalitaajuusalueella 49,9 - 50,1 Hz. Vakautusreservin tulee aktivoitua askelmaisen 0,10 Hz:n taajuusmuutoksen seurauksena täysimääräisesti kolmessa minuutissa. Taajuudensäädön kuollut alue saa olla korkeintaan  $50 \pm 0,01$  Hz (Fingridin www-sivut 2020)

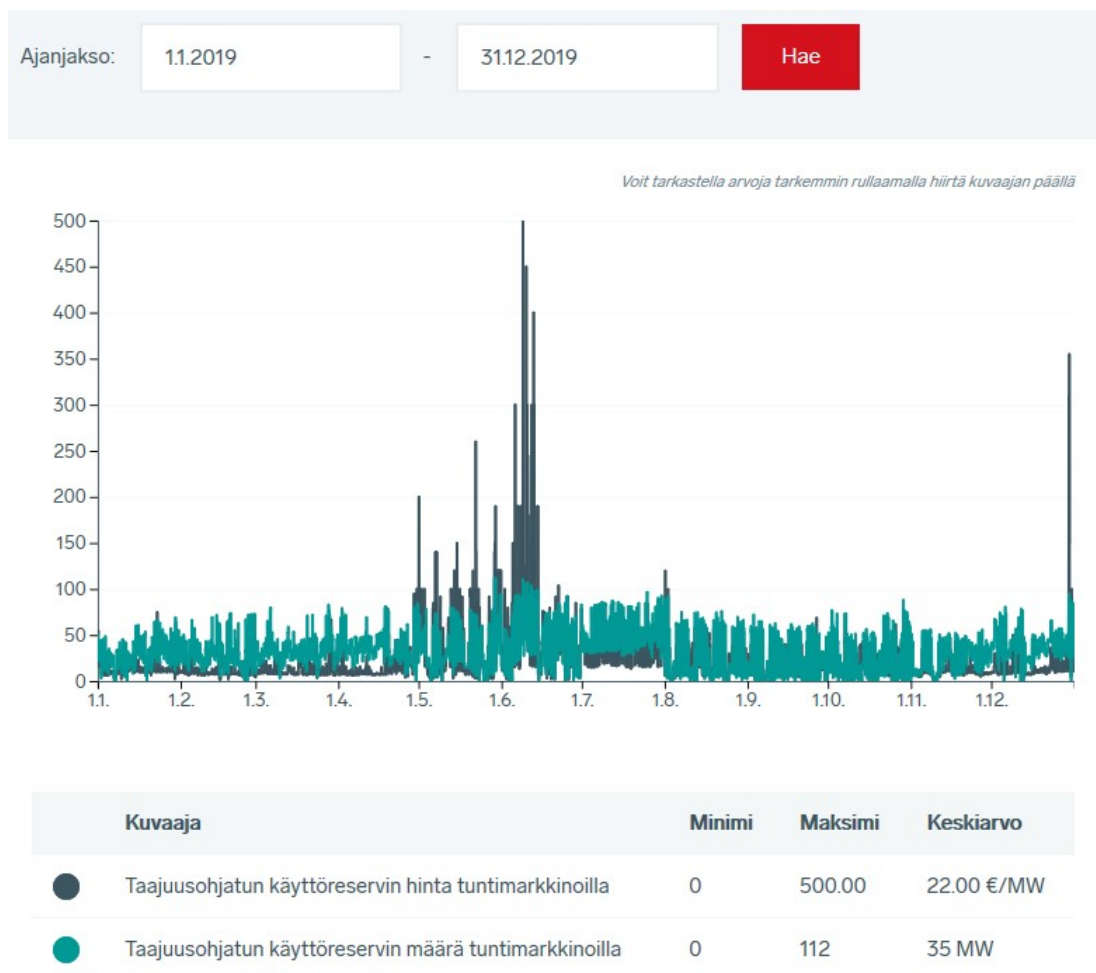
#### 4.1.2 Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)

Taajuusohjatussa häiriöreservissä reservikapasiteetin aktivointi tulee aloittaa, kun taajuus laskee alle 49,9 Hz:n. 100 % reservikapasiteetista on aktivoitava, kun taajuus on 49,5 Hz tai alle. Taajuusalueella 49,5–49,9 Hz aktivoitun kapasiteetin määrän tulee olla verrannollinen taajuuspoikkeaman suuruuteen. Taajuusohjatussa häiriöreservistä vähintään 50 % tulee aktivoitua viidessä sekunnissa ja 100 % 30 sekunnissa -0,50 Hz:n suuruisen askelmaisen taajuusmuutoksen seurauksena. Jos reservikohde kykenee säätämään tehoaan jatkuvasti, säädön tulee olla lineaarinen taajuusalueella 49,5–49,9 Hz (Fingridin www-sivut 2020)

#### 4.1.3 Sähkömarkkinat

Pohjoismaissa sähkömarkkinat käydään Nord Poolin kautta, joka on Euronextin, Baltian maiden ja pohjoismaiden kantaverkkoyhtiöiden yhdessä omistama sähköpörssi. Sähkömarkkinoiden idea on saada asiakkaat ostamaan sähköä halvemmilla hinnoilla, silloin kun sähkön kysyntä on vähäistä. Sähkö on yleensä edullisempaa yöllä ja talvi-aikaan, koska sähkölaitteiden käyttö on yöllä vähäisempää. Talvisin se on halvempaa

kuin kesällä, koska asuntoja ja tehtaita jähdytetään paljon puhaltimilla kesäaikaan. Tämän seurauksena sähkönkulutus nousee valtavasti kesäisin. Sähkömarkkinoille osallistuminen kuitenkin torjuttiin työn tilaajan toimesta välittömästi. Sähkönkäyttöä ei voida siirtää edullisemmille tunneille, koska tuotanto on Forssan tehtailla käynnistä katkeamattomasti.



Kuva 2. Toteutuneet tuntikaupat, taajuusohjattu käyttöreservi (Fingridin www-sivut 2020.)

## 4.2 Kysyntäjoustop hyödyt

Kysyntäjoustop tavoitteena on energiatuotannon taloudellisuuden parantaminen ja ympäristöhaittojen ehkäiseminen (Koskelainen et al. 2006, s. 101). Kysyntäjoustopista on paljon hyötyä yhteiskunnalle ja sähkönkäyttäjille. Kysyntäjoustopin hyötyjä ovat esimerkiksi.

Sähkön edullisempi hinta ja pienemmät hankintakustannukset edistävät suomalaisen yhteiskunnan kilpailukykyä, teollisuuden ja yritysten toimintaedellytysten säilymistä maassamme. Kysyntäjoustopin hyödyt kansantaloudessa näkyvät sähköjärjestelmän tehokkaampana käyttönä. Olemassa olevan sähköverkon tehokkaampi käyttö vähentää uusinvestointien tarvetta ja huippukuormalaitosten tarvetta ja tuo säästöjä koko kansantaloudelle. Laajamittainen kysyntäjoustopin hyödyntäminen vaikuttaa myös muiden sähkönkäyttäjien sähkön hintaan alenevasti, koska huippukuormitus pienenee kysyntäjoustopin ansioista (Elfin www-sivut 2020). Kysyntäjoustopin avulla yritysten on mahdollista parantaa kilpailukykyään pienentyneiden sähköenergiakustannusten ansioista (Linna, Nuutinen 2012 s. 54).

## 5 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTTAMINEN

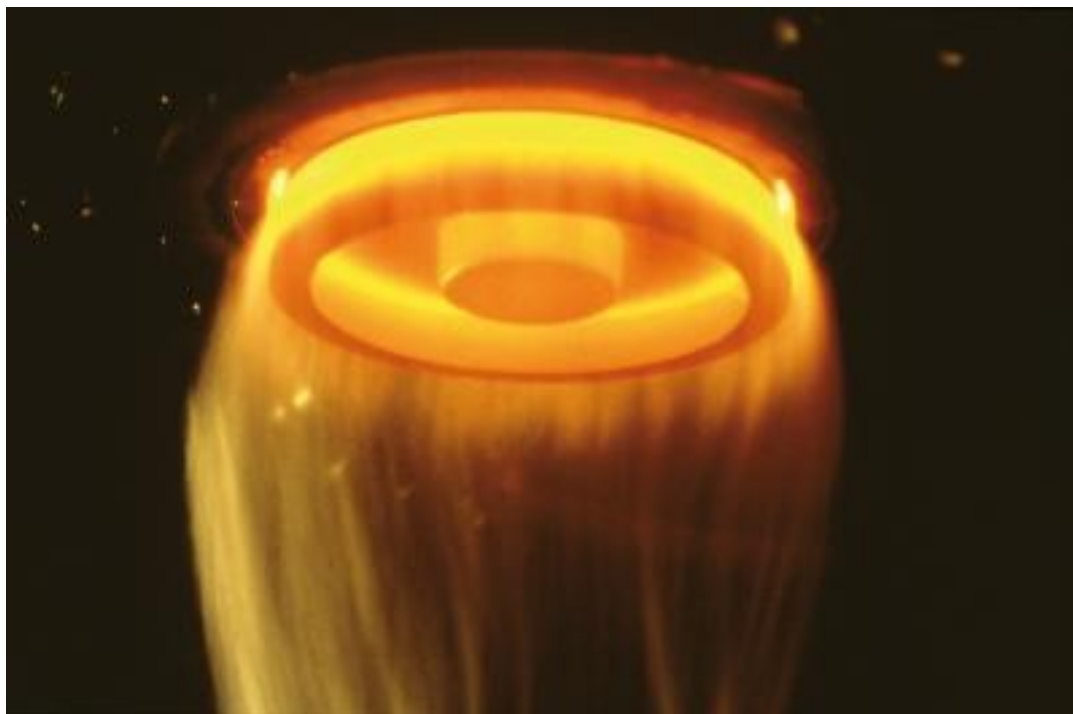
Tässä kappaleessa selvitetään, miten opinnäytetyötä lähdettiin toteuttamaan ja avataan tarkemmin prosessin tärkeimpiä vaiheita. Tärkeimmät vaiheet ovat siis sähköuuni ja kuidutuskoneet. Opinnäytetyö aloitettiin selvittämällä tehtaan sähkönkulutus, joka oli vuonna 2014 25 682 megawattituntia. Vuoden 2014 jälkeen ei olla tehty suuria laite muutoksia, jotka vaikuttaisivat merkittävästi sähkönkulutukseen. Sen jälkeen eriteltiin laitteet missä on suurimmat sähkönkulutukset. Ylivoimaisesti suurimmaksi sähkönkuluttajaksi nousi sulatusuuni, jota ajetaan 1300-1750 kilowatin teholla. Sulatusuunia ohjaa Bernand & Bonnefondin valmistama Varivolt Sulatusmuuntaja, joka on valmistettu Ranskassa. Sulatusmuuntajan nimellisteho on 2,6 megavoltti ampeeria ja pätöteho 2,1 megawattia. Toiseksi suurin sähkönkulutus oli imukaapin ykkösimurilla, jonka maksimiteho on 100 kilowattia ja sitä ajetaan aina vähintään 80 prosentin teholla tuotannon ollessa käynnissä. Imun tehoja ei voida laskea edes väliaikaisesti, muuten kuitu ei levity kuljettimelle tasaisesti ja lopputuotteen laatu on surkea. Muita suurilla sähköteholla toimivia laitteita ei tehtaalla ole. Näiden tietojen myötä kysyntäjoustop toteuttaminen rajattiin vain ja ainoastaan sulatusuuniin.

### 5.1 Sähköuunin toiminta

Sähköuuni on toiminnaltaan todella yksinkertainen. Uuniin syötetään päivittäin noin 65 000 kiloa raaka-aineita, joka koostuu pääsääntöisesti kierrätys lasista. Lasin seassa on erilaisia palamislämpötilaa alentavia ja hapettavia aineita esimerkiksi soodaa, kalkkia, natriumnitraattia ja maasälpää. Uunin pohjalla on 12 elektrodiä, joiden välillä kulkeva virta sulattaa lasin noin 1200 asteiseksi. Elektrodien virta saa lasin liikkeelle, josta se kulkeutuu noin 10 metriä pitkään lasikanavaan, jossa lasin lämpötilaa säädetään vielä ennen kuin se pääsee linkokoneisiin.

## 5.2 Kuidutuskoneiden toiminta

Kun sulaneen lasin lämpötila on saatu optimoitua lasikanavassa, valuu lasi kuidutus-koneeseen. Koneessa lasi valuu linkoon. Lingossa on sisä- ja ulkopoltin, jotka lämmitetään kaasulla. Lingon lämpötila on noin 1300-1400 astetta ja kierrokset 2100-2500. Tämän synnyttää keskipakovoiman lingon sisällä olevalle lasille ja lasi sinkoutuu lingon alle yhden millimetrin kokoisista pienistä reistä. Sitten kuitu jäädytetään nopeasti, jotta se jäähmettyy ja kovettuu. samaan aikaan kuituun ruiskutetaan sideaineita ja vettä. Forssassa kuidutuskoneita on kolme kappaletta. Kuitu laskeutuu alla olevalle imuviiralle tasaiseksi matoksi. Tämän jälkeen kuitu matkaa paistokanavaan, jossa se kypsytetään lopulliseen olomuotoonsa lasivillaksi. Lopuksi lasivilla muotoillaan asiakkaan haluamalla tavalla. Tällainen on lasivillan valmistus prosessi yksinkertaistettuna. Tärkeintä on ymmärtää, että kuidutus vaihe on koko prosessin sydän ja sen onnistuminen vaatii oikeat olosuhteet. Laatuongelmista kerrotaan tarkemmin seuraavassa kappaleessa.



Kuva 3. Linkokone, jonka linko syöksee kuitua keskipakovoiman ansiosta (Isoverin [www-sivut](http://www.isover.com) 2020.)

## 6 KOEAJOT

Tässä kappaleessa käydään läpi, miten uunia säädettiin ja miten se vaikutti prosessiin. Alue saatiin rajattua uunin säätämiseen, joten aloitimme koeajot ja selvitimme kuinka suuret säädöt ovat mahdollisia ilman tuotannon kärsimistä. Koska muuntajan pätöteho on 2,1 megawattia ja maksimiteho, jolla uunia käytetään on 1750 kilowattia, otimme tavoitteeksi säätää uunia 300 kilowattia mahdollisemman nopeasti molempiin suuntiin. Uunin sulatusmuuntajaa säätää ABB ACS 143 taajuusmuuntaja, jonka ohjaus on toteutettu pulssi valvonnalla täysin automatisoidusti. Pulssi valvonta oli toteutettu 60 sekunnin viiveellä ja taajuusmuuntajan sähkövirta oli vain 4 milliampeeria eli 300 kierrosta minuutissa. Pulssivalvonnan viive laskettiin 6 sekuntiin ja ampeerit nostettiin 12 milliampeeriin ja kierrokset nousivat 900 kierrokseen minuutissa. Käytännössä näillä säädöillä nostettiin säätöjen tiheyttä ja säätötehoa. Näillä säädöillä pääsimme toivottuun 300 kilowattiin noin 30 sekunnissa ja teho onnistuttiin laskemaan ja nostamaan samaa nopeutta. Tuotantoon sähkötehonsäätö alkoi vaikuttamaan noin tunnin kuluttua. Jos tehoa nostettiin 300 kilowattia olivat vaikutukset seuraavanlaiset. Linkokoneiden valutukset kasvoivat hieman ja tuotteesta tuli raskaampaa ja lopputuote oli niin sanotusti ylilaatua. Ongelmaksi muodostui tehonlasku, jonka seurauksena lasin sulaminen alkoi heikentyä ja valutus kuidutuskoneilla tippua. Tämä olisi korjattavissa laskemalla tuotannon nopeutta. Suuremmaksi ongelmaksi kuitenkin koitui se, että lasikanavassa ei saada nostettua sulaneen lasin lämpötilaa optimaaliselle tasolle. Lasin optimaalinen lämpötila riippuu siitä, millaista lasiseosta käytetään. Forssan tehtaalla tämä lämpötila on noin 1040 celsius astetta. Lasin kylmenemisen seurauksena kuitu huononee ja lopputuote on laadultaan huonompaa. Kun sähkötehon säätö alaspäin on kestänyt noin kaksi tuntia, on tuotteen laatu niin heikkoa, että koko tuotanto joudutaan keskeyttämään.

### 6.1 Laatuongelmat

Aikaisemmin on jo todettu, että laadukas lasivilla tarvitsee optimaaliset olot. Kaikista useimmin laatuongelmat johtuvat sulatuksessa ja kuidutuksessa tapahtuvista muutoksista. Koeajoissa meidän suurimmat laatuongelmat johtuivat sulaneen lasin lämpötilan

muutoksessa. Jos sulanut lasi on liian kylmää, niin kuidusta tulee liian lyhyttä ja karkeaa. Jos taas sulanut lasi on liian kuumaa niin kuidussa on mikrohalkeamia ja kuidun kiilto katoaa. Jos lasi on noin 200 celsius astetta liian kuumaa, niin se ei muutu enää kuiduksi vaan pysyy sulana lasina. Mikrohalkeamat lyhentävät kuidun käyttöikää huomattavasti.



## 7 TULOKSET

Tässä kappaleessa kerrotaan, millaisiin tuloksiin päästiin sähköuunin säädöillä ja arvioidaan opinnäytetyön onnistumista prosessina. Säädettävän sähkötehon suuruudeksi saimme siis 300 kilowattia ja säätönopeudeksi 30 sekuntia. Säätönopeutta pystyttäisiin toki vielä pudottamaan noin kahteenkymmeneen sekuntiin, mutta se ei vaikuttaisi mihiin kysyntäjousto palveluihin voimme osallistua. Näillä säätönopeuksilla ja säätötehoilla ainoaksi mahdolliseksi vaihtoehdoksi jäi siis taajuusohjattu käyttöreservi. Taajuusohjatussa käyttöreservissä säädön vähimmäisteho on 0,1 megawattia ja säätönopeus kolme minuuttia 0,1 hertsin taajuusmuutoksesta Suomen kantaverkossa. Taajuusohjatussa käyttöreservissä tapahtuu useita säätöjä vuorokaudessa, joiden kesto on yleensä noin 15-30 minuuttia. Pisimmillään säädöt voivat kuitenkin olla jopa 5 tuntia, joka tulee tuottamaan paljon ongelmia sulatusuunille ja siitä vastaaville operaattoreille. Taajuusohjatussa käyttöreserville on kahdet markkinat tunti- ja vuosimarkkinat. Alla olevassa taulukossa on laskettu niistä saatavat taloudelliset hyödyt vuoden 2019 markkinahinnoilla. Tuntimarkkinoiden etu olisi, että niihin voi osallistua kesken vuoden. Vuosimarkkinoilla tarjouskilpailu järjestetään vain kerran vuodessa. Tuntimarkkinoille liittyminen tuottaisi paljon ylimääräistä työtä siitä vastuussa olevalle henkilölle ja saattaisi vaatia jopa uuden työntekijän palkkaamista.

Taulukko 1. Taajuusohjatun käyttöreservin vuosisäästöt

Taajuusohjattu käyttöreservi	Vuosimarkkinat	Tuntimarkkinat
keskihinta (€/MWh)	13,5	22
Käyttöpäivät	350	350
käyttötunnit vuorokaudessa	24	24
Käyttöreservin määrä (MW)	0,3	0,3
Taloudellinen säästö	<b><u>34 020 €</u></b>	<b><u>55 040 €</u></b>

## 7.1 Prosessin arviointi

Työn toteuttaminen onnistui melko hyvin. Suurimmaksi ongelmaksi koitui se, että uuniin tehomuutokset vaikuttavat lasin sulamiseen hyvin hitaasti. Sen lisäksi tuotevalikoima tehtaalla on hyvin laaja ja lasin valutusta linkokoneille vaihdetaan usein. Tästä syystä vaikutuksia laatuun oli vaikea tutkia. Myös jotkin laatumittaukset vievät aikaa useamaan tunnin. Näiden seurauksena tutkimustyö oli paljon hitaampaa mitä oletin. Myös COVID-19 infektio toi omat haasteensa työhön, koska ihmiskontaktit piti saada mahdollisimman vähäisiksi. Kuitenkin olen kokonaisuudessa hyvin tyytyväinen omaan ja Forssan tehtaan henkilöstön työpanokseen, sillä kaikissa tavoitteissa onnistuttiin.

Työn tavoitteena oli selvittää tehtaan suurimmat energiankuluttajat ja tutkia niiden mahdollisuuksia kysyntäjousto. Selvisi, että uuni on ainoa mahdollinen laite mitä voidaan käyttää kysyntäjoustopa. Muita tavoitteita oli selvittää paras vaihtoehto kysyntäjousto tuotteista ja sen vaikutuksesta tuotantoon. Taajuusohjatusta käyttöreservistä jäi ainut vaihtoehto, mikä näillä laitteilla pystytään toteuttamaan. Kuitenkin suuret ongelmat tuotannossa alkavat noin kahden tunnin kuluttua tehosäädöstä. Lopuksi oli tärkeimmän päätöksen aika eli kannattaako lähteä mukaan kysyntäjoustopa tarjoukseen. Valitettavasti kysyntäjousto tuottaisi liian paljon harmia tuotannolle ja siihen ei kannata lähteä mukaan. Kokonaisuudessaan työ oli siis kuitenkin onnistunut, vaikka päädyttiin kielteiseen ratkaisuun.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kappaleessa kerrotaan lopulliset johtopäätökset kysyntäjoustopäätösten toteuttamisesta ja kerrataan syyt lopulliseen päätökseen. Kysyntäjoustopalveluita ei kannata lähteä toteuttamaan näillä laitteilla, koska taloudelliset säästöt ovat liian pienet riskeihin nähden. Jos tehoa joudutaan laskemaan yli tunniksi alkaa tuotteen taso laskea ja pahimmillaan joudutaan koko tuotanto keskeyttämään. Huonoimmassa tapauksessa heikompi laatu lasivillaa voisi päästä lähtemään maailmalle. Se olisi iso kolhu yrityksen brändille ja yhdenkin suuren asiakkaan menettäminen tuottaa huomattavasti suuremmat tappiot kuin taajuusohjatun käyttöreservin mahdolliset tuotot. Kysyntäjoustopalveluiden miettimistä kannattaa harkita uudelleen, kun koittaa aika hankkia uusi lasikanava ja uuninsulatusmuuntaja tai vaihtoehtoisesti suomen kantaverkosta tulee entistä vakaampi ja sen pitkäkestoiset häiriöt ovat lähes nollassa.

Jos kysyntäjoustopalvelua lähdetään joskus toteuttamaan Forssan tehtaalla tulevat kustannukset olemaan hyvin pienet, koska automaatiosta löytyy jo valmiiksi taajuudenmittaus. Ainoa tarvittava hankinta on liityntälaitte, joka ottaa vastaan automaatiojärjestelmästä standardiviesteinä lasiuunien reaaliaikaisen tehomittauksen, sekä signaalitiedon siitä, että säätövelvoitteen mukainen valmius säätöjen suorittamiseen on voimassa. Automaatiojärjestelmään tulee toteuttaa turvatoimintona kysyntäjoustopäätöksen ohjaussignaalin ohitus siltä varalta, että joustoon osallistuminen joudutaan keskeyttämään. Sen lisäksi automaatiojärjestelmään tulee toteuttaa kaksi lähes identtistä set / reset piiriä, jotka ohjaavat säätövelvoitteet päälle tai pois.

Vaikka kysyntäjoustopalvelua ei ikinä lähdettäisi toteuttamaan Forssan tehtaalla on työstä saatu silti varmasti hyötyä. Tehtaalle saatiin selvitettyä suurimmat energiankuluttajat ja lisäksi saatiin selville tuotannonrajat laadullisesta näkökulmasta katsottuna. Kielteisellä johtopäätöksellä selvittää myös turhilta investoinneilta ja mahdollisilta laatuongelmilta.

## LÄHTEET

Fingridin www-sivut. 2020. Viitattu 1.4.2020. <https://www.fingrid.fi/>

Isoverin www-sivut. 2020. Viitattu 4.5.2020 <https://www.isover.fi/>

Isover 2004 TEL-prosessin periaatteet. Luentomateriaali Gliwicen henkilöstö koulutuksesta Puolasta vuodelta 2004.

Linna, J., Nuutinen, J. 2012 Energiaopas pienille ja keskisuurille yrityksille. Elinkeinoelämän keskusliitto.

Koskelainen, L., Saarela, R. & Sipilä, K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus Ry. 566 s. ISBN: 952-5615-08-1

Elfin www-sivut 2020 Viitattu 5.5.2020 <https://www.elfi.fi/>

Helenin www-sivut 2020 Viitattu 7.5.2020 <https://www.helen.fi/helen-oy/helen-oy>

Smartenergytransitionin www-sivut 2020 Viitattu 6.5.2020 <http://smartenergytransition.fi/fi/etusivu/>