

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Energia- ja polttomoottoritekniikka

2015

Vesa Haaksi

RASKAAN POLTTOÖLJYN KORVAAMINEN TUOTEKAASULLA

– Kustannushyödyt



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Energia- ja polttomoottoritekniikka

2015 |31

Kari Nieminen

Vesa Haaksi

RASKAAN POLTTOÖLJYN KORVAAMINEN TUOTEKAASULLA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella mahdollisia taloudellisia hyötyjä, joita saadaan korvaamalla osa raskaan polttoöljyn käytöstä puukaasuttimella tuotetulla tuotekaasulla. Opinnäytetyössä perehdyttiin Turku Energian Artukaisiin rakennuttamaan puukaasutinlaitokseen ja sen toimintaan.

Työtä varten kartoitettiin mahdollisimman tarkkaan kaasutinlaitteiston käyttöastetta ja arvioitiin paljonko raskasta polttoöljyä tarvitsee käyttää kaasuttimen ohella. Vertailun pohjana käytettiin vuoden 2014 todellisia öljynkulutuksia, höyrynkulutuksia, tehoja sekä toteutuneita kustannuksia. Näiden tietojen avulla selvitettiin, mitkä olisivat kustannukset olleet, mikäli kaasutinlaitos olisi ollut käytössä koko vuoden. Vertailussa otettiin huomioon polttoainekustannusten lisäksi kaasutinlaitteiston investointikustannukset sekä käytöstä aiheutuvat muut kustannukset, kuten huolto ja kunnossapito. Lisäksi asiakkaan Turku Energialle maksama hinta riippuu tavasta, jolla höyryä on tuotettu, joten nämä asiat huomioitiin myös. Opinnäytetyössä tarkasteltiin myös korkeamman öljynhinnan vaikutusta kokonaiskustannuksiin.

Tarkastelussa tultiin siihen tulokseen, että vuonna 2014 olisi saatu huomattavia säästöjä, mikäli osa raskaasta polttoöljystä olisi korvattu tuotekaasulla. Suurin yksittäinen tekijä oli huomattavasti halvempi polttoaine, joka laski kokonaiskustannusten määrää. Tarkasteluvuonna 2014 öljyn hinta oli hyvin alhaalla, mikä vääristää osaltaan tuloksia. Kuitenkin öljyn hinnan noustessa pysyy tuotekaasu edelleen edullisempänä vaihtoehtona myös asiakkaan kannalta tarkasteltuna.

ASIASANAT:

Kaasuttimet

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering | Energy- and combustion engine technology

2015 | 31

Kari Nieminen

Vesa Haaksi

REPLACING OF HEAVY FUEL OIL WITH SYNTHESIS GAS

The aim of this thesis was to examine the potential economic benefits that are obtained by replacing a part of the use of heavy fuel oil with synthesis gas, produced by a gasifier. This thesis focuses on Turku Energias gasifier located in Artukainen.

In this work, the utilization rate was identified as precisely as possible and the amount of heavy fuel oil that needs to be used along with the gasifier was identified. The comparison was made by using the real oil and steam consumption as well as power and actual costs in 2014. Using this information, the goal was to find out what the costs would have been if the gasifier had been used throughout the year. The comparison took into account the cost of fuel in addition to the gasifier's investment costs and other costs arising from the use, such as service and maintenance costs. Additionally, the price paid by the customer to Turku Energia depends on the manner in which steam is produced, so naturally, these factors also were taken into consideration.

The conclusion is that in 2014 substantial savings would have been obtained if a part of the heavy fuel oil had been replaced with synthesis gas. The biggest single factor was considerably cheaper fuel, which decreased the amount of total costs. In the reference year 2014 the price of oil was very low and distorted the results. However, when the price of oil rises, the synthesis gas will still remain more preferable alternative from the customer's point of view. The thesis also examined the impact of higher oil prices to the overall costs.

KEYWORDS:

Gasifiers

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 KAASUTUS	7
2.1 Kuivuminen	8
2.2 Pyrolyysi	8
2.3 Palaminen	9
3 KAASUTUSTEKNIIKAT	10
3.1 Leijukerroskaasutus	10
3.1.1 Kerrosleijukaasutin	10
3.1.2 Kiertoleijukaasutin	10
3.2 Kiinteäkerroskaasutus	11
3.2.1 Myötävirtakaasutin	11
3.2.2 Vastavirtakaasutin	12
3.2.3 Ristivirtakaasutin	14
4 LAITTEISTO	15
4.1 Alkuperäinen laitteisto	15
4.2 Kaasutinlaitteisto	16
4.2.1 Polttoaine ja varasto	16
4.2.2 Kaasutin ja sykloni	18
4.2.3 Tuhkajärjestelmä	19
4.2.4 Kaasupoltin	20
5 KUSTANNUKSET	22
5.1 Raskaan polttoöljyn käyttö	22
5.2 Hakkeen ja raskaan polttoöljyn yhteiskäyttö	24
6 TUOTOT	27
6.1 Raskaan polttoöljyn käyttö	27
6.2 Hakkeen ja raskaan polttoöljyn yhteiskäyttö	28
7 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	31

KUVAT

Kuva 1. Myötävirtakaasuttimen rakenne (Manglam Biomass Gasifier 2012).	11
Kuva 2. Vastavirtakaasuttimen rakenne (GB Gasified 2012).	13
Kuva 3. Ristivirtakaasuttimen rakenne (Engineering Design Encyclopedia 2012).	14
Kuva 4. Suurempi 3MW:in kattila Oilonin öljypolttimella.	15
Kuva 5. Kolmivetoinen tulitorvi-tuliputkikattila (Energy Solutions Center Inc. 2002).	16
Kuva 6. Hakevaraston vasen puoli, ajorampit ja pohjapurkaimet.	17
Kuva 7. Polttoainetta ensimmäisestä saapuneesta kuormasta.	18
Kuva 8. Vasemmalla kaasutusreaktori, takakulmassa sykloni sekä oikealla edessä tuotekaasupuhallin.	19
Kuva 9. Tuhkan kuljetinruuvi ja tuhkasäiliö.	20
Kuva 10. Kaasupoltin kiinnitettynä kattilaan.	21

TAULUKOT

Taulukko 1. Haihtuvien aineiden määrä eri polttoaineilla (Huhtinen ym. 1997, 35).	7
---	---

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia mahdollisia kustannushyötyjä, joita saadaan vaihtamalla raskasöljyn polttaminen puusta kaasuttamalla saatavaan tuotekaasuun. Tarkasteltavana laitoksena on Turun Tekstiilihuollon Artukaisissa sijaitsevan pesulan yhteyteen rakennettu Turku Energia Oy:n puukaasutuslaitos, joka tuottaa pesulan tarvitseman prosessihöyryn. Puukaasutinlaitteiston on toimittanut Gasek Oy.

Laitoksessa oli ennen kaksi raskasöljyllä toimivaa höyrykattilaa, joista toisen kattilan poltin korvattiin kaasupolttimella ja yhteyteen rakennettiin kaasutinhuone ja puupolttoaineen varasto.

Puukaasutin yksinään ei kykene pitämään yllä pesulan tarvitsemaa höyryntuottoa, minkä vuoksi toista raskasöljykattilaa täytyy käyttää tukemaan kaasutinta. Työssä tarkastellaan yksinomaan tämän yhdistelmän tuomia säästöjä. Rakennusvaiheessa on kuitenkin otettu huomioon optio toisellekin puukaasuttimelle, jolloin raskasöljyn polttamisesta päästäisiin kokonaan eroon.

2 KAASUTUS

Kaasutuksen tekniikka ylettyy kauas ja se on kehitetty jo 1900-luvun alkupuolella ja perustuu hiilen kaasuttamiseen. Puun kaasutus pääsi suureen mittakaavaansa toisen maailmansodan aikana, jolloin bensiiniä alettiin korvata niin sanotuilla häkäpöntöillä. Hyvälaatuista ja kuivaa puuhaketta kaasutettiin erillisellä häkäpöntöllä ja syntynyt tuotekaasu voitiin polttaa auton moottorissa. (Bioenergiatieto 2012.)

Kaasutuksessa kiinteä polttoaine muutetaan kaasumaiseen muotoon polttamalla sitä ali-ilmalla, jolloin polttoaineesta vapautuvat haihtuvat aineet, kuten hiilimonoksidi (CO), vety (H₂), metaani (CH₄) sekä hiilidioksidi (CO₂). Haihtuvien aineiden määrä on puulla hyvin suuri ja soveltuu siksi erinomaisesti kaasutettavaksi (Taulukko 1). Kaasutuksen vaihteita ovat kuivuminen, pyrolyysi, palaminen ja pelkistyminen. Jäljelle jää palamaton koksi. (Huhtinen ym. 1997, 35; Pesola 2012, 18.)

Taulukko 1. Haihtuvien aineiden määrä eri polttoaineilla (Huhtinen ym. 1997, 35).

Polttoaine	Haihtuvat aineet (%)	Syttymislämpötila (°C)
Puu	70 – 85	200 – 400
Turve	70 – 55	200 – 250
Ruskohiili	40 – 60	300 – 400
Kivihili (kaasu- ja kaasuliekkihili)	28 – 37	300 – 500
Antrasiitti	3 – 9	500 – 600
Koksi	1 – 3	600 – 700
Polttoöljy	82 – 100	255 – 265

Ilmakaasutuksessa ilmamäärä on yleensä noin 20–30 % stökiometrisen palamisen ilmamäärästä. Happikaasutuksella saataisiin suuremman lämpöarvon omaavaa tuotekaasua, mutta sen käyttö kaasutuksessa on kallista eikä välttämättä sovellu kaikille polttoaineille. (Päällysaho 2008, 5)

2.1 Kuivuminen

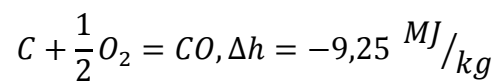
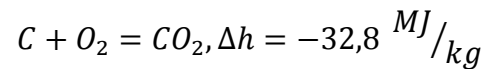
Kaasutusprosessin ensimmäisessä vaiheessa polttoaine syötetään reaktorin yläosaan, jossa se alkaa lämpötilan noustessa kuivua. Polttoaineen tulisikin olla mahdollisimman kuivaa, jotta kaikki loppukosteus saadaan poistettua kuivumisvaiheessa, sillä tämä parantaa kaasuttimen kokonaishyötysuhdetta. Kosteuden kasvaessa yhä suurempi osa polttoaineesta täytyy polttaa kosteuden poistamiseksi, joka kasvattaa typen, hiilidioksidin ja vesihöyryn osuuksia, sekä laskee tuotekaasun lämpötilaa. Lämpötilan lasku aiheuttaa pyrolyysivaiheessa tervanmuodostuksen lisäystä ja kaasun energiapitoisuuden laskua. (Pesola 2012, 18.)

2.2 Pyrolyysi

Pyrolyysivyöhykkeessä polttoaine hajoaa hyödyllisiksi kaasuiksi ja kiinteiksi aineiksi lämpötilan vaikutuksesta. Näitä aineita ovat esimerkiksi häkä, hiilidioksidi, metaani ja vety. Lisäksi hake alkaa hiillostua muodostaen hiiltä ja tervaa. Haihtuvien aineiden määrä eli pyrolysoitava osuus riippuu käytettävästä polttoaineesta, lämpötilasta ja lämpenemisnopeudesta. Hitaalla lämmitysnopeudella 900 °C:seen puusta saadaan noin 80 % massasta pyrolysoitua. Loppuosuus muodostuu jäännöshiilestä ja tervasta. (Raiko ym. 2002, 193; Pesola 2012, 19.)

2.3 Palaminen

Palovyöhykkeellä reaktoriin syötetty ilma polttaa pyrolyysistä syntynyttä jäänhöhiiltä ja tervaa. Kaikki kuivumisen, pyrolyysin ja pelkistymisen tarvitsema energia on peräisin palotapahtumassa luovutetusta lämmöstä. Palovaiheen tärkeimmät reaktiot on esitetty alla.



Kaikki palamisessa tapahtuvat reaktiot ovat eksotermisiä eli lämpöä vapauttavia. Hiilidioksidia muodostavan hiilen ja hapen välinen reaktio on suurin yksittäinen lämpöä luovuttava reaktio. (Raiko ym. 2002, 202; Pesola 2012, 24–25.)

3 KAASUTUSTEKNIIKAT

Kaasutustekniikat jaetaan yleensä karkeasti leijukerroskaasutukseen ja kiinteäkerroskaasutukseen. Leijukerroskaasutus voidaan jakaa edelleen kerrosleiju- ja kiertoleijukaasuttimiin. Kiinteäkerroskaasutus taas voidaan jakaa myötävirta- vastavirta- ja ristivirtakaasuttimiin. (Näppi 2011, 16.)

3.1 Leijukerroskaasutus

3.1.1 Kerrosleijukaasutin

Kerrosleijukaasutuksessa polttoaine johdetaan kaasutinreaktorin sisällä leijutettavaan petiin eli leijukerrokseen, joka koostuu inertistä materiaalista. Yleensä materiaalina käytetään hiekkaa. Hiekkaa leijutetaan reaktorin alaosasta johdettavalla ilmalla ja leijukerros mahdollistaa polttoaineen tasaisen sekoittumisen. Polttoaine kuivuu nopeasti ja alkaa pyrolysoitua. Syntynyt tuotekaasu johdetaan reaktorin yläosasta pois ja siitä erotellaan kiintoainekset, jotka palautuvat takaisin reaktoriin. Kerrosleijukaasutuksessa petimateriaali ei poistu reaktorista. Kerrosleijukaasuttimen etuja ovat muun muassa pieni tervan muodostuminen, johdettujen tuotekaasun korkeasta lämpötilasta. Tekniikka soveltuu yleensä 15–40 MW laitoksille. (Näppi 2011, 18.)

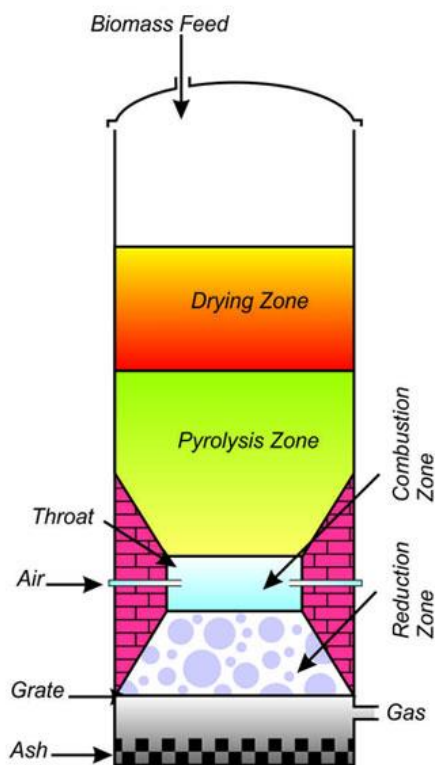
3.1.2 Kiertoleijukaasutin

Kiertoleijukaasutuksessa petimateriaalin leijuttamiseen käytetään huomattavasti suurempaa leijutusnopeutta ja hienompijakoista hiekkaa, jolloin osa petimateriaalista poistuu tuotekaasun mukana reaktorista. Petimateriaali erotetaan tuotekaasusta syklonin avulla ja johdetaan palautusputkea pitkin takaisin reaktoriin. Kiertoleijukaasutuksella voidaan helpommin välttää petimateriaalin sintraantumista. Kiertoleijutekniikka soveltuu yleensä 40–100 MW laitoksiin. (Näppi 2011, 19–20.)

3.2 Kiinteäkerroskaasutus

3.2.1 Myötävirtakaasutin

Myötävirtakaasuttimen nimi tulee siitä, että siinä polttoaine ja kaasut kulkevat kaasutinreaktorin läpi samaan suuntaan. Yleensä polttoaine syötetään ylhäältä, josta se hiljalleen valuu alaspäin. Reaktorin keskivaiheilta syötetään mukaan ilmaa tai happea ja reaktiossa syntynyt tuotekaasu poistuu reaktorin alaosasta (Kuva 1). Myötävirtakaasuttimia käytetään yleensä pieniin noin 1 MW:n tai pienemmän kokoluokan sovelluksiin. (Pesola 2012, 49.)



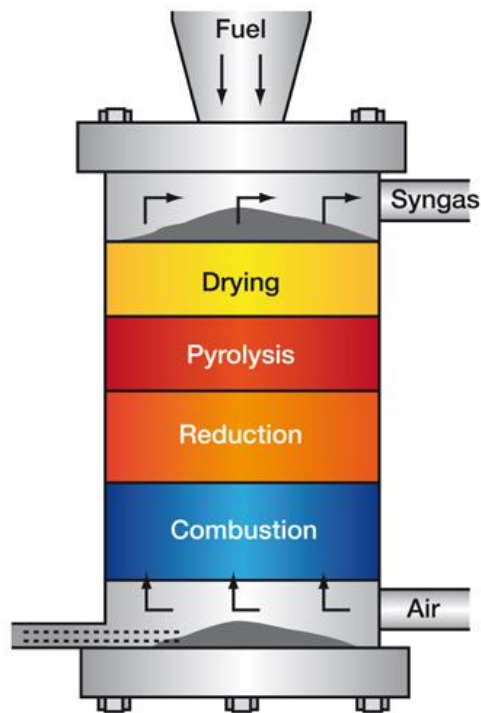
Kuva 1. Myötävirtakaasuttimen rakenne (Manglam Biomass Gasifier 2012).

Myötävirtakaasuttimen etuja muihin kaasutintyyppeihin verrattuna on esimerkiksi vähäinen tervanmuodostus. Terva syntyy reaktorissa pyrolyysivaiheessa,

mutta aiheuttaa ongelmia vasta myöhemmin kondensoituessaan putkistoihin ja toimilaitteisiin. Tervan määrään voidaan vaikuttaa vähentävästi nostamalla reaktorin lämpötilaa tarpeeksi korkealle, n. 800–1200 °C:seen, jolloin suurin osa tervasta hajoaa. Myötävirtakaasuttimen haittapuolia on runsas pölyn ja tuhkan muodostus palamisvaiheessa, joka on seurausta tuotekaasun korkeasta lämpötilasta. Tuotekaasu poistuu reaktorista noin 900–1000 °C lämpötilassa, joka pienentää kaasuttimen kokonaishyötysuhdetta. Polttoaineen kosteudella on myös suuri merkitys kaasuttimen tehoon ja polttoaineen tulisi olla mahdollisimman kuivaa, jopa alle 20 %. (Pesola 2012, 49–50; Gasek Oy 2014; Päällysaho 2008, 11.)

3.2.2 Vastavirtakaasutin

Vastavirtakaasuttimessa polttoaine ja kaasut kulkevat reaktorin läpi vastakkaisiin suuntiin. Polttoaine syötetään kaasuttimen yläosasta, josta se valuu alaspäin. Kaasutusilma tuodaan reaktoriin alakautta ja syntynyt tuotekaasu poistuu ylhäältä (Kuva 2). Vastavirtakaasuttimet sopivat noin 1–10 MW:n kokoluokaltaan oleviin sovelluksiin. (Päällysaho 2008, 10.)

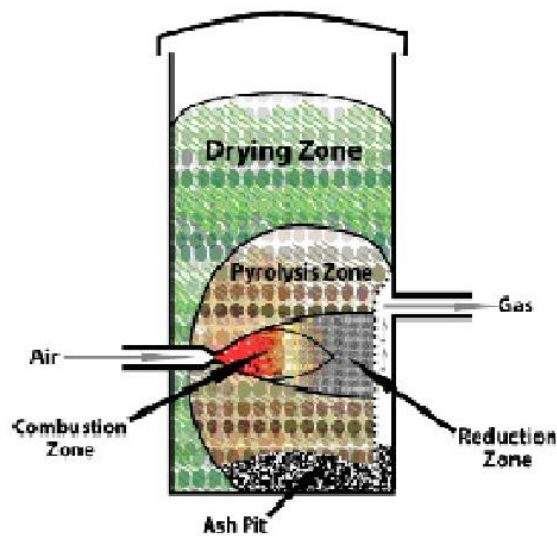


Kuva 2. Vastavirtakaasuttimen rakenne (GB Gasified 2012).

Vastavirtakaasuttimen etuihin kuuluu polttoaineen parempi kuivuminen verrattuna myötävirtakaasuttimeen. Siksi se soveltuu myötävirtakaasutinta paremmin kosteiden polttoaineiden kaasutukseen. Koska lämpö kulkeutuu reaktorin alosista ylöspäin tuotekaasun mukana, se kuivattaa tuoreen polttoaineen tehokkaasti. Samalla tuotekaasu jäähtyy, joka osaltaan parantaa kaasutusprosessin kokonaishyötysuhdetta. Vastaavasti matalassa lämpötilassa olevasta tuotekaasusta kondensoituu tervoja kuivumisvaiheessa olevaan polttoaineeseen, sekä myöhemmin putkistoihin ja laitteisiin. Tuotekaasun poistuessa reaktorista sen lämpötila on noin 80–300°C. Suuresta tervanmuodostuksesta johtuen tuotekaasu joudutaan usein puhdistamaan ennen käyttöä. (Päällysaho 2008, 10.)

3.2.3 Ristivirtakaasutin

Ristivirtakaasuttimen rakenne muistuttaa paljon myötävirtakaasutinta. Polttoaine syötetään reaktorin yläosasta ja palamisilma keskiosasta (Kuva 3). Kaasutuksessa syntynyt tuotekaasu poistuu reaktorista kuitenkin ilmansyötön vastakkaiselta sivulta.



Kuva 3. Ristivirtakaasuttimen rakenne (Engineering Design Encyclopedia 2012).

Ristivirtakaasuttimet eivät ole kovin yleisessä käytössä ja sopivat lähinnä hyvin kuiville ja vähätuhkaisille polttoaineille kuten hiilelle. Tuotekaasu poistuu reaktorista hyvin kuumana ja laskee kaasuttimen hyötysuhdetta. (Engineering Design Encyclopedia 2012).

4 LAITTEISTO

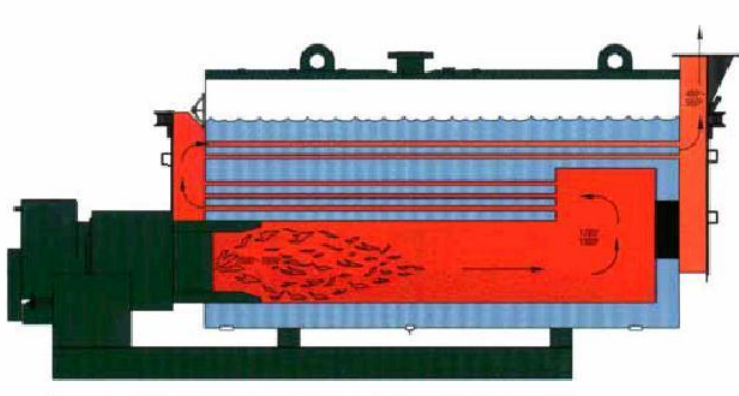
4.1 Alkuperäinen laitteisto

Turun Tekstiilihuolto muutti kesällä 2012 Turun Sanomien tiloihin Artukaisiin, ja samalla Turku Energia siirsi biolaaksossa käyttämättömänä seisoneen höyrylaitosrakennuksen Tekstiilihuollon uusien tilojen viereen. Rakennuksessa on kaksi kappaletta raskaalla polttoöljyllä toimivaa höyrykattilaa (Kuva 4).



Kuva 4. Suurempi 3MW:in kattila Oilonin öljypolttimella.

Kattilat ovat tyypiltään kolmivetoisia tulitorvi-tuliputki-suurvesitilakattiloita. Poltin on sijoitettu kattilan etuseinään ja polttoaine palaa tulitorvessa. Tulitorven päässä on kääntökammio, josta savukaasut kääntyvät takaisin tuliputkia pitkin kohti etuseinää, ja etuseinämän kääntökammio ohjaa savukaasut toistamiseen kattilan läpi aina savupiippuun asti. Tulitorven ja tuliputkien ulkopinnat ovat aina veden ympäröiminä ja höyrystävät vettä kattilan yläosan höyrytilaan, josta se johdetaan asiakkaalle (Kuva 5). (Huhtinen ym. 1997, 104.)



Kuva 5. Kolmivetoinen tulitorvi-tuliputkikattila (Energy Solutions Center Inc. 2002).

Suuremmissa 3 MW:n kattilassa on lisäksi kolmannen vedon jälkeen ekonomaiseri, jolla saadaan vielä savukaasuista lämpöä talteen syöttövedeen.

4.2 Kaasutinlaitteisto

4.2.1 Polttoaine ja varasto

Uuteen kaasutinlaitokseen kuuluu 200 m³:n hakevarasto. Varasto on jaettu kahteen eri osaan, jotka molemmat on varustettu ajorampeilla kuorman purkamisen helpottamiseksi (Kuva 6). Varastossa on myös kaksiosainen sivulle aukeava katto, joka mahdollistaa sisälle peruuttamisen. Varaston pohjalla on hakkeen pohjapurkaimet, jotka kuljettavat polttoaineen perällä sijaitseville kuljetinruuveille.



Kuva 6. Hakevaraston vasen puoli, ajorampit ja pohjapurkaimet.

Käytettävän polttoaineen laadulla on suuri merkitys koko laitoksen toimintaan. Suurin yksittäinen määräävä tekijä on polttoaineen kosteus. Liian suuri kosteus aiheuttaa ongelmia kaasutusprosessissa, laskee tehoa sekä nostaa tuotekaa-
sun tervapitoisuutta. Jotta olisi mahdollista saada teoreettinen maksimiteho, tulisi polttoaineen kosteuden olla alle 25 %.

Polttoaineen kosteuden määrittämiseen käytetään tällä hetkellä hakekuormasta otettavaa näytettä, joka toimitetaan Orikedon biopolttolaitokselle analysoitavaksi. Näytteeksi otetaan noin 300 g:n painoinen kattava otos, joka punnitaan ensin kosteana. Tämän jälkeen se laitetaan uuniin 105 °C:n lämpötilaan vuorokau-
deksi, jolloin näytteestä haihtuu pois sen sisältämä vesi. Näyte punnitaan uudelleen kuivana ja painojen erotuksesta saadaan laskettua kosteusprosentti. Kahden ensimmäisen hakekuorman kosteusprosentit olivat 28,48 % sekä 20,80 %.



Kuva 7. Polttoainetta ensimmäisestä saapuneesta kuormasta.

Toinen polttoaineen vaatimus on palakoko. Toimiakseen luotettavasti koko tehoalueella tulee hakkeen fyysiset mitat olla sopivat. Palakoon mitat määrää kaasuttimen rakenne (Kuva 7).

4.2.2 Kaasutin ja sykloni

Kaasutinreaktori (Kuva 8) on tyypiltään kiinteäkerroksinen myötävirtakaasutin, jonka maksimiteho on 1200 kW ja minimiteho 400 kW. Hake kuljetetaan varastosta ruuvikuljettimia pitkin kaasutinhuoneeseen, josta se syötetään kaasutinreaktorin yläosaan. Kaasutusilma syötetään reaktorin keskivaiheilta. Osa ilmasta voidaan ohjata myös tulemaan kaasuttimen pohjalta, arinan alta. Tällä voidaan säätää palamisprosessia ja vaikuttaa reaktorin lämpötiloihin.



Kuva 8. Vasemmalla kaasutusreaktori, takakulmassa sykloni sekä oikealla edessä tuotekaasupuhallin.

Reaktorissa syntynyt tuotekaasu ohjataan sykloniin, jossa tuotekaasusta erotellaan pois esimerkiksi kiinteät partikkelit sekä muut epäpuhtaudet. Nämä partikkelit laskeutuvat syklonin pohjalle, josta ne syötetään syöttöruuvia pitkin takaisin kaasuttimeen.

4.2.3 Tuhkajärjestelmä

Kaasutinreaktorissa syntyneet ja syklonin erottelemat palamattomat ainekset, kuten tuhka ja noki, poistetaan reaktorin alapuolelta. Tuhkaruuveilla aines kuljetetaan kaasutinhuoneen ulkopuolella sijaitsevaan tuhkasäiliöön.



Kuva 9. Tuhkan kuljetinruuvi ja tuhkasäiliö.

Toimitukseen kuului noin 1 m³:n kokoinen tuhkasäiliö (Kuva 9). Tuhkan muodostuminen pitäisi olla hyvin vähäistä ja säiliön täytyminen hidasta. Suunnitelmissa on kuitenkin tuoda paikalle suurempi, noin 5 – 6 m³:n kokoinen tuhkalava, jotta tyhjennysväli pidentyisi. Syntynyt tuhka voidaan käyttää hyödyksi, esimerkiksi maanparannusaineena.

4.2.4 Kaasupoltin

Syklonin jälkeen puhdistettu kaasu ohjataan tuotekaasupuhaltimen avulla putkia pitkin kattilahuoneeseen ja edelleen kaasupolttimelle. Tuotekaasua ei jäähdytetä matkalla, jotta tervan kondensoituminen putkien pinnoille olisi mahdollisimman vähäistä.

Kaasupoltin on Enviroburners Oy:n valmistama poltin ja sen tehoalue on 350–1200 kW. Kaasupoltin kiinnitettiin vanhan öljypolttimen paikalle samaan kattilaan, joten vanhaa höyrykattilaa ei tarvinnut uusia (Kuva 10). Ratkaisu aiheuttaa osaltaan haasteita, sillä kaasupolttimen liekki on suurempi kuin öljy liekki ja tarvitsee yleensä suuremman palotilan. Liekin säätömahdollisuudet ovat hyvin rajalliset, ja polttimen täyttä tehoa ei ole mahdollista saavuttaa tällä ratkaisulla.



Kuva 10. Kaasupoltin kiinnitettynä kattilaan.

Tarkoituksena on käyttää kaasutinlaitosta mahdollisimman suurella teholla jatkuvasti kun höyryä tarvitaan. Käytännössä suurin teho tulee olemaan noin 750 kW. Höyrynkulutuksen ollessa suurempi kuin kaasutin pystyy tuottamaan käytetään toista raskasöljykattilaa pitämään yllä höyryntuottoa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että öljykattila on päällä jatkuvasti lähes minimiteholla.

5 KUSTANNUKSET

Käytöstä aiheutuvat kustannukset muodostuvat monista asioista, joita tässä työssä kartoitetaan. Koska tarkastelu on puhtaasti teoreettinen puukaasutinlaitteiston osalta, joudutaan joistakin osa-alueista tekemään arvioita asiantuntija-haastatteluiden ja kirjallisuuden pohjalta. Raskaan polttoöljyn käytön osalta on Turku Energialla paljon kerättyä tietoa kyseisestä käyttöpaikasta, ja tältä osin päästään hyvin lähelle todellisuutta. Muiden kustannusten osalta käytetään asiantuntija-arvioita, jotta päästäisiin mahdollisimman lähelle todellisia kustannuksia. Laskennassa on käytetty esimerkkinä vuotta 2014, jolloin kaikki höyry tuotettiin raskaalla polttoöljyllä. Näitä kustannuksia vertaillaan hakkeen ja öljyn yhteispolton tuomiin kustannuksiin, mikäli kaasutinlaitos olisi ollut käytössä koko vuoden 2014 ja tuottanut 50 % laitoksen kokonaishöyryntuotosta.

5.1 Raskaan polttoöljyn käyttö

Polttoainekustannukset

Suurin yksittäinen kuluerä on polttoaine. Öljyn kustannusten arviointia varten saatiin Turku Energialta raskaasta polttoöljystä kulloinkin maksettu hinta. Näistä tiedoista laskettiin keskimääräinen hinta jokaiselle kuukaudelle koko vuodelta 2014.

Laitoksen öljyn kulutus ei myöskään pysy kuukaudesta toiseen vakiona ja kulu-
tetuista öljymääristä saatiin määritettyä kuukausittainen öljynkulutus vuonna
2014. Yhdistämällä kuukausikohtaiset öljyn hinnat kuukausittaiseen öljyn kulu-
tukseen pystytään riittävällä tarkkuudella arvioimaan vuoden 2014 aikana kerty-
neet polttoainekustannukset.

Käytetyn polttoaineen POR180 laskennallisen energiamäärän W_{por} ollessa
11,41667 kWh/kg, saadaan prosessiin vuoden aikana syötetyn energian koko-
naismäärä E_{por} laskettua kaavalla, jossa m_{kok} on käytetyn polttoaineen koko-
naismassa:

$$E_{por} = W_{por} * m_{kok}$$

Osa energiasta kuluu kuitenkin erilaisiin häviöihin, kuten pohjanpuhallukseen,
jatkuvaan pintapuhallukseen sekä omakäyttölämmitykseen. Näitä häviöitä ei
kuitenkaan pystytä erikseen mittaamaan, vaan ne pyritään arvioimaan tuotetun
energian ja polttoaine-energian avulla. Laitoksessa ei ole suoranaista tuotetun
energian mittausta, mutta paineen, lämpötilan ja tuotetun höyrymäärän avulla
se voidaan laskea.

Laitoksessa kylläisen höyryn paine pyritään pitämään 13 bar:in absoluuttisessa
paineessa, jolloin höyryn lämpötila voidaan lukea kylläisen höyryn ominaisuuksien
taulukosta. Taulukosta saadaan myös lämpötilaa ja painetta vastaava entalpia.
Tuotetun höyryn lämpötila $t = 192$ °C ja entalpia kyseisessä lämpötilassa
on $h'' = 2787,5$ kJ/kg (Huhtinen ym. 2008, 331). Kaavassa m on vuoden aikana
tuotetun höyryn kokonaismassa. Vuoden aikana tuotettu energiamäärä E_{tuo}
saadaan näin laskettua kaavalla:

$$E_{tuo} = \frac{h'' * m}{3600 \frac{s}{h}}$$

Tästä saadaan määriteltyä kokonaishyötysuhde η suoralla menetelmällä. (Huh-
tinen ym. 1997, 92)

$$\eta = \frac{E_{tuo}}{E_{por}}$$

Raskaasta polttoöljystä maksettu lämpöarvon mukainen kokonaishinta H_{por} saadaan jakamalla polttoaineesta vuoden aikana maksettu hinta K_{vuosi} prosessiin syötetyllä kokonaisenergiamäärällä.

$$H_{por} = \frac{K_{vuosi}}{E_{por}}$$

Hyötykäyttöön saatavaa energiamäärää kohti raskaan polttoöljyn hinnaksi K_{por} muodostuu;

$$K_{por} = \frac{H_{por}}{\eta}$$

Muut kustannukset

Muihin kustannuksiin luetaan esimerkiksi laitteiston huollosta ja kunnossapidosta koituneet materiaali- ja palkkakustannukset. Myös muut käytöstä aiheutuvat kustannukset, kuten sähkön kulutus sekä vedenkäsittelykulut on laskettu muihin kustannuksiin. Muiden kustannusten arviointiin on käytetty asiantuntijahaastatteluista saatuja arvioita.

5.2 Hakkeen ja raskaan polttoöljyn yhteiskäyttö

Polttoainekustannukset

Artukaisiin tilatun kaasutinlaitoksen teho ei yksinään riitä pitämään yllä Turun Tekstiilihuollon tarvitsemaa höyrynkulutusta, joten kaasuttimen ohella täytyy käyttää toista raskasöljypoltinta. Laskennallisesti oletetaan, että kaasuttimella pystytään tuottamaan 50 % tarvittavasta höyrymäärästä ja raskasöljyllä tuotetaisiin toinen 50 %. Koska laitos ei ole vielä täysin toiminnassa, ei hakkeesta maksettu hintakaan K_{hake} ole vielä vakiintunut. Tästä syystä hakkeen osalta

täytyy tehdä arvioita. Yhteiskäytön polttoainekustannukset K_{kok} saadaan laske-
tuksi kaavalla, jossa kummankin vaihtoehdon on oletettu tuottavan puolet koko-
naisenergiasta E_{tuo} .

$$K_{kok} = \frac{(0,5 * E_{tuo} * K_{hake}) + (0,5 * E_{tuo} * K_{por})}{E_{tuo}}$$

Tarkasteltaessa näin laskettua polttoainekustannusta ja vertaamalla sitä pelkäs-
tään öljyn käytöstä aiheutuneisiin polttoainekustannuksiin, saadaan mahdollinen
kustannushyöty selvitettyä.

Muut kustannukset

Kiinteää polttoainetta käyttävissä laitoksissa kiinteät kustannukset sekä pää-
omakustannukset ovat yleensä raskaalla polttoöljyllä toimivaa laitosta korke-
ammat. Kaasutinlaitoksen muihin kustannuksiin on otettava huomioon inves-
tointikustannukset, hieman suuremmat käyttö-, huolto- ja kunnossapitokustan-
nukset sekä suurempi omakäytösähkön kulutus. (Energiateollisuus ry 2006,
467).

Jotta investointikustannuksia pystyttäisiin tarkastelemaan vuositasolla, on inves-
tointi muutettava vuosikustannuksiksi käyttämällä annuiteettikerrointa. Annui-
teettikertoimen suuruus riippuu korkotasosta ja laitoksen käyttöajasta. Tätä me-
netelmää käyttäessä voidaan ajatella, että investointi olisi tehty lainarahoitukse-
lla ja laina-aika olisi laitoksen käyttöaika. Yleensä näin ei kuitenkaan käytännös-
sä ole. (Huhtinen ym. 2008, 317).

Kaasutinlaitoksen investoinnissa on arvioitava laitoksen käyttöikä, sekä inves-
tointiin käytettävät rahoituskustannukset. Näistä tiedoista pystytään laskemaan
annuiteettikerroin annuiteettikertoimen kaavalla, jossa i on investoinnin korko ja
 n on investoinnin käyttöaika (Joronen, H, 2013.):

$$c_{n/i} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Kertomalla kokonaisinvestoinnin määrä annuiteetikertoimella, saadaan investoinnin vuosittainen määrä selville. Tämän summan voidaan ajatella kuluvan vuosittain investoinnin takaisinmaksuun. Jotta investoinnin voidaan katsoa olevan rahallisesti kannattava, täytyy siitä saatavan voiton olla suurempi kuin sen kulut.

Helpottaaksemme vertailua kahden eri vaihtoehdon välillä, voidaan investointikustannukset muuttaa muotoon €/MWh, vaikkakaan nämä kustannukset eivät ole riippuvaisia tuotetun energian määrästä. Voidaan kuitenkin olettaa höyrynkulutuksen, ja sitä kautta energiankulutuksen pysyvän lähes muuttumattomana vuodesta toiseen. Mikäli vuosittaisesta höyryenergian määrästä puolet tuotettaisiin kaasuttimella, voidaan investointikustannusten $K_{investointi}$ hinta kaasuttimella tuotettua energiamäärää kohti laskea seuraavasti:

$$K_{investointi} = \frac{\text{Investointikustannukset vuodessa (€)}}{0,5 * E_{tuo}}$$

Käyttö-, huolto-, ja kunnossapitokustannusten osalta joudutaan turvautumaan arvioihin. Kaasutinlaitoksen normaali käyttö ei vaadi jatkuvaa henkilöstön paikallaoloa. Laitoksessa on kuitenkin huomattavasti enemmän mekaanisia liikkuvia osia, kuten syöttöruuveja, sulkusyöttimiä ja puhaltimia sekä erilaisia sähköisesti toimivia antureita ja toimilaitteita. Tämän vuoksi voidaan ajatella näiden huollon ja kunnossapidonkin vievän enemmän resursseja kuin pelkän raskasöljy polttimen kunnossapito. Kokonaiskustannukset muodostuvat siis polttoaineen, investointien ja muiden kustannusten yhteissummana. Koska kaasutinlaitoksella tuotetaan vain puolet koko laitoksen höyryntuotosta, laskettaessa kokonaiskustannuksia megawattituntia kohden, investointikustannukset ovat puolet laskennallisesta kustannuksesta.

6 TUOTOT

Asiakkaalta laskutettu hinta perustuu höyrykaukolämpötariffiin, joka koostuu tehomaksusta, kulutusmaksusta, lauhdemaksusta sekä lauhteen hyvitysmaksusta. Tehomaksun suuruus riippuu asiakkaan tilaaman höyryvirran suuruudesta. Tehomaksu pysyy siis vakiona riippumatta todellisesta tuotetusta höyryvirrasta. Kulutusmaksu maksetaan jokaisesta tuotetusta höyrytonnista tietyn kertoimen mukaan. Lauhdemaksu sisältää raakaveden hinnan ja syöttöveden käsitteilykustannukset jokaista lauhde-kuutiota kohden, joka ei palaudu laitokselle uudelleen käytettäväksi. Palautetun lauhteen hyvitysmaksun suuruus määräytyy palautetun lauhde-energian mittauksen mukaan.

6.1 Raskaan polttoöljyn käyttö

Tehomaksussa on olemassa kaksi kuluttajaryhmää, riippuen tilaustehon suuruudesta. Kulutusmaksun suuruuteen vaikuttaa muiden tekijöiden lisäksi raskaan polttoöljyn hintaindeksiin RPHI sidottu maksu.

RPHI on tilastokeskuksen laatima indeksi, joka kuvaa suomessa myydyin vähärikkisen raskaan polttoöljyn keskihintaa tonnilta. Otoksessa on mukana suuria ja keskisuuria raskaan polttoöljyn ostajia, jotka ovat energiantuottajia sekä teollisuusyrityksiä. Ostajilta tiedustellaan kuukauden aikana toimitetun raskaan polttoöljyn määrä sekä hinta ja näistä laaditaan yhden, kolmen, kuuden ja kahden toista kuukauden indeksit. Indeksissä keskihinta on laskettu neljällä eri tavalla. (Energiafoorumi ry, 2013.) Kun tiedetään RPHI sekä muut kulutusmaksuun vaikuttavat tekijät, voidaan laskea kuukausittaiset hintaindeksit, kulutusmaksut sekä kuukausi ja vuosikohtaiset kokonaissummat.

Lauhteen hyvitysmaksua varten on laitoksella käytävissä lauhde-energiamittari, josta saadaan suoraan tiedot palautetun lauhteen lämpötilasta, määrästä ja energiasta.

6.2 Hakkeen ja raskaan polttoöljyn yhteiskäyttö

Kun höyry tuotetaan hakkeen ja raskaan polttoöljyn yhteistuotannolla, on käytössä toinen höyrykaukolämpötariffi, jonka mukaan asiakas maksaa Turku Energialle käyttämästään höyrystä. Tariffi koostuu samoista neljästä komponentista, tehomaksusta, kulutusmaksusta, lauhdemaksusta ja lauhteen hyvitysmaksusta kuin öljytariffikin. Kulutusmaksun suuruudessa on kuitenkin huomioitu hakkeen ja öljyn suhde, jolla höyry tuotetaan. Tehomaksun osalta olemassa on edelleen kaksi kuluttajaryhmää. Tehomaksun suuruus riippuu tilatusta höyryvirrasta, joka on pysynyt muuttumattomana. Kulutusmaksun suuruuteen vaikuttaa muiden tekijöiden lisäksi RPHI:iin sidottu energiahinta sekä PIX Forest Biomass Finland-indeksi.

PIX Forest Biomass Finland-indeksi on Foex Index Oy:n julkaisema, määrällisesti painotettu metsäenergian keskihintaseuranta. Indeksit lasketaan erikseen metsähakkeelle, purulle ja kuorelle. Indeksit perustuvat ostajilta ja myyjiltä saatuihin tietoihin ja kuvaavat Suomessa käytävän kaupan hintoja. (Metsäkustannus 2015)

7 YHTEENVETO

Tavoitteena oli tarkastella saatuja kustannushyötyjä kaasutinlaitteiston käyttöönotosta. Mikäli kaasutinlaitos olisi ollut käytössä koko vuoden 2014 ja sillä olisi tuotettu 50 % tarvittavasta höyrymäärästä, olisi saatu huomattavia hyötyjä pelkän raskaan polttoöljyn polttamiseen verrattuna.

Opinnäytetyössä on kerätty esimerkkivuoden öljyn kulutuksella lasketut kokonaiskustannukset ja tariffin mukainen, Turun Tekstiilihuollon höyrystä maksama hinta. Lisäksi on määritetty kustannukset ja maksut, mikäli esimerkkivuoden aikana kaasutin olisi ollut käytössä.

Tuloksista voidaan päätellä, että kaasuttimen käyttö olisi ollut kannattavaa vuonna 2014 ja tuottoa olisi saatu enemmän kuin pelkän öljyn polttamisella. Investointi vaikuttaa olevan siis hyvin kannattava. Suurin yksittäinen voitto saadaan halvemmän polttoaineen vuoksi, jolloin kokonaiskustannusten määrä, joka kuluu laitoksen käynnissä pitoon, laskee huomattavasti.

On otettava huomioon kuitenkin se, että vuonna 2014 öljyn hinta on pysynyt hyvin alhaisena ja loppuvuodesta hinnan lasku oli hyvin voimakasta. Esimerkiksi kesäkuusta joulukuuhun RPHI-hintaindeksi, arvonlisäverottomasta ja polttoaineverollisesta hinnasta laskettuna, laskee lähes merkittävästi. Koska vertailu tehtiin kyseisen vuoden pohjalta, öljyn halpa hinta vääristää tulosta hieman.

Öljyn hinnan noustessa näiden kahden eri vaihtoehdon välinen erotus kaventuu, joskin hakkeen ja öljyn yhteistuotanto pysyy siltikin huomattavasti edullisempänä vaihtoehtona. Öljyn hinnan nousu aiheuttaa myös sen, että pelkällä öljyllä tuotetun energian hinta nousee suhteellisesti enemmän kuin hakkeen ja öljyn yhteistuotannolla. Tämän vuoksi asiakasyrityskin maksaa vähemmän hakkeella ja öljyllä tuotetusta höyrystä kuin pelkällä öljyllä tuotetusta.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että vaikka kokonaiskustannusten erotus on selvästi suurempi kuin halvemmalla öljyn hinnalla, jää vaihtoehtojen välinen

voittojen erotus pienemmäksi öljyn hinnan noustessa. Tämä johtuu suurelta osin asiakkaan maksaman kulutusmaksun pienenemisestä.

LÄHTEET

Bioenergiatieto 2012. Puukaasureaktori. Viitattu 11.1.2015. www.bioenergiatieto.fi > Energian tuotanto > Energiatuotannon tekniikka > Polttotekniikka kaasumaisille polttoaineille > Puukaasu-reaktori.

Energiafoorumi ry. 2013. RPHI. Viitattu 11.3.2015. www.energiafoorumi.fi > Hinta-indeksit > RPHI.

Energiateollisuus ry. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki; Libris Oy.

Energy Solutions Center Inc. 2002. Boiler Types. Viitattu 16.1.2015. www.cleanboiler.org > Learn About > Boiler Burner Workshop > Boiler Types > Fire Tube Boilers.

Engineering Design Encyclopedia. 2012. Types of Gasifier. Viitattu 12.2.2015. www.enggcyclopedia.com > Blog > Process Design > Types of Gasifier.

Gasek Oy. 2014. Puun Kaasutus. Viitattu 11.2.2015. www.gasek.fi > Teknologia > Puun Kaasutus.

GB Gasified. 2012. Biomass gasifier model. Viitattu 11.2.2015. www.gbgasified.com > Gasifier model.

Huhtinen, M.; Kettunen, A.; Nurminen, P. & Pakkanen, H. 1997. Höyrykattilatekniikka. Helsinki; Oy Edita Ab.

Huhtinen, M.; Korhonen, R.; Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu; Otava.

Joronen, H. 2013. Teollisuustalous ja yritystoiminta oppimateriaalia osa 2/3. Viitattu 5.3.2015. www.optima.turkuamk.fi > Tekniikka, ympäristö ja talous > Teoll. tal. ja yrit. toim. k2013 > oppimateriaali_osa_2.

Manglam Biomass Gasifier 2012. Downdraft Biomass Gasifier. Viitattu 12.1.2015. www.manglamgasifier.net > Products > Downdraft Biomass Gasifier.

Metsäkustannus Oy 2015. Metsäenergia. Viitattu 16.3.2015. www.metsalehti.fi > Metsäenergia.

Näppi, T. 2011. Leijukerroskaasutus. Lappeenranta; Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Pesola, A. 2012. Polttoaineen, eristämisen sekä ilmavuodon vaikutus puukaasuttimen toimintaan. Oulu; Oulun yliopisto.

Päällysaho, J. 2008. Biomassan kaasutusteknologiat. Lappeenranta; Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Raiko, R.; Saastamoinen, J.; Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen. Jyväskylä; Gummerus