

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JONATAN RIUTTA

Propanin korvaaminen nesteytettyllä maakaasulla spraykuivainprosessissa

TUOTANTOTEKNIikka JA -TALOUS TUTKINTO-OHJELMA
2025

TIIVISTELMÄ

PROPAANIN KORVAAMINEN NESTEYTETYLLÄ MAAKAASULLA SPRAYKUIVAIMISSA

Riutta, Jonatan
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tuotantotekniikan ja -talouden koulutusohjelma, AMK
Toukokuu 2025
Ohjaajat: Vesa Rosenqvist, Rauno Luoma
Sivumäärä: 34

Työn tarkoituksena oli nikkelihydroksikarbonaatti spraykuivaimissa käytettävissä olevan propaanin korvaaminen nestemäisellä maakaasulla sen kustannustehokkuuden sekä sen alhaisempien hiilidioksidipäästöjen vuoksi.

Työssä tarkasteltiin spraykuivaimien nykyistä energiankäyttöä, joka perustuu propaaniin, jota verrattiin LNG:n teknisten ominaisuuksien, energiakustannusten sekä päästöarvojen näkökulmasta. Laskennallinen analyysi perustui 10 000 MWh:n vuotuiseseen energiantarpeeseen. Arvioinnissa hyödynnettiin yleisesti hyväksytyjä päästö- ja energiahinta-arvoja sekä laitevalmistajien ilmoittamia hyötysuhteita.

Laskelmien perusteella LNG:n hyödyntäminen spraykuivaimen polttoaineena mahdollistaa jopa 35 237 euron vuosittaiset säästöt verrattuna propaaniin. Lisäksi CO₂-päästöt vähenevät noin 5,1 miljoonalla kilogrammalla vuodessa, mikä tukee yrityksen hiilineutraaliustavoitteita ja ympäristöstrategiaa. Teknisen-taloudellinen tarkastelu osoitti, että LNG:n käyttöönotto on paitsi kustannustehokas, myös teknisesti toteuttamiskelpoinen ratkaisu nykyiseen prosessiin.

Lisäksi arvioitiin LNG:n toimituslogistiikkaa, varastointitarpeita ja käyttöönoton investointikustannuksia. Kustannusvertailuun sisällytettiin myös mahdolliset takaisinmaksuajat polttoainejärjestelmän muutoksille. Kokonaisuudessaan propaanin korvaaminen LNG:llä tarjoaa merkittävän mahdollisuuden parantaa prosessin energiatehokkuutta, vähentää ympäristövaikutuksia ja lisätä tuotantoprosessin taloudellista kilpailukykyä.

Asiasanat: Energiatehokkuus, taloudellisuus, kestävä kehitys

ABSTRACT

REPLACING PROPANE GAS WITH LIQUEFIED NATURAL GAS

Riutta, Jonatan

Satakunta University of Applied Sciences

Bachelor's degree programme in Engineering and Industrial Management

May 2025

Supervisors: Vesa Rosenqvist, Rauno Luoma

Number of pages: 34

The purpose of this thesis was to replace propane gas used in the nickel hydroxycarbonate powder spray dryer with natural gas due to its cost-effectiveness and lower carbon dioxide emissions.

The study examined the current energy usage of the spray dryer, which is based on propane, and which was compared to LNG in terms of technical properties, energy costs, and emission values. The calculations were based on an annual energy requirement of 10,000 MWh. Publicly available emission factors, average fuel prices, and equipment efficiency data were used in the analysis.

According to the results, the use of LNG as fuel in the spray dryer could lead to annual savings of approximately €35 237 compared to propane. In addition, CO₂ emissions could be reduced by around 5.1 million kilograms per year, supporting the company's carbon neutrality and sustainability targets. The techno-economic analysis showed that LNG is not only a cost-effective alternative but also technically feasible for integration into the existing process.

The study also assessed LNG logistics, storage requirements, and investment costs related to implementation. The cost comparison included preliminary payback time estimates for the fuel system modifications. Overall, replacing propane with LNG provides a significant opportunity to improve energy efficiency, reduce environmental impacts, and enhance the economic competitiveness of the production process.

Keywords: Energy efficiency, cost-effectiveness, sustainable development

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty osana SAMKin tuotantotekniikan ja -talouden insinöörikoulutusta. Työn aiheena on propaanin korvaaminen maakaasulla spraykuivainprosessissa, ja se on tehty yhteistyössä Nornickel Harjavalta Oy:n kanssa. Työn tavoitteena on selvittää tekniset ja taloudelliset mahdollisuudet siirtyä ympäristöystävällisempään ja mahdollisesti kustannustehokkaampaan polttoainevaihtoehtoon tuotantoprosessissa.

Haluan kiittää Luoman Raunoa, joka antoi minulle tämän opinnäytetyöaiheen. Lisäksi haluan kiittää opinnäytetyöohjaajaani Rosenqvistin Vesaa sekä kemikaalitehtaan ja uutto-pelkistämön käyttöpäällikköä Lahtisen Jannea. Kiitokset kuuluvat myös avopuolisolleni sekä muulle perheelleni avustamisesta sekä kannustamisesta.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TYÖN TARKOITUKSET JA TAVOITTEET	7
3 NORNICHEL HARJAVALTA OY:N TOIMINTAYMPÄRISTÖ	8
3.1 Nornickel Harjavalta Oy	8
3.2 Kemikaalitehdas	9
3.2.1 Lyhyesti nikkelihydroksikarbonaatin valmistuksesta	10
3.2.2 Spraykuivaimen toimintaperiaate	11
3.2.3 Spraykuivaimen vaikuttavia tekijöitä	12
3.2.4 Kemikaalitehtaan LNG-asema.....	13
4 KESTÄVÄ KEHITYS	14
4.1 Propani	14
4.2 Nesteytetty maakaasu	15
4.3 Ympäristöhaittojen vertailu.....	16
4.4 Metaanipäästövuotojen minimointi LNG-tuotantoketjussa.....	18
5 KUSTANNUSTEHOKKUUS	21
5.1 LNG:n hintarakenne ja saatavuus	21
5.2 Palamistehokkuus ja energiantuottokyky	22
5.3 Huolto- ja käyttövarmuus	22
5.4 Päästövähennemät ja sääntelyhyödyt.....	22
5.5 Pitkän aikavälin taloudellinen näkökulma	23
5.5.1 Laskelmia LNG:n tuomista hyödyistä.....	23
5.5.2 Hiilidioksidipäästöjä ja säästöjä kaavioiden muodossa.....	25
6 MAHDOLLISET MUUTOS- JA INVESTOINTITARPEET	26
6.1 Polttimen muutos tai vaihto	27
6.2 Kaasunsyötön paine- ja virtausjärjestelyt.....	27
6.3 Turvajärjestelmien päivitys.....	28
6.4 Vuodonvalvonnan säätö.....	28
6.5 Palamiskaasujen käsittely	29
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	29
LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Outokumpu investoi vuonna 2014 noin 30 miljoonaa euroa käyttääkseen nesteytettyä maakaasua Tornion tehtaallaan propaanin sijasta. ”Propaanin korvaaminen hintatasoltaan vakaammalla ja edullisella nesteytetyllä maakaasulla, joka hankitaan suoraan maailmanmarkkinoilta, alentaa tuotantokustannuksia ja parantaa siten Tornion tehtaamme kilpailukykyä. Se vaikuttaa myös myönteisesti tavoitteeseemme edelleen alentaa hiilidioksidipäästöjämme.”, sanoo Outokummun energiastrategia vastaava teknologiajohtaja Pekka Erkkilä (Outokumpu Oy, 2014.)

Tämä investointi on osa Outokummun laajempaa strategista linjausta, jossa pyritään parantamaan energiatehokkuutta ja pienentämään hiilijalanjälkeä koko tuotantoketjussa. Energianlähteiden vaihtaminen ei ainoastaan vähennä kasvihuonekaasupäästöjä, vaan myös parantaa kustannustehokkuutta pitkällä aikavälillä, mikä on keskeistä terästeollisuuden globaalissa kilpailussa. Samalla se kuvastaa laajempaa teollisuudenalan kehitystä, jossa fossiilisia polttoaineita pyritään korvaamaan puhtaammilla vaihtoehdoilla osana ilmastotavoitteita. Outokummun toimet Tornion tehtaalla toimivat siten esimerkkinä siitä, miten perinteinen raskas teollisuus voi siirtyä kohti kestävämpiä toimintamalleja ilman, että kilpailukyky kärsii – päinvastoin, se voi jopa vahvistua (Outokumpu Oy, 2014.)

Nesteytetyn maakaasun (LNG) käyttö propaanin sijasta vähentää erityisesti hiilidioksidi- (CO_2), typenoksidi- (NO_x) ja rikkidioksidipäästöjä (SO_2), mikä tukee Suomen ja EU:n ilmastopoliittisia tavoitteita. Arvioiden mukaan LNG:n käyttö voi vähentää CO_2 -päästöjä jopa 20–30 % verrattuna perinteisiin neste-kaasuihin, ja sen palaminen on puhtaampaa, tuottaen vähemmän pienhiukkasia. Outokummun investointi ei siis ainoastaan paranna energiatehokkuutta,

vaan myös konkreettisesti vähentää tehdastoiminnan ilmastovaikutuksia (Outokumpu Oy, 2014.)

Nornickel Harjavalta Oy haluaakin korvata propaanin nestemäisellä maakaasulla myös spraykuivain prosessissa, ja samalla edistää vieläkin enemmän kestäväää kehitystä sekä kilpailukykyä. Outokummun Tornion tehtaän investointi eroaa Nornickel Harjavalta Oy:n investoinnista siten, että Nornickel Harjavalta Oy:llä on jo olemassa LNG:lle säiliöt sekä kokemusta LNG:n käyttämisestä osana prosessia (Outokumpu Oy, 2014.)

Opinnäytetyössäni hyödynnetään laadullista tutkimusmenetelmää, jossa painopiste on olemassa olevan aineiston analysoinnissa ja asiantuntijahaastattelussa. Tavoitteena on kartoittaa LNG:n käyttöön siirtymisen ympäristö- ja talousvaikutuksia verrattuna nykyiseen propaanin käyttöön. Lisäksi työssä arvioidaan siirtymän vaikutuksia yrityksen kestävään kehityksen tavoitteisiin.

Laadullinen tutkimusmenetelmä on sopiva, koska se mahdollistaa syvällisen ymmärryksen energiamuodon vaihtamisen vaikutuksista prosessiin ja kestävyteen. Menetelmä soveltuu erityisesti tapauskohtaiseen tarkasteluun, jossa huomioidaan sekä tekniset että toiminnan kokonaisvaltaiset näkökulmat. Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksen ja Nornickel Harjavalta Oy:n prosessitietojen analyysin avulla.

2 TYÖN TARKOITUKSET JA TAVOITTEET

Työn tarkoituksena oli alentaa hiilidioksidipäästöjä sekä kustannuksia vaihtamalla propaani kustannustehokkaampaan ja ekologisempaan nesteytettyyn maakaasuun nikkeliyhdroksikarbonaatin kuivaukseen käytetyssä spraykuivaimessa.

Työlle asetettiin tavoitteeksi:

- Tutkia nesteytetyn maakaasun vuotojen estämistä tai minimointia
- Selvittää mitä muutoksia vaaditaan teknisesti sekä taloudellisesti, jotta vaihto onnistuu
- Selvittää muutoksen tuomat taloudelliset hyödyt sekä ympäristöpäästöjen muutokset

Työssä selvitettiin nesteytetyn maakaasun vuotojen haittavaikutuksia ja miten ne vaikuttavat ympäristöön sekä vertailtiin propaanin ja maakaasun ilmasto- päästöjä keskenään. Tavoitteena oli suunnitella miten maakaasun vuotojen minimoinnilla siitä tulisi ekologisesti parempi polttoaine.

Työssä mietittiin myös mitä teknisiä muutoksia nikkelihydroksikarbonaatin spraykuivaimessa tulisi tehdä, jotta polttoaineen vaihtaminen onnistuisi, sekä selvittää onko investointi nesteytetyn maakaasun vaihdokseen propaanista järkevä valinta taloudellisesti pidemmällä tähtäimellä.

3 NORNICKEL HARJAVALTA OY:N TOIMINTAYMPÄRISTÖ

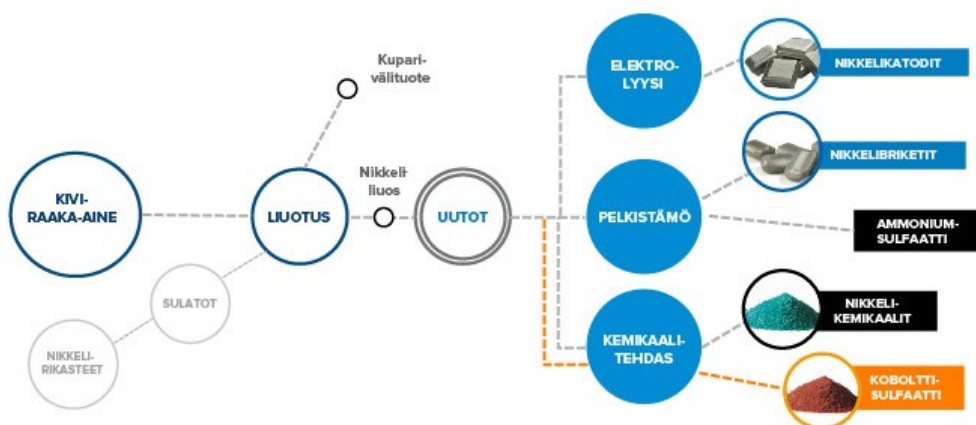
3.1 Nornickel Harjavalta Oy

Nornickel Harjavalta Oy (NNH) on Harjavallassa toimiva metallinjalostuslaitos, joka on osana maailman suurimpiin nikkelin tuottajiin kuuluvaa, venäläistaustaista Nornickel-konsernia. Yhtiö tuottaa noin 60 000 tonnia nikkeliä vuodessa. Myös kobolttisulfaattiliuosta valmistetaan 1500 tonnia vuodessa sekä ammoniumsulfaattia 100 000 tonnia vuodessa (Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

Yhtiö keskittyy korkealaatuisten nikkelimetallien ja -kemikaalien valmistukseen ja sen tuotanto palvelee muun muassa akkuteollisuutta ja ruostumattoman teräksen valmistajia. Nornickel Harjavalta Oy tunnetaan nykyaikaisista

tuotantoteknologioistaan, energiatehokkuudestaan sekä panostuksestaan kestävän kehityksen mukaisiin toimintatapoihin. Tuotannon sivutuotteina syntyy koboltti- ja ammoniumsulfaattia, joita hyödynnetään joko prosessissa tai toimitetaan jatkojalostukseen (Nornickel Harjavalta, 2025.)

Jalostusprosessi on jaettu neljään yksikköön: liuottamo, uutto-pelkistämö, elektrolyysi ja kemikaalitehdas. Nikkelikivi liuotetaan vesiliuokseksi, josta epäpuhtaudet poistetaan neste- neste uutto-prosessilla. Puhdistetusta liuoksesta tuotetaan elektrolyytisesti nikkelikatodeja sekä kemiallisen pelkistyksen kautta nikkelpulveria ja -brikettejä. Kemikaalitehtaalla nikkeli- ja kobolttiliuokset prosessoidaan edelleen nikkelikemikaaleiksi ja kobolttisulfaatiksi (Piisi, 2024.) Seuraavassa kuvassa on Nornickel Harjavalta Oy:n tuotantoprosessit, ja tämänkappaleen alussa on mainittu kaikki neljä yksikköä.



Kuva 1. Nornickel Harjavalta Oy:n tuotantoprosessi (Nornickel Harjavalta, 2025.)

3.2 Kemikaalitehdas

Kemikaalitehdas jalostaa uutosta saatua nikkelisulfaattiliuosta epäorgaanisiksi suoloiksi: nikkelisulfaateiksi, -karbonaateiksi ja -hydroksideiksi. Tuotantolaitos käsittää viisi linjaa: kaksi nikkelisulfaattia, kaksi nikkelihiydroksikarbonaattia ja yhden nikkelihiydroksidia varten (Lepistö, 2013; Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

Nikkelisulfaattia valmistetaan kahdella linjalla (STD- ja EN-laatu). Liuos johdetaan emäliuossäiliön kautta alipaineistettuun kiteyttimeen, jossa haihdutuksen ja lämmön avulla muodostetaan kiteitä. Kiteet erotetaan lingolla, kuivataan leijupetikuivaajassa ja puhdistetaan kaasupesureissa ennen siirtoa tuotesiiloihin ja pakkausta suursäkkeihin. Nikkelisulfaattia käytetään muun muassa sähköttömässä pinnoituksessa ja kemianteollisuuden raaka-aineena. Sen nikkelpitoisuus on noin 22,3 % (Lepistö, 2013; Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

Nikkelihydroksidi tuotetaan saostamalla nikkelisulfaattiliuosta natriumhydroksidia kahdessa sarjareaktorissa. Saos pestään, lietetään ja kuivataan spraykuivaajassa ennen pakkaamista tai siirtoa tuotesiiloihin. Nikkelihydroksidin nikkelpitoisuus on 60–62 %. Sitä hyödynnetään erityisesti paristo- ja akkuteollisuudessa (Lepistö, 2013; Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

Kemikaalitehdas tuottaa myös demineralisoitua vettä prosessikäyttöön. Joki-vesi käsitellään kemiallisesti ferrisulfaattilla ja lipeällä, suodatetaan hiekkasuodattimissa ja puhdistetaan ioninvaihdolla (Lepistö, 2013; Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

Lisäksi tehtaalla toimii vesienkäsittely-yksikkö, jossa prosessi- ja sadevedet puhdistetaan. Metalleja sisältävät liuokset saostetaan, sakeutetaan ja suodatetaan, sekä puhdistettu vesi johdetaan takaisin vesistöön. (Lepistö, 2013; Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

3.2.1 Lyhyesti nikkelihydroksikarbonaatin valmistuksesta

Nikkelihydroksikarbonaattia valmistetaan kahdella tuotantolinjalla: toisessa tuotetaan granuloitua ja toisessa kuivaa tuotetta. Nikkelisulfaattiliuoksesta saostetaan nikkelihydroksikarbonaattia natriumkarbonaatilla, kolmessa sarjaan kytketyssä reaktorissa. Kyseisen saostumisreaktion reaktioyhtälö on seuraava: $5\text{NiSO}_4 + 5\text{Na}_2\text{CO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NiCO}_3 \cdot 3\text{Ni}(\text{OH})_2 + 5\text{Na}_2\text{SO}_4 + 3\text{CO}_2$ (Lepistö, 2013; Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

Saostunut sakka suodatetaan ja pestään nauhasuodattimella, kuivataan spraykuivaimessa ja johdetaan tuotesiloihin pakkausta varten. Kuivasta tuotteesta voidaan valmistaa pastaa homogenisaattorissa lisäämällä vettä. Tuotteet pakataan suur- tai avosäkkeihin. Säiliöautoihin pakkaaminen on myös mahdollista (Lepistö, 2013; Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

Nikkelihydroksikarbonaattia hyödynnetään elektroniikka- ja kemianteollisuudessa, ruostesuojauksessa sekä katalyyttien valmistuksessa. Tuote on puhdasta, mutta veteen liukenematonta. Granuloidun tuotteen nikkelpitoisuus on 39–42 % ja kemikaalitehtaalla valmistettavan tuotteen nikkelpitoisuus vaihtelee 47–51 %:n välillä asiakasspesifikaatioiden mukaan (Lepistö, 2013; Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

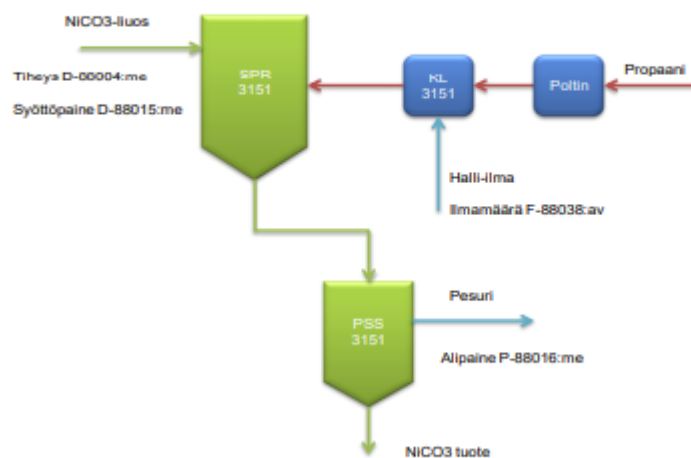
3.2.2 Spraykuivaimen toimintaperiaate

Prosessiteollisuudessa kuivaus tarkoittaa nesteen poistamista tuotteesta kokonaan tai osittain. Ennen varsinaista kuivausta ylimääräinen kosteus voidaan vähentää mekaanisesti esimerkiksi puristamalla, suodattamalla tai linkoamalla.

Spraykuivauksessa liuos syötetään kuumaan kaasuvirtaan joko suutinsumutuksella tai hajotinpyörän avulla. Sumutus parantaa kuivumisoloja ja varmistaa halutut lopputuoteominaisuudet. Sylinterikammiossa pisaroista haihtuu nopeasti yli 95 % vedestä. Haihdutusta tehostavat ilman vedenimukyky, pisaroiden ja ilman kosketuspinta-ala sekä syöttöliuoksen lämpötila (Lepistö, 2013.)

Kuivauksessa muodostuvat kiintoainehiukkaset erotetaan kaasuvirrasta esimerkiksi syklonilla. Kuivausprosessissa liuos ja kaasu voivat virrata joko myötä- tai vastavirtaan. Spraykuivaimille on ominaista lyhyt kuivausaika ja korkea lämpötila. Kuivauksen jälkeen kostea ilma poistetaan syklonin, pussisuodattimen tai näiden yhdistelmän kautta (Gea, 2025; Lepistö, 2013.)

Spraykuivaus soveltuu jatkuvatoimisiin prosesseihin, joissa liuksista, emulsi-oista tai pumpattavista suspensioista tuotetaan kuivaa pulveria tai agglomeroi-tuneita hiukkasia. Menetelmää käytetään erityisesti silloin, kun lopputuotteelta edellytetään tarkkoja ominaisuuksia, kuten hallittua hiukkaskokojakautamaa, jäännöskosteutta, irtotiheyttä tai partikkelimorfologiaa (GEA, 2025; Lepistö, 2013.) Kuvassa 2 on havainnollistettu spraykuivain.



Kuva 2. Nikkelihydroksikarbonaatin spraykuivain (Lepistö, 2013.)

Nikkelihydroksikarbonaatin spraykuivain käyttää hajotinpyörää ja saa lämpö-energiansa propaanikäyttöisestä polttimesta. Palamisprosessia valvoo liekki-vahti, joka katkaisee propaanisyötön automaattisesti häiriötilanteissa. Mahdol-lista propaanivuotoa valvotaan kaasuhaisteliyoilla. Kuivaimeen luodaan ali-paine puhaltimella, ja prosessikaasut johdetaan pussisuodattimen ja puhalti-men kautta venturipesurille, jossa ne puhdistetaan ennen päästöä ulkoilmaan (Lepistö, 2013; Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

3.2.3 Spraykuivaimeen vaikuttavia tekijöitä

Spraykuivaimeen toiminnan kannalta keskeinen parametri on syöttöliuoksen ti-heys. Alhainen tiheys lisää haihdutettavan veden määrää, mikä kasvattaa

propaanin kulutusta. Spraykuivauksen tehokkuuden varmistamiseksi syöttöliuoksen tiheys tulee optimoida (Lepistö, 2013.)

Kuivaimen ilmamäärää säädetään pussisuodattimen jälkeisellä alipaineella: alipaineen kasvaessa ilmavirtaus lisääntyy. Lisäksi prosessin kannalta tärkeitä muuttujia ovat spraykuivaimen loppulämpötila, jolla ohjataan tuotteen nikkeli-pitoisuutta, sekä sisään tulevan ilman lämpötila, joka vaikuttaa tuotantokapasiteettiin (Lepistö, 2013.)

3.2.4 Kemikaalitehtaan LNG-asema

LNG-terminaalissa käsitellään nesteytetyn maakaasun (LNG) purkua, varastointia, höyrystämistä ja siirtoa teollisuuspuiston sisäiseen kaasunjakeluverkkoon. LNG kuljetetaan terminaaliin erikoisvalmisteisilla säiliöautoilla, joista kaasu puretaan letkujen ja auton pumppujen avulla terminaalin varastosäiliöön (300 m³ / 150 t). (räjähdyssuojausasiakirja, 2003.)

Varastoinnin jälkeen LNG höyrystetään, paineistetaan ja lämmitetään ennen siirtoa käyttöpaikkoihin. Säiliö on varustettu kiertojärjestelmällä kaasutilan jäähdytystä ja paineen hallintaa varten. Paineistushöyrystimet varmistavat riittävän paineen LNG-pumpuille. (räjähdyssuojausasiakirja, 2003.)

Höyrystyneen kaasun päästöt ilmaan pyritään pitämään minimissä normaali-käytön aikana. Säiliön suunnittelupaine on mitoitettu siten, ettei varoventtiili avaudu tavanomaisessa käytössä. Hyväksytty boil-off-kaasun (lyhennys BOG eli "boil-off gas") määrä on enintään 0,15 % metaanista vuorokaudessa (räjähdyssuojausasiakirja, 2003.)

4 KESTÄVÄ KEHITYS

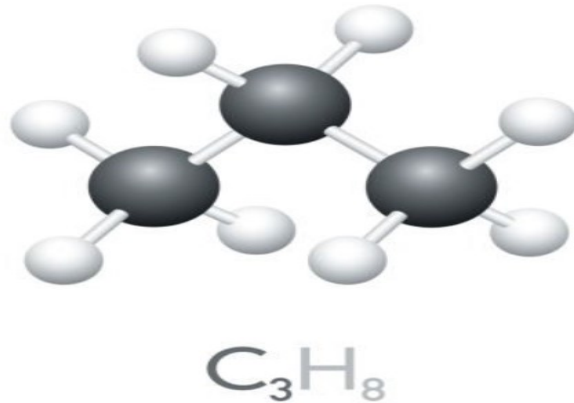
Kestävä kehitys on noussut keskeiseksi teemaksi teollisuudessa. Se vaikuttaa yhä enemmän myös metallien tuotantoketjuihin. Nornickel Harjavalta Oy, joka on osa kansainvälistä Norilsk Nickel -konsernia, on sitoutunut kehittämään tuotantoprosessejaan ympäristövastuullisemmiksi ja energiatehokkaammiksi (Industry Pro Partners, 2025.)

Yrityksen toimintaa ohjaa pyrkimys minimoida haitalliset ympäristövaikutukset samalla, kun se vastaa akkumetallien kasvavaan kysyntään erityisesti sähköautoteollisuuden tarpeisiin. Nornickel Harjavalta painottaa kestävää tuotantoa paitsi omien prosessiensa kehittämisen kautta, myös koko arvoketjun hallinnassa, raaka-aineiden alkuperästä jätteiden käsittelyyn saakka. Tavoitteena on yhdistää vastuullinen resurssien käyttö, ilmastovaikutusten pienentäminen ja taloudellinen kannattavuus tavalla, joka tukee sekä yrityksen pitkän aikavälin kasvua että yhteiskunnallista vastuuta (Industry Pro Partners, 2025.)

4.1 Propani

Propani eli N-Propani (C₃H₈) on normaaliolosuhteissa väritöntä, hajutonta ja tulenarkaa kaasua. Se on erittäin monipuolinen polttoaine, sillä se on puhdasta, tehokasta ja helposti kuljetettavaa, minkä vuoksi sitä käytetään laajasti kotitalouksissa, teollisuudessa ja maataloudessa. Sen yleisimpiä käyttökohteita ovat mm. rakennusten lämmitys, grillaus ja teollisuus (Neste, 2025.)

Propani on fossiilinen polttoaine, mutta uutta biopropania eli uusiutuvaa versiota on myös saatavilla. Biopropani valmistetaan orgaanisesta jätteestä, kasviöljystä tai eläinrasvoista. Kemiallisesti biopropani on samaa molekyyliä (C₃H₈) kuin fossiilinen propani, joten sitä voi käyttää suoraan samoissa laitteissa ilman muutoksia. Propanin kuljetus ja varastointi on helppoa kohtuullisissa olosuhteissa (paineistettuna), sillä se pysyy nestemäisenä (Neste, 2025.) Kuvassa 3 on esitetään propanin kemiallinen kaava.



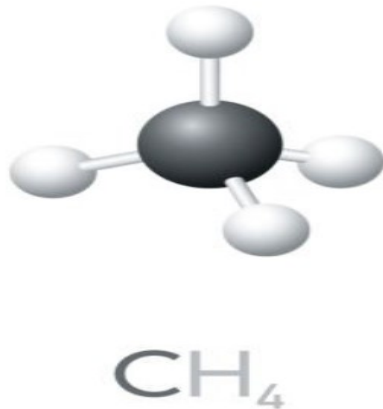
Kuva 3. Propaani (iStock, 2018).

4.2 Nesteytetty maakaasu

Nesteytetty maakaasu (LNG sanoista Liquefied Natural Gas) on nesteenolomuodossa olevaa maakaasua, joka on jäädytetty noin -163 celsiusasteeseen, jolloin se muuttuu nestemäiseksi. LNG:n yleisimmät käyttökohteet ovat esimerkiksi energiantuotanto, teollisuus sekä lämmitys (Gasum, 2025.)

LNG on myös fossiilinen polttoaine, josta on myös olemassa bioversio. Sitä voi kutsua Bio-LNG tai LBG (Liquefied Biogas) nimityksellä. LBG on biokaasusta esim. mädätetystä jätteestä, lannasta tai biomassasta tuotettua kaasua, joka puhdistetaan poistamalla hiilidioksidi ja nesteytetään jäädyttämällä. Lopputuote on pääosin biometaania kuten tavallinen LNG, mutta uusiutuvasta lähteestä (Gasum, 2025.)

Nesteytetyssä muodossa maakaasu vie noin 600 kertaa vähemmän tilaa kuin kaasumaisena, mikä mahdollistaa suurten määrien kuljettamisen laivoilla tai rekoilla paikkoihin, joihin ei ole kaasulinjaa. Koko ketjun ympäristövaikutukset riippuvat vuotojen hallinnasta (Gasum, 2025; Yle, 2021; Rohe, 2024.) Kuvassa 4 esitetään LNG:n pääkomponentin eli metaanin kemiallinen kaava.



Kuva 4. Nesteytetty maakaasu (iStock, 2018).

4.3 Ympäristöhaittojen vertailu

Teollisuuden energiavalinnoilla on merkittävä vaikutus sekä tuotannon kustannustehokkuuteen että ympäristövaikutuksiin. Nesteytetty maakaasu (LNG) ja nestekaasu eli propaani ovat molemmat yleisesti käytettyjä polttoaineita teollisuudessa, erityisesti prosesseissa, joissa tarvitaan korkeita lämpötiloja. Vaikka molemmat ovat kaasumaisia fossiilisia polttoaineita, niillä on merkittäviä eroja niin kemiallisessa koostumuksessa, palamisominaisuuksissa kuin päästövaikutuksissa (Gasum Oy, 2012; Kosangas, 2017.)

LNG koostuu pääosin metaanista, kun taas propaani on raskaampi hiilivety. Tämän vuoksi LNG palaa puhtaammin, tuottaen vähemmän hiilidioksidi- ja pienhiukkaspäästöjä. Lisäksi LNG:n maailmanmarkkinahinta on usein vaakaampi kuin propaanin, mikä tekee siitä houkuttelevan vaihtoehdon kustannusten hallinnan näkökulmasta. Tässä luvussa tarkastellaan näiden kahden polttoaineiden ominaisuuksia, ympäristövaikutuksia sekä soveltuvuutta teollisuuden tarpeisiin kestävän kehityksen näkökulmasta (Gasum Oy, 2012; Kosangas, 2017.) Kaaviossa 1 vertaillaan propaanin ja LNG:n ominaisuuksia ja ympäristövaikutuksia.

Ominaisuus	Propani	LNG (nesteytetty maakaasu)
Päästöt poltettaessa	Tuottaa CO ₂ :ta, mutta erittäin vähän muita päästöjä	Tuottaa CO ₂ :ta, myös hyvin vähäiset muut päästöt
CO ₂ -päästöjen määrä	Kohtalaiset	Pienemmät kuin propaanilla
Metaanipäästöt ja vuodot	Ei juuri metaanivuotoja, pieni ilmastovaikutus	Mahdolliset metaanivuodot suurentavat ilmastohaittoja
Vuotojen ilmastovaikutus	Pieni: propaani hajoaa nopeasti ilmakehässä	Suuri: metaani on voimakas kasvihuonekaasu
Varastointi ja kuljetus	Helppo: paineistettuna kaasupulloissa	Vaatii kylmäsäilytyksen (-162 °C), korkea energiankulutus
Uusiutuvat vaihtoehdot	Bio-propaani saatavilla	Bio-LNG saatavilla
Kokonaisilmastovaikutukset	Melko pienet, etenkin uusiutuvana	Poltossa pienet, mutta metaanivuotoriski suuri

Kaavio 1. Propanin ja LNG:n ominaisuudet, ympäristövaikutukset ja soveltuvuus teollisuuden tarpeisiin kestävän kehityksen näkökulmasta (Gasum Oy, 2012; Kosangas, 2017.)

Yhteenvetona:

- Propaani on yksinkertaisempi hallita ja se päästää poltossa vähemmän epäpuhtauksia, mutta hiilidioksidipäästöt ovat suuremmat verrattuna LNG:hen (Gasum Oy, 2012; Kosangas, 2017.)
- LNG tuottaa palamisen aikana vähemmän hiilidioksidipäästöjä, mutta metaanivuodot kuljetuksessa ja tuotannossa voivat aiheuttaa vakavia ilmastohaittoja. LNG:n hinta on myös edullisempi kuin propanin, vaikka LNG:n hinnassa onkin ollut viime aikoina paljon vaihtelua. (Gasum Oy, 2012; Kosangas, 2017.)

4.4 Metaanipäästövuotojen minimointi LNG-tuotantoketjussa

Nesteytetyn maakaasun metaanivuodot ovat merkittävä huoli ilmaston kannalta. Yleisimmät tekniset syyt ovat tuotannossa kompressointi- ja prosessointilaitteiden vuodot, viemärointi ja ilmanpoistovuodot, varastoinnissa taas säiliöiden venttiilivuodot, mikrohalkeamat sekä eristevauriot ja kuljetuksessa laivojen varustuksen vuodot, säiliöautojen ja pienempien kuljetussäiliöiden vuodot ja putkistojen vuodot (Practical law, 2025; Unep, 2025.)

Suurin osa vuodoista liittyy mekaanisiin tiivisteisiin, venttiileihin, liitoksiin ja BOG:n hallinnan ongelmiin. Jos BOG-järjestelmä ei toimi tehokkaasti (esim. vuoto putkistosta) metaania voi päästä ilmaan (Practical law, 2025; Unep, 2025.)

Miten metaanipäästöjä voidaan vähentää LNG-ketjussa?

1. Vuotojen nopea havaitseminen ja korjaus

- Käytetään lämpökameroita (oltava herkkiä ja tarkkoja, jotta sopivat LNG:n alhaiseen -162 celsiusta lämmön mittaukseen ja huomaavat myös pienet lämpötilaerot) (Teledyne flir, 2025).
- Lasermittauksia kuten infrapunapohjaisia laseranalysointilaitteita ja laseretäisyysmittareita, jotka mittaavat säiliöiden täyttöastetta kriittisissä ja vaarallisissa ympäristöissä, joissa perinteiset mittarit eivät kestä (Hawk, 2025).

- Kaaviossa 2 esitetään kiinteitä antureita:

Anturityyppi	Käyttötarkoitus	Teknologia
Kaasu-/vuotoanturi	Metaani- ja kaasu- vuotojen havaitsemi- nen	Infrapuna, TDLAS
Lämpötila-anturi	LNG:n erittäin alhai- sen lämpötilan mit- taus	RTD, termopari
Paineanturi	Putkistojen ja säiliöi- den painevalvonta	Piezoresistiivinen, kapasi- tiivinen
Pinnankorkeusanturi	Säiliöiden täyttöta- son mittaus	Radar, laser, ultraääni
Nestemäinen vuotoan- turi	LNG-nestevuotojen tunnistus	Johtavuus, optinen

Kaavio 2. Kiinteät anturityypit (Teledyne flir, 2025; Hawk, 2025).

2. Parempi laitetekniikka

- Asennetaan tiiviimpiä venttiilejä, tiivisteitä ja kompressoreita

3. BOG-hallinta

- Talteenotto ja hyödyntäminen energiaksi polton sijaan

4. Prosessien ja kuljetuksen optimointi

- Vähennetään kaasun vapauttamista ja parannetaan säiliöiden eristy-
tystä

5. Ennakoiva huolto ja digitaalinen valvonta

- IoT -anturit (Internet of Things- anturit), joita käytetään metaanivuotojen seurannassa, havaitsemisessa ja ehkäisyssä tarjoavat reaaliaikaista dataa valvonnan kohteissa. Näistä antureista metaanikaasuanturi

havaitsee metaanipitoisuudet jo ilmasta ja varoittaa pienistäkin vuotoista (ifm, 2025.)

Seuraavaksi kaaviossa 3 on listattuna erityyppisiä antureita, joita käytetään LNG-sovelluksissa.

ANTURITYYPPI	KÄYTTÖTARKOITUS
METAANIKAASUANTURI	Havaitsee metaanin ilmassa, tunnistaa vuodot.
PAINEANTURI	Seuraa painevaihteluita, jotka voivat johtaa vuotoihin.
LÄMPÖTILA-ANTURI	Valvoo kriittisiä lämpötiloja säiliöissä ja putkistoissa.
TÄRINÄANTURI	Havaitsee mekaanisia häiriöitä, jotka voivat ennakoita vikoja.
KOSTEUSANTURI	Auttaa havaitsemaan olosuhteita, jotka lisäävät korroosion riskiä.

kaavio 3. Iot-anturit (ifm, 2025.)

- Myös analytiikka, kuten datankeruujärjestelmät, eli teollisuuden ohjausjärjestelmät, jotka keräävät reaaliaikaista dataa kenttäanturoista mahdollistavat tuotannon optimoinnin ja huoltotarpeiden ennakoinnin (CFSensor ym., 2022)

5 KUSTANNUSTEHOKKUUS

Spraykuivaus on keskeinen osa monien teollisten prosessien tuotantoketjua, ja se vaatii suuria määriä lämpöenergiaa, jota tuotetaan yleensä polttamalla kaasumaisia tai nestemäisiä polttoaineita. (Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

Nornickel Harjavalta Oy:n tapauksessa spraykuivaimien lämpöenergianlähteenä käytetään vielä propaania, vaikka yhtiö käyttää nesteytettyä maakaasua (LNG) muissa prosesseissa osana energiatehokkuuden ja ympäristövastuun parantamiseen tähtääviä toimia. Tällä muutoksella on merkittäviä vaikutuksia paitsi ympäristövaikutuksiin, myös prosessin kokonaiskustannustehokkuuteen. (Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

5.1 LNG:n hintarakenne ja saatavuus

Yksi LNG:n käytön keskeisimmistä kustannustekijöistä on sen hinta verrattuna propaaniin. Propaani on öljypohjainen polttoaine, jonka hinta seuraa öljymarkkinoiden vaihtelua. Tämä tekee sen kustannuksista epävakaampia ja alttiita geopoliittisille riskeille. LNG sen sijaan hankitaan maailmanlaajuisilta maakaasumarkkinoilta, joissa hinnat voivat vaihdella, mutta pitkän aikavälin trendi on ollut vakaampi ja kilpailukykyisempi erityisesti suurten teollisten käyttäjien kannalta (Gasum, 2025.)

Lisäksi LNG:n toimitusketjut ovat kehittyneet Suomessa ja muualla Euroopassa merkittävästi viime vuosikymmenen aikana, mikä mahdollistaa sen luotettavan saatavuuden myös Harjavallan kaltaisille alueille. Esimerkiksi Tornion Manga LNG -terminaali ja muut alueelliset infrastruktuurihankkeet ovat parantaneet LNG:n logistiikkaa (Gasum, 2025.)

5.2 Palamistehokkuus ja energiantuottokyky

LNG koostuu pääosin metaanista (CH_4), joka on yksinkertaisin hiilivety ja palaa erittäin puhtaasti. Verrattuna propaaniin (C_3H_8), LNG:n palaminen tuottaa vähemmän hiilidioksidia per tuotettu energiamäärä. Tämän lisäksi LNG palaa korkeammalla hyötysuhteella, mikä tarkoittaa sitä, että spraykuivaimessa tarvitaan vähemmän polttoainetta saman lämpötehon saavuttamiseksi, tai toisaalta saadaan enemmän lämpöä samalla polttoainemäärällä (Klemola, 2013; Gasum, 2025.)

Puhtaampi palaminen myös vähentää palamattomien jäämien ja hiukkasten kertymistä laitteistoon, mikä vähentää huollon tarvetta ja lisää laitteen käyttöikä. Tämä näkyy suoraan huoltokustannuksissa ja seisokkien vähentymisessä (Klemola, 2013; Gasum, 2025.)

5.3 Huolto- ja käyttövarmuus

Laitteiden kunnossapitokustannuksissa voidaan nähdä merkittävä etu LNG:n käytössä. Koska LNG tuottaa vähemmän nokea, rikkiyhdisteitä ja muita epäpuhtauksia, se vähentää komponenttien kulumista ja laskee huollon tiheyttä. Erityisesti polttimet, lämmönvaihtimet ja savukaasulinjat pysyvät puhtaampina, mikä lisää käyttövarmuutta ja vähentää tuotannon seisokkiaikoja (Gasum, 2025.)

Lisäksi LNG-infrastruktuuri on usein nykyaikaisempaa ja varustettu kehittyneillä säätö- ja valvontajärjestelmillä, mikä parantaa koko energiatoimituksen hallittavuutta (Gasum, 2025.)

5.4 Päästövähennemät ja sääntelyhyödyt

Yksi LNG:n keskeisistä eduista propaaniin nähden liittyy päästöihin. LNG:n polttaminen tuottaa noin 15–30 % vähemmän hiilidioksidia per tuotettu lämpöyksikkö. Lisäksi typen oksidien (NO_x), rikkidioksidin (SO_2) ja pienhiukkasten

määrät ovat merkittävästi alhaisempia. Nämä tekijät eivät ainoastaan pienennä yrityksen ympäristöjalanjälkeä, vaan voivat myös tuoda suoraa taloudellista hyötyä vähentyneiden päästömaksujen, päästökauppakustannusten tai tulevaisuudessa mahdollisten hiiliverojen muodossa (Emission factors, 2008; Eia, 2024.)

Samaan aikaan yrityksen maine vastuullisena ja kestävästä kehitystä tukevana toimijana vahvistuu, mikä on yhä tärkeämpää erityisesti kriittisten metallien tuotannossa, jota seurataan tarkasti kansainvälisillä markkinoilla ja toimitusketjuissa (Emission factors, 2008; Eia, 2024.)

5.5 Pitkän aikavälin taloudellinen näkökulma

LNG:n käyttöönotto aluksi vaatii investointeja uuteen polttoainejärjestelmään, kuten LNG-säiliöihin ja putkilinjastoihin, polttimiin, höyrystimiin, suuttimiin ja turvallisuusjärjestelmiin. Nämä investoinnit maksavat itsensä takaisin pidemmällä aikavälillä alempien käyttökustannusten, vähäisempien huoltokustannusten ja pienempien päästökulujen muodossa (Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

Tämä tekee LNG:stä kilpailukykyisen ratkaisun myös strategisesti pitkällä aikavälillä, erityisesti tilanteessa, jossa hiilineutraaliustavoitteet ja kestävä kehityksen painotus lisääntyvät jatkuvasti.

5.5.1 Laskelmia LNG:n tuomista hyödyistä

Alla olevassa taulukossa vertaillaan propaanin ja nesteytetyn maakaasun (LNG) vuotuisia kustannuksia ja päästövaikutuksia spraykuivaimessa. Laskelmien pohjana on 10 000 MWh:n vuotuinen lämpöenergian tarve. Laskennassa käytetyt suureet ovat:

E_{tarve} = Lämpöenergian tarve spraykuivaimelle (MWh/vuosi).

Tämä on kuivausprosessissa tarvittava hyödyllinen energiamäärä.

η = Polttoaineen hyötysuhde.

Kertoo, kuinka suuri osa polttoaineen sisältämästä energiasta saadaan hyötykäyttöön (esim. 0,90 = 90 %).

$E_{\text{primääri}}$ = Tarvittava primäärienergia (MWh/vuosi).

Lasketaan jakamalla lämpöenergian tarve polttoaineen hyötysuhteella: $E_{\text{primääri}}$

$$\text{määri} = E_{\text{tarve}} / \eta$$

H = Polttoaineen yksikköhinta (€/MWh).

Keskimääräinen energiasisältöön perustuva markkinahinta.

K = Vuotuinen polttoainekustannus (€).

Saadaan kertomalla primäärienergia polttoaineen hinnalla:

$$K = E_{\text{primääri}} \times H$$

S = Vuotuinen kustannussäästö (€).

Erotus propaanin ja LNG:n vuotuisista kokonaiskustannuksista: $S = K_{\text{propani}} -$

$$K_{\text{LNG}}$$

PCO_2 = CO₂-päästökerroin (kg/MWh).

Keskimääräinen hiilidioksidipäästö tuotettua energiamäärää kohti.

P = Vuotuiset hiilidioksidipäästöt (kg CO₂).

Lasketaan kertomalla energiantarve päästökertoimella:

$$P = E_{\text{tarve}} \times PCO_2$$

Kaaviossa 4 on kustannuslaskelmia säästöistä, kustannuksista sekä päästöistä.

Laskentakohde	Laskukaava	Propani (esimerkki)	LNG (esimerkki)
Primäärienergian tarve (MWh/vuosi)	E_{tarve} / η	$10\,000 / 0,90 = 11\,111$	$10\,000 / 0,95 = 10\,526$
Vuotuiset polttoainekustannukset (€)	$E_{\text{primääri}} \times H$	$11\,111 \times 41,70 = 463\,329$	$10\,526 \times 40,67 = 428\,092$
Vuotuinen kustannussäästö (€)	$K_{\text{propani}} - K_{\text{LNG}}$	-----	$463\,329 - 428\,092 = \mathbf{35\,237}$
Vuotuiset CO₂-päästöt (kg)	$E_{\text{tarve}} \times PCO_2$	$10\,000 \times 2\,310 = 23\,100\,000$	$10\,000 \times 1\,800 = 18\,000\,000$

Kaavio 4. Kustannuslaskelmia (EIA, 2024; Trading economics, 2025.)

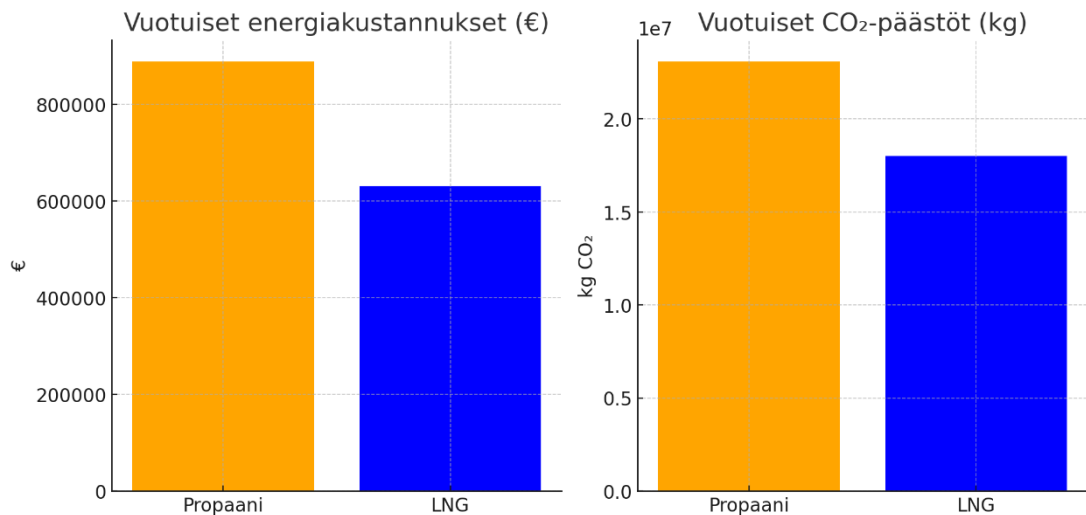
Laskelmien perusteella nesteytetyn maakaasun (LNG) korvaaminen propanin tilalle spraykuivaimessa on sekä taloudellisesti että ympäristöllisesti kannattava ratkaisu. LNG:n käyttö voi tuottaa merkittäviä säästöjä vuositasolla polttoainekustannuksissa ja samalla vähentää hiilidioksidipäästöjä yli 20 % (EIA, 2024.) Laskelmissa ei kuitenkaan ole huomioitu esimerkiksi kuljetuksesta tai varastoinnista aiheituvia kuluja.

Lisäksi pienemmät typen oksidien ja muiden haitallisten yhdisteiden päästöt parantavat ilmanlaatua ja vähentävät mahdollisia päästökustannuksia tulevaisuudessa. Nämä hyödyt tukevat Nornickel Harjavalta Oy:n kestävä kehityksen tavoitteita ja vahvistavat sen asemaa vastuullisena toimijana kriittisten metallien tuotantoketjussa (EIA, 2024.)

5.5.2 Hiilidioksidipäästöjä ja säästöjä kaavioiden muodossa

Alla olevat kaaviot havainnollistavat propanin ja nesteytetyn maakaasun (LNG) vuotuisia kokonaiskustannuksia sekä CO₂-päästöjä spraykuivaimen käytössä. Tarkastelun lähtökohtana on 10 000 MWh:n vuotuinen lämpöenergian tarve. Kaaviot osoittavat, että LNG ei ainoastaan vähennä

tuotantokustannuksia, vaan myös pienentää hiilidioksidipäästöjä merkittävästi verrattuna propaaniin. Tämä tukee sekä taloudellisia että ympäristöllisiä tavoitteita energiankäytön tehostamisessa. Kaaviossa 5 vertaillaan propaanin ja LNG:n käyttöä spraykuivaimessa.



Kaavio 5. Propaanin ja LNG:n käytön vertailu spraykuivaimessa (Motiva ym., 2025).

1. **Vuotuiset energiakustannukset (€):** LNG tuottaa saman energiamäärän alhaisemmalla kustannuksella (Motiva ym., 2025).
2. **Vuotuiset CO₂-päästöt (kg):** LNG:n käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä merkittävästi, noin 22 % verrattuna propaaniin (Motiva ym., 2025).

6 MAHDOLLISET MUUTOS- JA INVESTOINTITARPEET

Kemikaalitehtaalla on muutamia spraykuivaimia. Osa kuivaimista käyttää syötösuuttimia, osa hajotinpyöriä. Kuivaimet saavat lämmitysenergiansa polttimilta, jotka toimivat propaanilla. Turvallisuutta valvotaan liekkivahdilla, joka katkaisee automaattisesti kaasunsyötön liekin sammuttua, sekä haistelijajärjestelmällä, joka havaitsee mahdolliset propaanivuodot laitteen ulkopuolella (Lepistö, 2013; Räjähdyssuojausasiakirja, 2021.)

Kuivauksen jälkeen kaasut johdetaan alipaineella suodattimen ja puhaltimen kautta venturipesuriin ennen ulospäästöä (Lepistö, 2013; Räjähdyssuojausasiakirja, 2021).

6.1 Polttimen muutos tai vaihto

Propaanille suunnitellut polttimet eivät sovellu suoraan maakaasulle. Tarvitaan uudet polttimet tai nykyisten muokkaus maakaasun ominaisuuksia vastaaviksi (mm. liekin lämpötila, ilman ja kaasun seossuhde) (Räjähdyssuojausasiakirja, 2021).

Propaani ja maakaasu eroavat toisistaan lämpöarvoltaan ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan. Propaanin lämpöarvo on n. 46 MJ/kg ja maakaasun (metaanin) lämpöarvo on n. 39 MJ/kg. Propaani palaa siis kuumemmalla ja lyhyemmällä liekillä, kun taas metaani hitaammin ja vähemmän lämpöä tuottaen yksikköä kohden (Honeywell ym., 2010)

Polttimen suutinten koko tai muoto tulee muuttua, jotta seossuhde (ilma/kaasu) olisi optimaalinen. Myös ilmansyötön säätö vaatii muutoksia, sillä metaani tarvitsee eri määrän palamisilmaa kuin propaani, lisäksi polttimen säätöautomaattikka vaatii ohjelmapäivityksen (Honeywell ym., 2010)

6.2 Kaasunsyötön paine- ja virtausjärjestelyt

Propaani varastoidaan nestemäisenä ja höyrystetään paikan päällä kaasuksi, joka toimitetaan käyttöön korkeapaineisena. LNG eli nesteytetty maakaasu puolestaan kuljetetaan terminaaliin noin $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa nestemäisessä olomuodossa ja höyrystetään kaasuksi ennen käyttöä (Gasum, 2025.)

LNG:n höyrystimen ja paineensäätimen ulostulo on suunniteltava vastaamaan polttimen vaatimuksia. Syöttöputkiston mitoitus (halkaisija, eristys)

tarkastetaan kaasun virtausvaatimusten perusteella. Myös uuden syöttöputkiston suunnittelu LNG-asemalta spraykuivaimille on tehtävä. Lisäksi varoventtiilit, takaiskuventtiilit ja kaasuvälineet valitaan painealueen ja virtaustarpeen mukaan (Konwell, 2024.)

6.3 Turvajärjestelmien päivitys

Liekkivahdin toiminta on tarkistettava maakaasulle sopivaksi. Maakaasulla voi olla erilainen syttymis- ja palamiskäyttäytyminen kuin propaanilla (GT Engineering, 2024; Honeywell, 2010).

Liekkivahdit toimivat optisesti tai ionisaatioperiaatteella tunnistuen liekin. Ne on kalibroitu polttoaineen ominaisuuksien mukaan. Propaanin liekki näkyy ja käyttäytyy eri tavalla kuin metaanin (GT Engineering, 2024; Honeywell, 2010.)

Liekkivahdin herkkyys ja säätöarvot vaativat muuttamista sekä automaattisen sulkuventtiilin vasteaika ja rajat tulee varmistaa metaanin mukaan (GT Engineering, 2024; Honeywell, 2010).

6.4 Vuodonvalvonnan säätö

Haistelijoiden tulee olla säädettynä tunnistamaan metaanipohjainen maakaasu, koska ne ovat kalibroitu propaanille. Haistelijat (gas detectors) on yleensä kalibroitu havaitsemaan tietyn kaasun (propaani, metaani, vety tms.). Metaani ja propaani eroavat haisteluun vaikuttavissa ominaisuuksissa, kuten hajukynnyksessä ja tiheydessä (GT Engineering, 2024; Honeywell, 2010.)

Kalibroitukaasu vaihdettava metaaniin (maakaasun pääkomponentti). Ilmaisten hälytysrajat määritettävä uudelleen metaanin alemman räjähdysrajan (LEL) mukaan (~4,4 til-%) (GT Engineering, 2024; Honeywell, 2010.)

6.5 Palamiskaasujen käsittely

Vaikka palamiskaasut ovat samanlaisia, pieniä eroja syntyy (esim. vesihöyryn ja hiilidioksidin määrässä), jotka vaikuttavat pesuriin tai suodatukseen (GT Engineering, 2024).

Molemmat polttoaineet tuottavat pääasiassa vettä (H_2O) ja hiilidioksidia (CO_2), mutta määrissä on eroja. Propanin palamisessa syntyy enemmän CO_2 per yksikkö energiaa kuin metaanista. Eroilla voi olla vaikutusta pesurijärjestelmän mitoitukseen (GT Engineering, 2024.)

Venturipesurin kapasiteetti tulee tarkistaa, koska kaasumäärä, lämpötila ja kosteus voivat muuttua. Suodattimien ja tiivisteiden materiaalit on arvioitava uudelleen, jos olosuhteet muuttuvat olennaisesti. Tarvittaessa säädettävä pesurin huuhteluvirtaa tai vaihtaa suodatinmateriaaleja (GT Engineering, 2024.)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työlle asetetut tavoitteet olivat teknistaloudellisesti realistisia ja ajankohtaisia. Tarkastelun kohteena ollut propanin korvaaminen nesteytetyllä maakaasulla (LNG) spraykuivainprosessissa osoittautui kannattavaksi ratkaisuksi niin kustannusten, energiankulutuksen kuin ympäristövaikutusten näkökulmasta.

Laskennallisten esimerkkien perusteella LNG:n käyttö mahdollistaa merkittävän, yli 20 %:n hiilidioksidipäästövähennyksen verrattuna propaaniin, mikä tukee Nornickel Harjavalta Oy:n ilmastotavoitteita ja ympäristövastuuta. Samalla LNG:n vakaampi markkinahinta ja alhaisemmat päästökustannukset voivat parantaa tuotannon kustannustehokkuutta pitkällä aikavälillä.

Laskelmat ja päästölaskentakaaviot antoivat selkeän kuvan LNG:n eduista, mutta käytännön vaikutusten varmentaminen edellyttää pidempiaikaista

seurantaa spraykuivaimen energiankulutuksesta ja todellisista päästöistä. Koska tässä työssä käytetyt energiantarvelaskelmat perustuvat arvioon (10 000 MWh/vuosi), suositeltavaa olisi mitata prosessin todellinen energiankulutus ja vertailla sitä vuositasolla nykyiseen propaanin kulutukseen, jotta säästöpotentiaali saadaan tarkennettua.

Työn toinen painopiste oli metaanipäästöjen minimoinnin ja hallinnan tarkastelu LNG:n käyttöönoton yhteydessä. Vaikka nesteytetty maakaasu palaa lähes kokonaan ja puhtaasti, pieniä määriä metaania voi vapautua prosessin eri vaiheissa, kuten varastoinnissa, siirrossa tai polttimien käynnistyksessä. Metaani on voimakas kasvihuonekaasu, ja sen hallittu käsittely on tärkeää, jotta siirtymä LNG:hen tuo aidosti ilmastohyötyjä.

Jatkotutkimuksen kohteeksi soveltuisi erityisesti spraykuivaimen hukkalämmön hyödyntäminen entistä laajemmin. Esimerkiksi lämmitettävän prosessi-ilman tai syöttöliuosten esilämmitys spraykuivaimesta poistuvalla jäännöslämmöllä voisi tuoda energiansäästöjä ilman, että se kasvattaa päästöjä. Lisäksi voitaisiin selvittää mahdollisuus yhdistää useiden laitteiden hukkalämmöt yhteen keskuslämmönvaihtimeen, jolloin saavutettaisiin synergiaetuja tehtaan kokonaisenergiatehokkuuden kannalta. Näin yritys voisi samanaikaisesti pienentää sekä fossiilisen polttoaineen kulutusta että potentiaalisia metaanipäästöjä.

Nornickel Harjavalta Oy:llä on edellytykset ottaa käyttöön käytäntöjä, jotka rajoittavat metaanipäästöjä teknisesti ja kustannustehokkaasti. Tämän työn pohjalta yrityksessä tehdään investointi suunnitelma propaanin korvaamiselle. Kokonaisuutena työ tukee Nornickel Harjavalta Oy:n siirtymää kohti vähäpäästöisempää ja energiatehokkaampaa tuotantoa. Propaanin korvaaminen LNG:llä on askel kohti kestävämpää kemikaaliteollisuutta, joka reagoi sekä ympäristövaatimuksiin että globaalin markkinan odotuksiin vastuullisesta toiminnasta.

Tässä opinnäytetyössä on noudatettu hyvän tieteellisen käytännön periaatteita ja tutkimuseettisiä ohjeita. Kaikki lähteet on merkitty asianmukaisesti ja aineiston käyttö perustuu rehellisyyteen sekä avoimuuteen.

Tutkimus ei sisällä kokeellista tai henkilötietoja sisältävää aineistoa, eikä se aiheuta fyysistä tai psyykkistä haittaa osallistujille tai muille sidosryhmille. Työssä on pyritty tarkastelemaan energia- ja ympäristöratkaisuja eettisesti kestäväällä tavalla, huomioiden ilmastovaikutukset, resurssien vastuullinen käyttö ja yrityksen kestävä kehityksen tavoitteet. Mahdolliset eturistiriidat tai sidonnaisuudet on tunnistettu ja niistä on raportoitu avoimesti - kirjoittajalla ei ole taloudellista tai muuta suoraa etua työn lopputuloksesta.

Eettistä vastuullisuutta tukee myös se, että työ on toteutettu yhteistyössä yrityksen kanssa selkeiden rajojen ja tavoitteiden mukaisesti. Kaikki raportoitava tieto on julkaistu yrityksen luvalla, eikä työ sisällä liikesalaisuuksia tai arkaluonteista aineistoa. Näin varmistetaan, että tutkimus on eettisesti hyväksyttävää sekä tutkimusyhteisön että toimeksiantajan näkökulmasta.

Tutkimuksen luotettavuutta on pyritty vahvistamaan monipuolisella ja ajantasaisella lähdeaineistolla sekä käyttämällä useita tietolähteitä, mukaan lukien tieteellinen kirjallisuus, viranomaismateriaalit ja yrityksen sisäiset dokumentit. Lisäksi prosessitietojen analyysi tukee empiiristen havaintojen paikkansapitävyyttä ja kontekstisidonnaisuutta. Tulosten tarkastelussa on pyritty kriittiseen pohdintaan, ja mahdolliset rajoitteet on tuotu avoimesti esiin. Koska kyseessä on tapaustutkimus, tuloksia ei voida suoraan yleistää, mutta ne tarjoavat arvokasta tietoa vastaavista energiamuutoksista muissa teollisuusympäristöissä. Laskentojen lukuarvot eivät ole todellisia lukuarvoja, joten näin ollen laskennoissa saadut hyödyt ovat hypoteettisia.

LÄHTEET

- CFSensor. (2022). Kaasun anturi. Tuote. CFSensor. osoitteesta <https://cfsensor.com/fi/product-category/gas-sensor/>
- Dräger. (2025). Drägerin anturit kiinteille kaasunilmaisimille. Dräger. Noudettu osoitteesta https://www.draeger.com/fi_fi/Safety/Fixed-Gas-Detection/Sensors
- EH. (2025). Radar level measurement. Endress + Hauser. Noudettu osoitteesta <https://www.fi.endress.com/en/field-instruments-overview/level-measurement/Radar-level-measurement>
- Eia. (2024). Carbon Dioxide Emissions Coefficients. Environment. U.S. Energy Information Administration. Noudettu osoitteesta https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php
- Emission factors. (2008). Liquefied Petroleum Gas Combustion. Emission Factors. Noudettu osoitteesta https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/1.5_liquefied_petroleum_gas_combustion.pdf
- European Commission. (2025). Climate Action. European Commission. Noudettu osoitteesta https://climate.ec.europa.eu/index_en
- Gasum. (2025). Kumppanisi Energia Murroksessa. Gasum. Noudettu osoitteesta <https://www.gasum.com/fi/>
- Gasum. (2025). Maakaasu ja nesteytetty maakaasu (LNG). Gasum. Noudettu osoitteesta <https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/maakaasu-ja-nesteytetty-maakaasu-Ing/>
- Gasum Oy. (2012). LNG-terminaalin rakentaminen Suomeen. Gasum Oy. Noudettu osoitteesta <https://kliimaministerium.ee/sites/default/files/documents/2021-07/LNG%20terminali%20KMH%20aruande%20kokkuv%C3%B5tte%20Lisa%202.pdf>
- Gea. (2025). Energy saving tech for crystallisation plants. GEA. Noudettu osoitteesta https://www.gea.com/en/?utm_source=niro-com&utm_medium=domain-redirect&utm_campaign=domain-redirect
- GT Engineering. (2024). EN 746-2 - Industrial Thermoprocessing Equipment. GT Engineering. Noudettu osoitteesta <https://www.gt->

[engineering.it/en/technical-standards/en-iso-standards/en-746-2-industrial-thermoprocessing-equipment/](https://www.engineering.it/en/technical-standards/en-iso-standards/en-746-2-industrial-thermoprocessing-equipment/)

- Hawk. (2025). Optiolaser S300 Liquid laser sensor. HAWK. Noudettu osoitteesta <https://www.hawkmeasurement.com/product/S300/>
- Honeywell. (2010). Kromschroder System Technology. Honeywell. Noudettu osoitteesta <https://www.kromschroeder.de/en/kromschroeder-system-technology/gas-systems/standards/en-746-22010/>
- iea. (2023). Fossil fuels. Energy system. IEA. Noudettu osoitteesta <https://www.iea.org/reports/gas-2023>
- ifm. (2025). IO-Link: maailmanlaajuinen avoin tiedonsiirtostandardi. Ifm. Noudettu osoitteesta <https://www.ifm.com/fi/fi/shared/technologien/io-link/io-link-maailmanlaajuinen-avoin-tiedonsiirtostandardi>
- Industry Pro Partners. (2025). Teollisuuden kestävä kehittäminen on Suomen vahvuus. Industry Pro Partners. Noudettu osoitteesta <https://www.industry-pro.fi/2024/08/16/teollisuuden-kestava-kehittaminen-on-suomen-vahvuus/>
- Informa. (2024). What is SCADA (Supervisory control and data acquisition). Rahul Awati. Informa. Noudettu osoitteesta <https://www.techtarget.com/whatis/definition/SCADA-supervisory-control-and-data-acquisition>
- iStock. (2018). Metaani, etaani, propaani kemialliset kaavat ja molekyylimallit. iStock. Noudettu osoitteesta <https://www.istockphoto.com/fi/vektori/metaani-etaani-propaani-kemialliset-kaavat-ja-molekyylimallit-gm1046497054-279987821>
- Klemola, K. (2013). Maakaasu. Kimmo Klemola. Noudettu osoitteesta <https://www.kimmoklemola.fi/2014/maakaasu.pdf>
- Konwell. (2024). Kaasun paineensäätimen toimintaperiaate ja valinta. Konwell. Noudettu osoitteesta <https://www.konwell.fi/fi/viestinta-ja-julkaisut/blogit/kaasun-paineensaaetimen-toimintaperiaate-ja-valinta>
- Kosangas. (2017). Mitä on nestekaasu. Uusiutuvaa energiaa täydentävä kaasu. Kosangas. Noudettu osoitteesta <https://www.kosangas.fi/miksi-nestekaasu/miksi-kannattaa-valita-nestekaasu/mitae-on-nestekaasu/mitae-on-nestekaasu/>
- Lepistö, H. (2013). Spraykuivaimen toiminnan optimointi [AMK-opinnäytetyö Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/55705/Lepisto_Hanna.pdf;jsessionid=FC77EC3009C7950E678936748FC23E20?sequence=1
- Motiva. (2025). Energian kokonaiskulutus. Energiankäyttö Suomessa. Motiva. Noudettu osoitteesta

https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_konaiskulutus

Moto Integrator. (2024). Mikä on NO_x-Anturi?. Kaikki mitä sinun tarvitsee tietää. Moto Integrator. Noudettu osoitteesta <https://www.motointegrator.fi/blog/mika-on-nox-anturi-kaikki-mita-sinun-tarvitsee-tietaa/>

Neste. (2025). Propani. Polttoaineet. Tuotteet. Neste. Noudettu osoitteesta <https://www.neste.fi/yrityksille/tuotteet/polttoaineet/propani>

Nornickel Harjavalta. (2025). Nornickel Harjavalta. Haettu 2.3.2025 osoitteesta <https://www.nornickel.fi/>

Outokumpu Oy. (2014). Outokumpu investoi nesteytetyn maakaasun käyttöön Suomessa. Outokumpu. Noudettu osoitteesta <https://www.outokumpu.com/fi-fi/news/2014/outokumpu-investoi-nesteytetyn-maakaasun-k%C3%A4ytt%C3%B6n-suomessa>

Piisi, J. (2024). Ionivaihdon hyödyntäminen nikkelijäämien erottamiseen ammoniumsulfaattiliuoksesta [AMK-opinnäytetyö Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/820013/Piisi_Jonna.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Practical law. (2025). Boil Off Gas. Thomson Reuters. Practical law. Noudettu osoitteesta <https://content.next.westlaw.com/Glossary/PracticalLaw>

ROHE. (2024). Palvelumme. ROHE. Noudettu osoitteesta <https://www.rohe.fi/palvelumme>

Räjähdyssuojausasiakirja. (2003). Nornickel Harjavalta Oy.

Teledyne flir. (2025). Gas detection cameras. Teledyne Flir. Noudettu osoitteesta <https://www.flir.eu/browse/industrial/gas-detection-cameras/fixed-cameras>

Unep. (2025). How secretive methane leaks are driving climate change. Unep. Noudettu osoitteesta <https://www.unep.org/news-and-stories/story/how-secretive-methane-leaks-are-driving-climate-change>

Yle. (2021). Rantaan nousi kerrostalon kokoinen betonisäiliö, jonka sisällä lämpötila on -162 astetta-näin hurjan muurin LNG vaatii ympärilleen. Nesteytetty maakaasu. Yle. Noudettu osoitteesta <https://yle.fi/a/3-11510867>