

EXCELLENCE IN ENGINEERING

NESTEJACOBS

Simulaatiomallinnukseen perustuva  
teknillistaloudellinen toteutettavuus selvitys  
Metanointilaitokselle

Projektiraportti 14.6.2017

# Tiivistelmä

- Tässä selvityksessä arvioitiin synteettisen maakaasun mahdollista tuotantoa ylijäämä vedystä sekä päästöhiilidioksidista Etelä-Karjalan alueella ja siihen liittyviä investointikustannuksia sekä käyttökustannuksia
  - Uusi mahdollinen laitos päätettiin sijoittaa Joutsenoon, missä se hyödyntäisi Kemira Chemicals Oy:n kemikaalitehtaan sivutuotteena tuottamaa vetyä.
  - Laitoksen toisen raaka-aineen, hiilidioksidin, lähteitä alueella vertailtiin ja arvioon valittiin eri tyyppisiä lähteitä hyvän kokonaiskuvan ja konseptin sovellettavuuden saavuttamiseksi.
- Arvioitu metanointilaitos tulisi olemaan jopa viisi kertaa keskinkertaisen biokaasulaitoksen kokoinen sekä samalla valmistuessaan maailman suurin metanointiyksikkö.
- Kokonaisinvestointikustannukseksi arviointiin 45-62 miljoonaa euroa riippuen erityisesti hiilidioksidin lähteestä
  - Arvio perustui kaupallisesti saatavilla oleviin teknologioihin ja pääosa rakennettavista yksiköistä katsottiin rakennettavan ns. "greenfield" laitoksena
  - Kokonaisinvestoinnista arvioitiin kotimaisen hankinnan osuuden olevan mahdollisesti jopa noin 70 %

---

Projekti toteutettiin aikavälillä Maaliskuu 2017 – Kesäkuu 2017

## Projektin ohjausryhmä:

Markku Mäki-Hokkonen, City of Lappeenranta  
Markku Heinonen, City of Lappeenranta  
Juha Hujanen, Kemira Chemicals Oy  
Janne Tynnenen, Kemira Chemicals Oy  
Jani Mäkelä, Gasum Oy  
Aleksi Haverinen, Gasum Oy  
Inkeri Kauppi, Gasum Oy

## Neste Jacobs Yhteyshenkilö:

Mika Ketomäki  
+358 50 458 1420  
mika.ketomaki@nestejacobs.com

Selvityksen sisältämät tiedot tarjotaan sellaisenaan kuin ne selvityksestä ilmenevät, eikä Neste Jacobs anna mitään vakuuksia tai takuita selvityksen sisältämien tietojen kattavuudesta, tarkkuudesta tai luotettavuudesta. Selvityksen käyttäminen tapahtuu käyttäjän omalla riskillä, eikä Neste Jacobs tai sen alikonsultit ole vastuussa selvityksen, tai sen osan, käyttämisestä tai käyttämisen aiheuttamista seurauksista.

# Sisällys

1. Johdanto
2. Hiilidioksidin lähteet ja uuden laitoksen sijoituspaikka
3. Konseptisuunnittelu
4. Investointi- ja käyttökustannukset

# 1. Johdanto

Talvella 2015-2016 Lappeenrannan kaupunki aloitti selvitystyön metanointilaitoksen rakentamiseksi Etelä-Karjalaan. Aiemmissa selvityksissä Kemira Chemicals Oy:n Joutsenon tehtaalla prosessien sivutuotteena syntyvän vedyn metanoiminen on tunnistettu kiinnostavimmaksi sovelluskohteeksi metanointilaitokselle. Työ- ja elinkeinoministeriö on arvioinut metanointilaitoksen potentiaalisesti kansalliseksi kärkihankkeeksi. Investoinnin valmistelua vetävä Gasum Oy etsii uusia mahdollisuuksista tuottaa uusiutuvaa metaania kaasuverkkoon ja on perehtynyt eri metanointiteknologioihin.

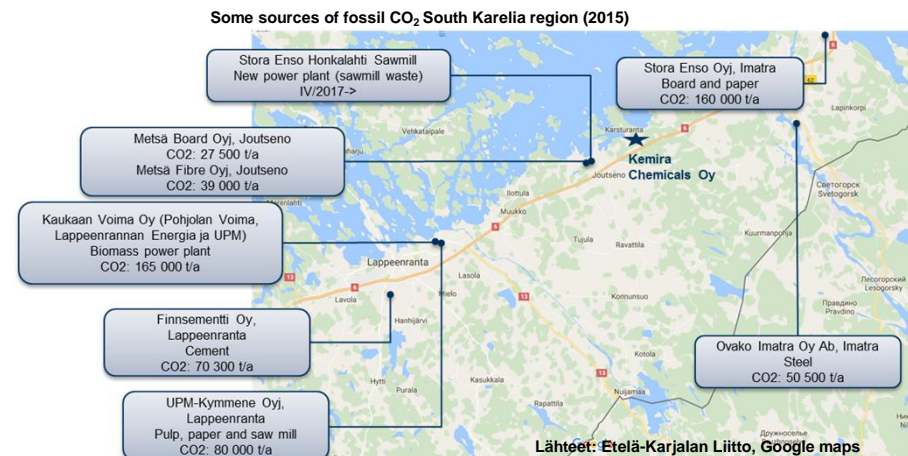
Lappeenrannan kaupunki, Gasum ja Kemira käynnistivät syksyllä 2016 hankkeen metanointilaitoksen kannattavuuden selvittämiseksi. Hankkeessa pyritään etenemään mahdollisimman pian laitoksen esisuunnitteluun, jota varten kaupunki on varannut AIKO-rahaa (Alueelliset Innovaatiot ja Kokeilut/TEM). Osana tätä hanketta toteutettiin tämä teknistaloudellinen toteutettavuus selvitys Aspen-työkalulla mallinnetusta metanointilaitoksesta sisältäen hiilidioksidin talteenoton ja logistiikan metanointiprosessiin.

Tässä selvityksessä arvioitiin uuden metanointilaitoksen investointikustannus sekä sen käyttökustannukset. Tätä varten tunnistettiin lupaavimmat hiilidioksidin lähteet alueella, arvioitiin uuden laitoksen potentiaalisin sijoituspaikka, toteutettiin alustava konseptisuunnittelu hiilidioksidin talteenotolle ja puhdistukselle, vedyn puhdistukselle ja metanointilaitokselle.

Projekti toteutettiin yhteistyössä Gasum Oy:n ja Kemira Chemicals Oy:n kanssa.

## 2. Hiilidioksidin lähteet ja uuden laitoksen sijoituspaikka

- Hiilidioksidin lähteet tunnistettiin alueella ja arvioitiin karkeasti perustuen:
  - CO<sub>2</sub> määrä
  - Kaasuseoksen suurpiirteinen koostumus
  - Etäisyys vetylähteeseen: Kemiran tehdas Joutsenosssa
- Konseptin haluttiin olevan sovelluskelpoinen myös muissa kohteissa, joten tutkittavaksi valittiin eri tyyppisiä hiilidioksidin lähteitä. Kuitenkin tutkimus rajoitettiin lupaaviin kohteisiin.
- Hiilidioksidin talteenotto ja puhdistus perustui lähteen kaasukoostumukseen ja kaupallisesti tarjolla oleviin tekniikoihin.
- Hiilidioksidilähteen valinnassa on huomioitava:
  - Vain fossiilinen hiili on päästökaupan piirissä
  - Toisaalta hiilen lähteellä voi olla nykyisten säädösten mukaan vaikutus myös lopputuotteen bioluokitteluun
  - Tarkastelluissa konsepteissa hiilenlähteellä voi olla vaikutus siihen, miten suuri osa tuotteesta voidaan laskea uusiutuvaksi metaaniksi
- Vedyn logistiikka oli määrittävä tekijä laitoksen sijoituspaikan valinnassa teknistä, ekonomisista ja HSE systä:
  - Vedyn matala tiheys → suuret tilavuudet
  - Laajat syttymisrajat (4 – 75 til-% ilmassa)
  - Vetyyn liittyvä materiaaliongelmat ja -rajoitteet

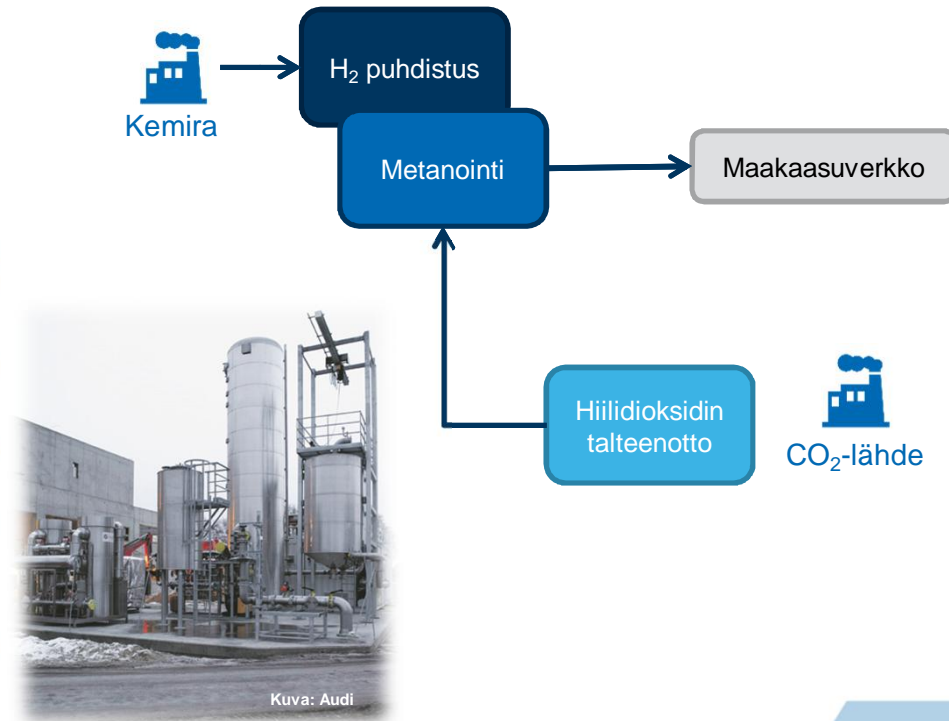


### 3. Konseptisuunnittelu

- Metanointi on eksoterminen reaktio, jolle suosiollista on matala lämpötila ja korkea paine:



- Metanoinnin vaatimukset olivat lähtökohtana muiden osien suunnittelulle ja käyttöhyödykkeiden oletettiin olevan riittäviä kaikissa kohteissa.
- Metanointilaitoksen käyttöaika vuodessa arvioitiin olevan 8 600 tuntia ja saatavuus 98 %.
- Konseptissa molemmat lähtöainekaasut katsottiin siirrettävän putkessa.
  - Vety lyhyen matkaa metanointilaitoksen sijoituspaikaksi valitun Kemiran laitoksen alueella
  - Hiilidioksidi huomattavasti pidemmältä etäisyydeltä
- Myös tuotekaasun mahdollisesti tarpeellinen puhdistus arvioitiin.



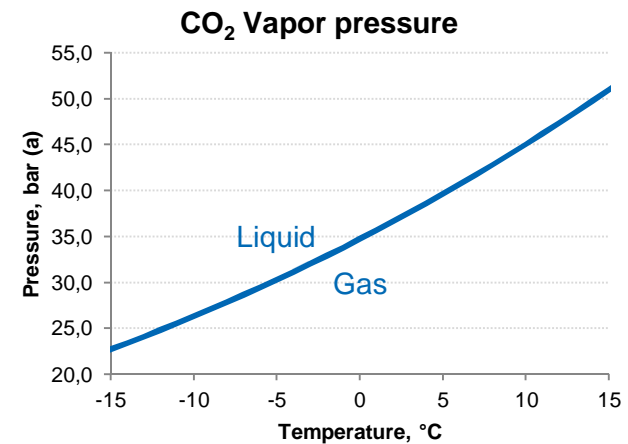
### 3. Konseptisuunnittelu: CO<sub>2</sub> –lähteet ja talteenotto

- Metanoinnin asettamat vaatimukset lähtöainekaasulle olivat perustana hiilidioksidin talteenoton suunnittelussa.
  - Kaupallisesti saatavilla olevia konsepteja vertailtiin ja lopulliseen konseptiin valittiin sopiva talteenottomenetelmä riippuen hiilidioksidin lähteestä.
  - Eri menetelmillä nähtiin olevan omat etunsa ja huonot puolensa: optimointi olisi mahdollista myöhemmissä suunnitteluvaiheissa.
- Talteenotto konsentroi hiilidioksidin määrän riippuen lähteestä ja menetelmästä 10-20 prosentista karkeasti 70 prosentin tasolle, minkä jälkeen hiilidioksidi vielä puhdistettiin noin elintarvikelaatua vastaavalle tasolle.

Teknologia	Edut	Haittapuolet
<b>Absorptio</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amiinipohjaiset kemikaaliliuottimet</li> <li>• Lisäksi:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ammoniakkipohjaiset kemikaaliliuottimet</li> <li>• Faasimuutosliuottimet</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korkea absorptiotehokkuus (&gt;90%).</li> <li>• Adsorbentti voidaan regeneroida kuumentamalla ja/tai alipaineistamalla</li> <li>• Kypsin prosessi hiilidioksidin erotukseen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorptiotehokkuus riippuu hiilidioksidikonsentraatiosta</li> <li>• Adsorbenttien regenerointi vaatii merkittävästi lämpöä</li> <li>• Hajoamiseen liittyvät ympäristövaikutukset täytyy ymmärtää</li> <li>• Toteuttamiskelpoisempi suuremmille kapasiteeteille</li> </ul>
<b>Adsorptio</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Molekyyliseula</li> <li>• Aktiivihiili</li> <li>• Zeoliitit</li> <li>• PSA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prosessi on reserviä ja adsorbentti voidaan kierrättää</li> <li>• Korkea adsorptiotehokkuus saavutettavissa (&gt;85%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adsorptio vaatii korkeaa lämpötilaa</li> <li>• Hiilidioksidin erottaminen adsorbentista kuluttaa paljon energiaa</li> </ul>
<b>Membraanierotus</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemialliset membraanit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyvin tunnettu teknologia kaasujen erotuksessa</li> <li>• Korkea erotustehokkuus voidaan saavuttaa (&gt;80%).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operointiongelmia mm. alhainen virtaus ja likaantuminen</li> </ul>
<b>Kryogeeninen tislau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kypsä teknologia teollisessa hiilidioksidin talteenotossa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kannattavaa vain korkeista hiilidioksidipitoisuuksista</li> <li>• Vaatii todella alhaista lämpötilaa</li> <li>• Prosessi on hyvin energiantensiivinen</li> </ul>

### 3. Konseptisuunnittelu: CO<sub>2</sub> logistiikka

- Laitoksen sijoituspaikan määräytyttyä vedyn lähteen mukaan, nähtiin hiilidioksidin logistiikka kriittisenä osana suunnittelua.
- Hiilidioksidi arvioitiin siirrettäväksi putkessa kaasuna seuraavin perustein:
  - Tarvittava kaasun määrä on verrattain pieni, erityisesti verrattaessa toteutettuihin CCS-projekteihin
  - Hiiliteräs soveltuu putkimateriaaliksi ja se sallii korkean paineistuksen, minkä ansiosta putkikoko pysyy pienenä ja näin ollen myös kustannus siirtoputkelle on verrattain kohtuullinen.
  - Hiilidioksidivirran sisältämää vetyä ei kannata poistaa puhdistuksessa sen ollessa metanointireaktion toinen lähtöaine, joten myös vetyhaurastumisen riski arvioitiin, mutta pienen vetysisällön takia sitä ei nähty oleellisena.
- Painehäviön minimoimiseksi lähtöpaineen tulisi olla mahdollisimman korkea, minkä ansiosta myöskään välikompressoitua ei katsottu tarvittavan arvioiduilla matkoilla.
  - CO<sub>2</sub> -10 °C lämpötilassa alkaa kondensoitua noin ~26 barin paineessa
- Vedyn diffuusio putken seinämän läpi arvioitiin niin pieneksi ettei se aiheuta merkittäviä turvallisuusriskejä.

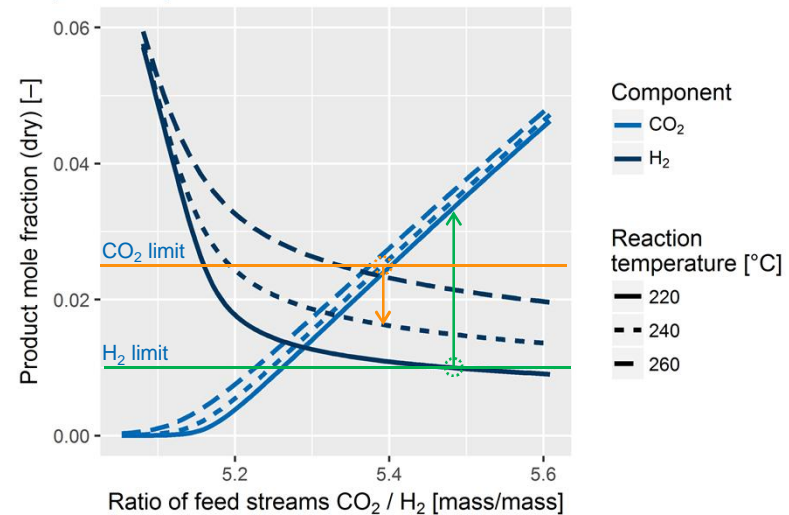




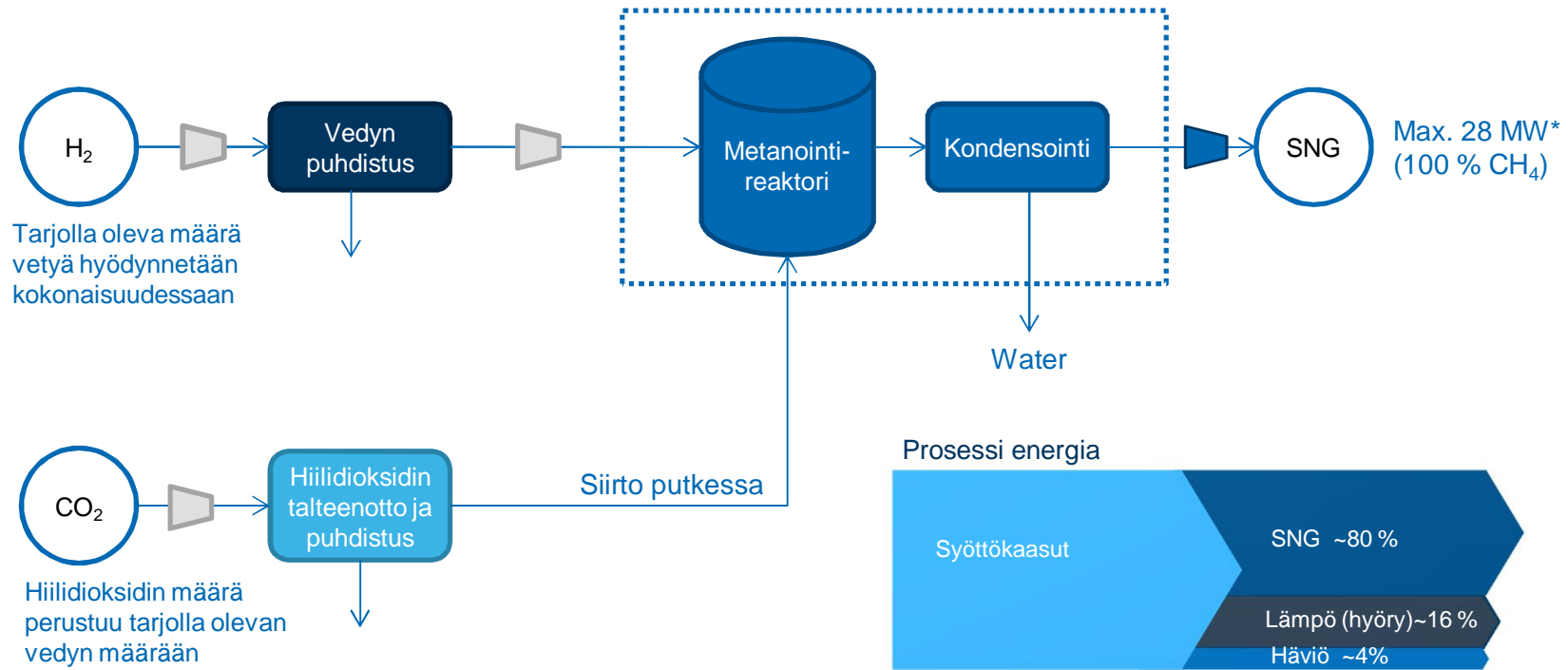
### 3. Konseptisuunnittelu: Tuotekaasun koostumus

- Metanointireaktorin suorituskykyä voidaan säätää seuraavilla parametreilla:
  - Lämpötila
  - Paine
  - $\text{CO}_2:\text{H}_2$  syöttösuhde
- Metanointi reaktiot ovat eksotermisiä ja siten lämpötilan säätö on erityisen tärkeää
  - Tyypillinen operointi lämpötila on 240-280 °C
- Reaktion termodynamiikka rajoittaa tuotteen koostumusta, eikä asetettuja tavoiterajoja ( $\text{H}_2$  1 mol-% ja  $\text{CO}_2$  2,5 mol-%) saavuteta:
  - Vain 220 °C lämpötilassa  $\text{H}_2$  konsentraatio alittaa 1,0 mol-% rajan.  
→ jolloin,  $\text{CO}_2$  konsentraatio on 3.3 mol-%
  - Jos  $\text{CO}_2$  pidetään 2.5 mol-%:n alapuolella,  
→  $\text{H}_2$  konsentraatio on noin 1.6 mol-% 240°C lämpötilassa ja matalammassakin lämpötilassa yli tavoiterajan.
- Selvityksessä huomioitiin myös tuotekaasun puhdistus

Tuotekaasun  $\text{H}_2$  and  $\text{CO}_2$  konsentraatiot, syöttökaasujen syöttösuhteen funktiona



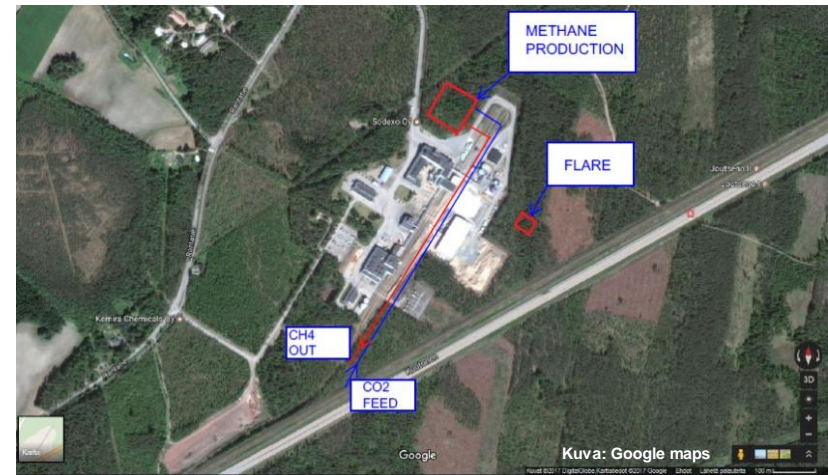
### 3. Konseptisuunnittelu: Kokonaiskonsepti



\*Saatava tuotteen määrä riippuu konseptista, selvityksessä tutkittiin erilaisia hiilidioksidin lähteitä ja menetelmiä

### 3. Konseptisuunnittelu: Laitos- ja layoutsuunnittelu

- Kaikki yksiköt arvioitiin rakennettavaksi nykyisten laitosten alueiden ulkopuolelle, niiden viemästä tilasta johtuen
- Kaikki uuden laitoksen toimintaan liittyvä materiaaliliikenne tulisi olemaan putkistojen kautta
  - Vaikutus nykyisten laitosten toimintaan olisi näin ollen vähäistä
- Metanointyüksikön sijoituspaikkaan tulitisiin tarvitsemaan soihtu palavien kaasujen takia
  - Tässä selvityksessä tämä huomioitiin ja ratkaisuksi valittiin maasoihtu.



## 4. Investointi- ja käyttökustannukset

Investointikustannus: 45-62 M€



- Investointikustannukseksi arviointiin 45-62 miljoonaa euroa, riippuen hiilidioksidin lähteestä ja jossain määrin talteenottomenetelmästä.
- Kustannus koostuu kaikista tarvittavista yksiköistä:
  - Laitteet, muut materiaalit, alihankinta, suunnittelu ja normaali varaus
- Projektin tavoittelema tarkkuus oli  $\pm 30$  % päälaitetasolla.
- Kokonaisinvestoinnista arvioitiin noin 70 prosentin olevan hankittavissa Suomesta.



- Käyttökustannukset arvioitiin perustuen konseptin massa- ja energiataseeseen.
  - Raaka-aineet muodostivat suurimman osan kustannuksesta
    - Raaka-aineen kustannus perustui sen lämpöarvoon ja esim. savukaasun tapauksessa raaka-aineen katsottiin ettei raaka-aineella ole erillistä kustannusta.
  - Käyttöhyödykkeiden kustannus muodostui pääasiassa sähköstä
  - Itse metanointireaktio taas tuottaa lämpöä.
  - Energiaveroilla ja sähkön- sekä maakaasunsiirron kustannuksilla on voimakas vaikutus käyttökustannuksiin



EXCELLENCE IN ENGINEERING

NESTEJACOBS