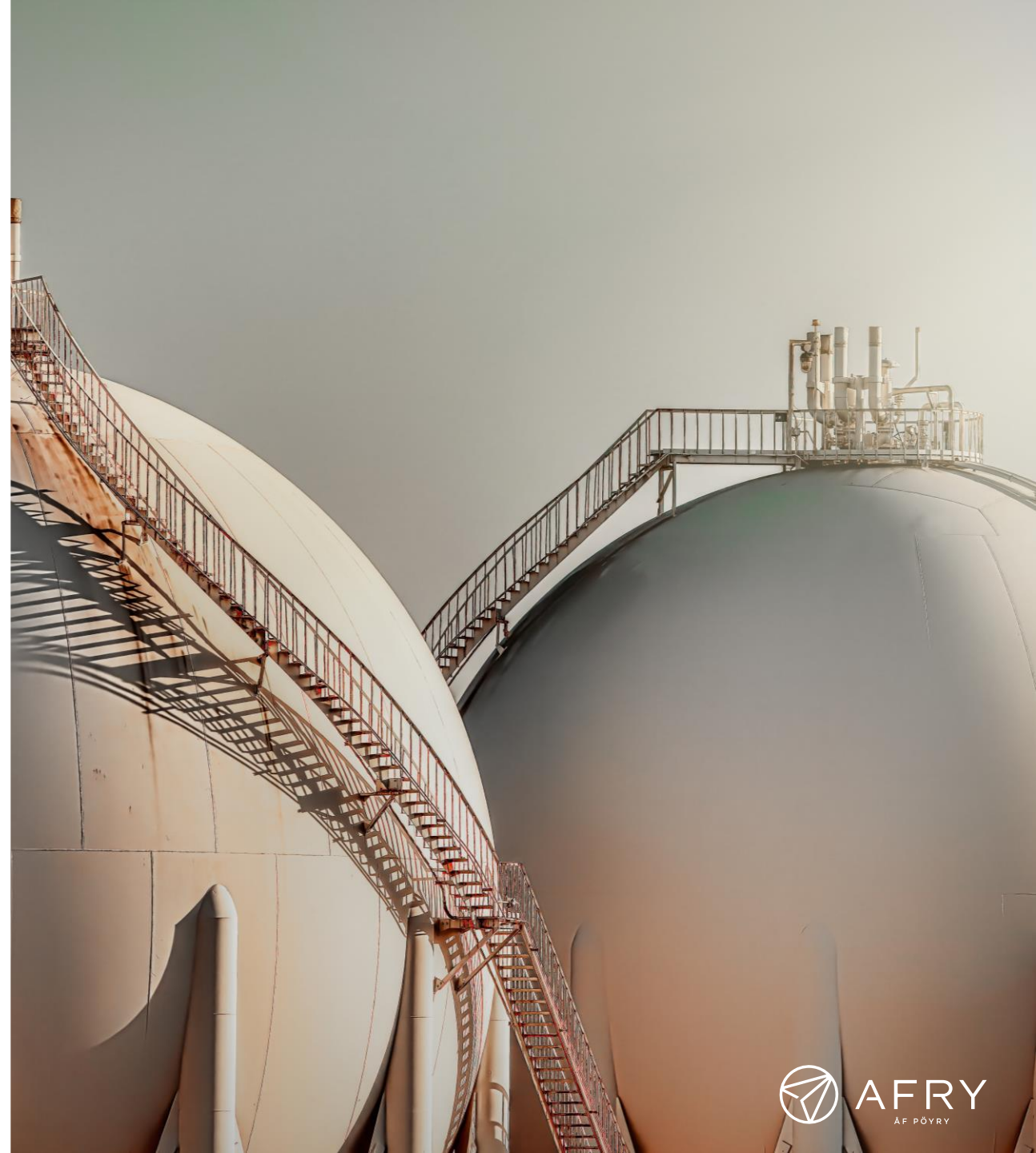


Vedyn Varastointi



Vetyä voi varastoida sellaisenaan tai sidottuna toiseen materiaaliin

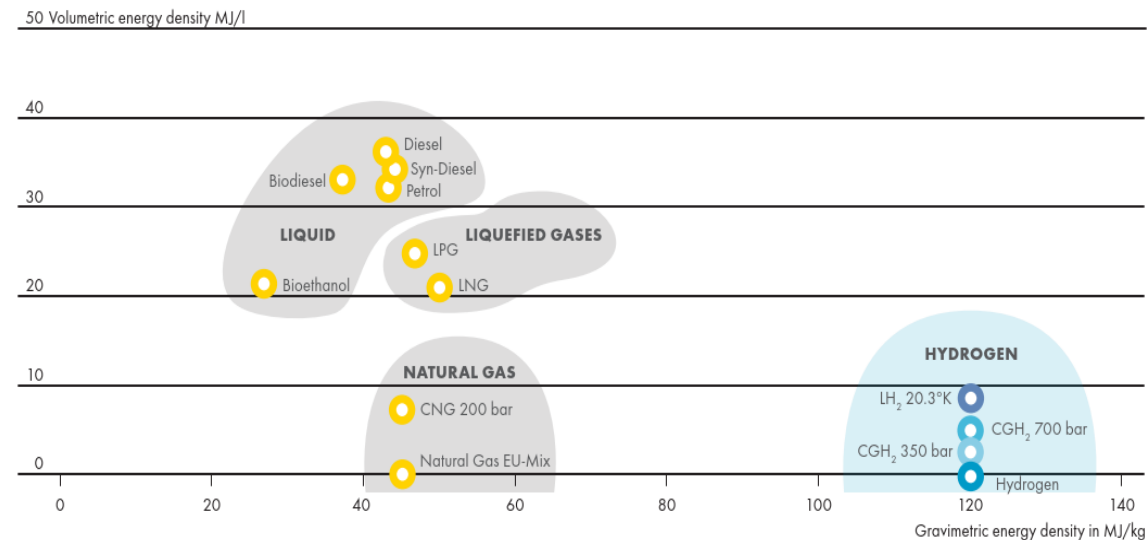
Fyysinen varastointi,

- Vety varastoidaan sellaisenaan korkeassa paineessa, nesteytettynä tai kylmäkompressoituna
- Tällä hetkellä käytössä olevaa teknologiaa

Materiaalipohjainen varastointi,

- Vety on sidottu toiseen aineeseen
- Kehittyvä ala, monia kehitteillä olevia vaihtoehtoja mm.:
 - Hydridit
 - Adsorbointi pinnoille
 - Kemiallinen sitominen esim. CH_4 , NH_3 , MeOH , sopivien hiilivetyjen vedytys ja vedyn poisto

Energiatiheys: paino vs. tilavuus



Vedyn tiheys $\sim 0,08 \text{ kg/Nm}^3$

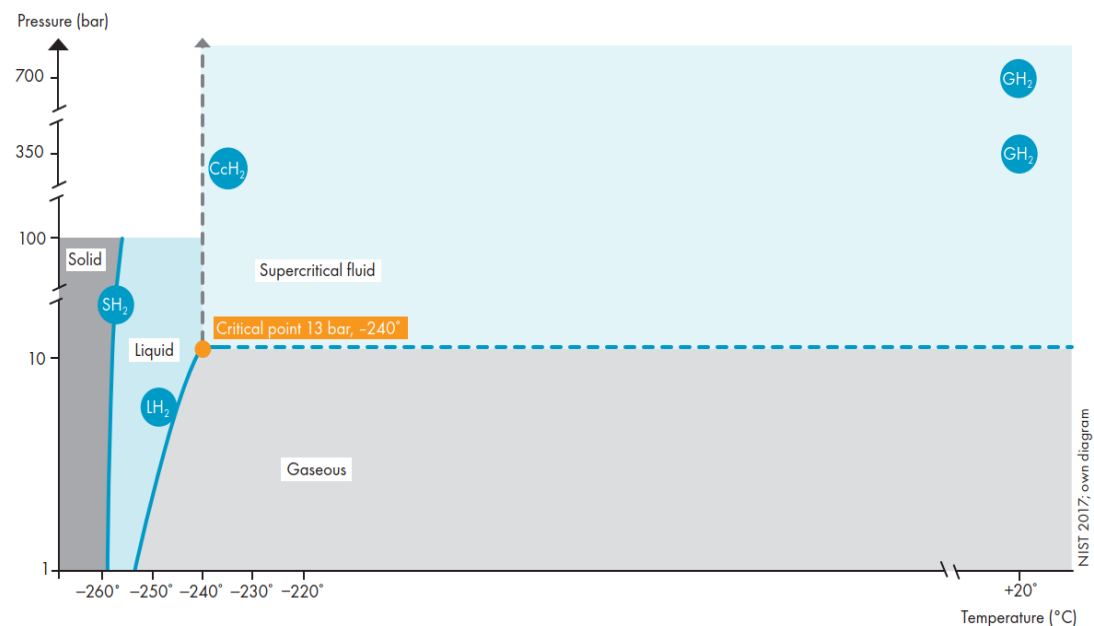
Maakaasun tiheys $\sim 0,7 \text{ kg/Nm}^3$

Vrt. maakaasun energiatiheys:

- n. $3,5 \times$ vety MJ/m^3
- n. $0,4 \times$ vety MJ/kg

Vedyn nesteytys vaatii paljon energiaa ja todella matalan lämpötilan

- Vedyn kriittinen piste on -240 °C (33 K)
- Energiantarve 30-40% varastoidun vedyn LHV:stä
- Vety pysyy nesteytettynä ilmanpaineessa eristyksen avulla, kiehuva vety jäähdyyttä nestettä
- Boil-off järjestelmä on tärkeä
- Käyttö tällä hetkellä lähinnä avaruusteknologiassa ja erityisen vaativissa kohteissa, kuten mikropiirien valmistaminen



Kompressointi on yleisimmin käytetty varastointitapa

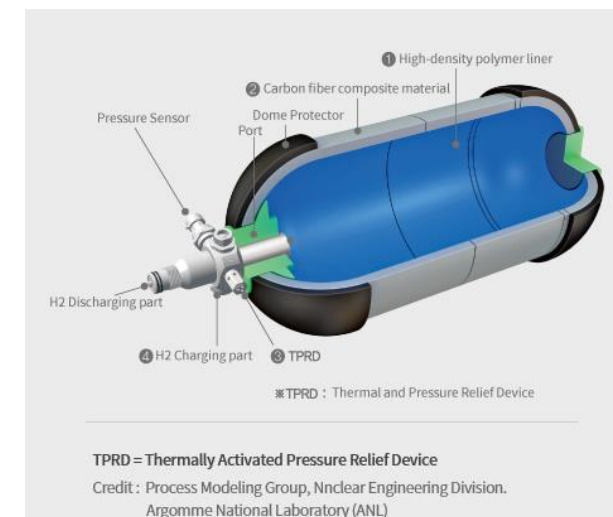
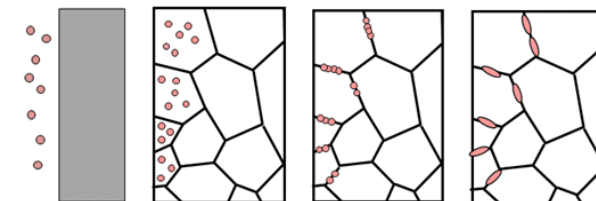
Paine mahdollista ~800 barg asti mäntä ja kalvokompressoreilla

Tavalliset varastointipaineet

- 350 barg "staattiset varastot"
- 700 barg autot ja muut täyttämistä vaativat

Materiaaliteknisesti haastavaa

- Vety "liukenee" metalleihin
- Lujat teräkset haavoittuvia tilanteissa joissa paine vaihtelee
- Erilaisia komposiittiratkaisuja olemassa (etenkin autokäyttöön)



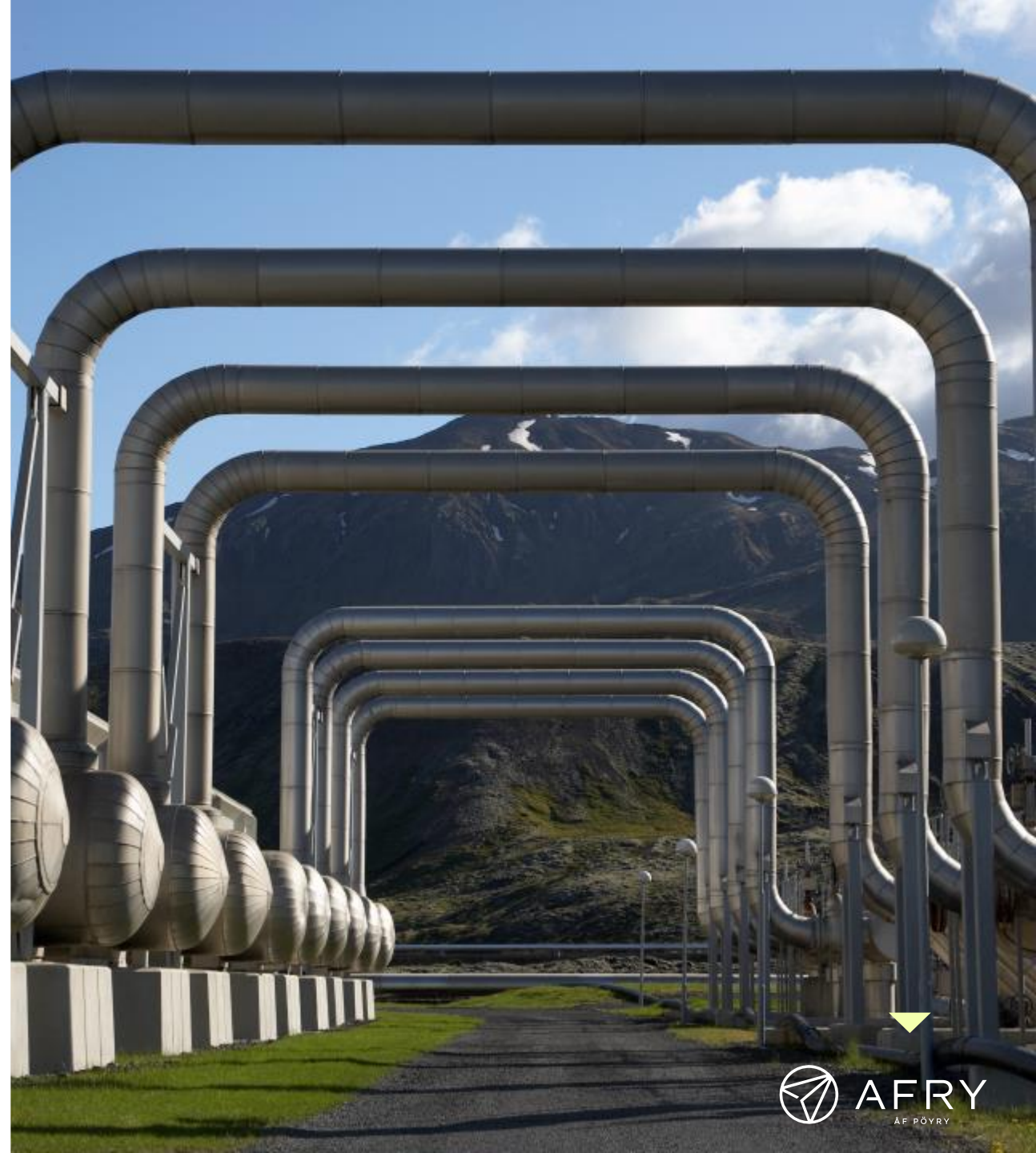
Varastointitiheyden kasvaessa myös energiantarve ja varastopaikan tekniset vaatimukset kasvaa

Menetelmä	Paine (barg)	Lämpötila (°C)	Tiheys (kg/m ³)	Energiatiheys ² (MJ/L)	Energiantarve ¹ (kWh/kgH ₂)	Energiantarve (% H ₂ LHV)	Säiliön tyyppi
Kompressoitu	350	15	24	2.9	2.2	7 %	Erikoisteräksiset tai komposiittisyinterit
Kompressoitu	700	15	40	4.8	3.2	10 %	
Neste	2-4	-253	71	8.5	8.0-13.4 (suuruudesta riippuen)	24 – 40 %	Kaksoisvaipallinen terässäiliö, jossa vakuumi välissä eristeenä

1: Energiantarpeessa oletettu vedylle 20 barg ja 300K lähtötila

2: Laskettu käyttäen SRK tilayhtälöä, H₂ LHV 120.1 MJ/kg.

Vedyn siirto



Siirtomenetelmät

Vetyä voidaan kuljetetaan nykyisin:

- Säiliöautoilla (tai junilla) paineistettuna tai nesteytettynä
- Putkessa, joko puhtaana tai sekoitettuna esim. maakaasuun



Putkilinjat

Vanhaa teknologiaa

- Olemassa olevaa putkistoa paljon mm. Meksikonlahdella ja Länsi-Euroopassa
- Paineet putkistoissa 30-80 barg
- Vrt. Suomen maakaasun kantaverkon paine 50-80 barg

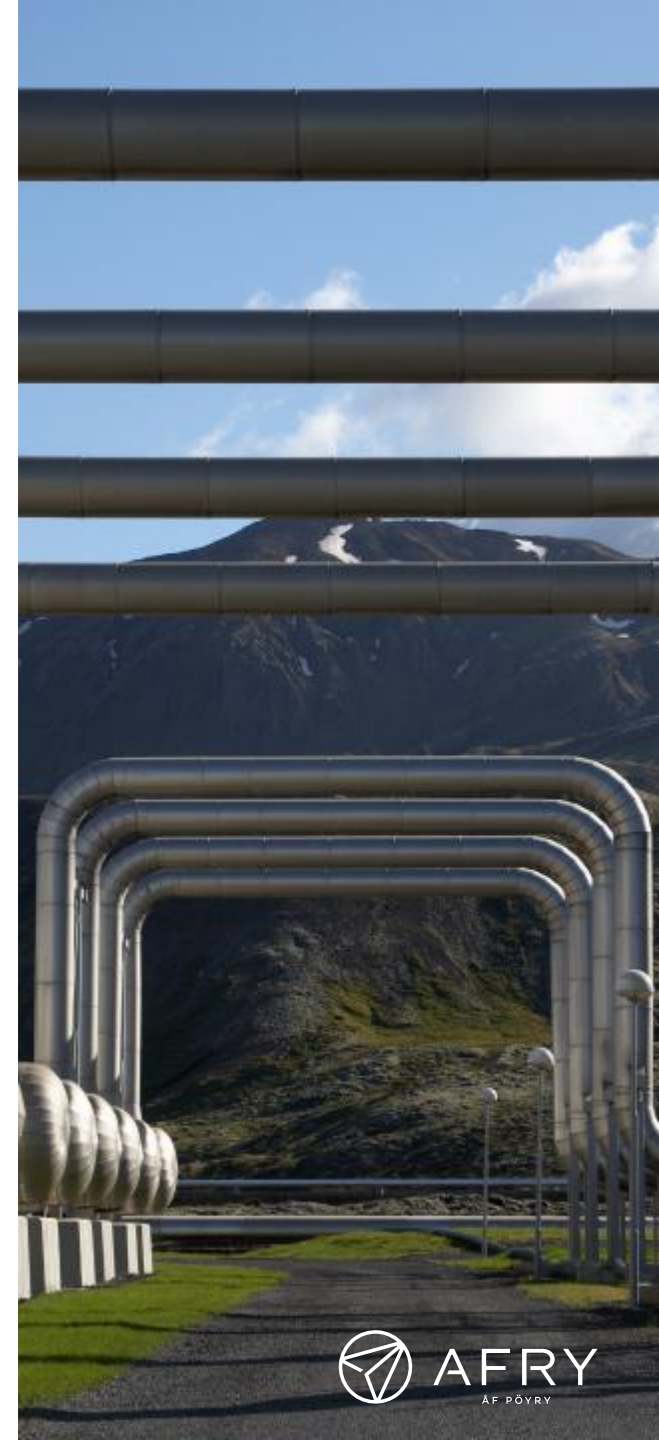
Kustannustehokkain tapa, mutta vaatii raskasta infraa

Projekteja käynnissä maakaasulinjojen muuttamiseksi vetykäyttöön

- Toiseen suuntaan paljon kokemusta kaupunkikaasuverkkojen muuttamisesta maakaasulle esim. Iso-Britanniassa
- Vetyä myös mahdollista sekoittaa maakaasun sekaan

Ongelmia

- Läpäisee materiaalit, vuotoja jopa moninkertainen määrä maakaasuun nähden, silti taloudellisesti hyvin pieni vaikutus
- Erittäin helposti syttyvä kaasu
- Lämpöarvo merkittävästi pienempi tilavuusperusteisesti
- Materiaalien sopivuus



Esimerkki energiavirtoja vedylle ja maakaasulle

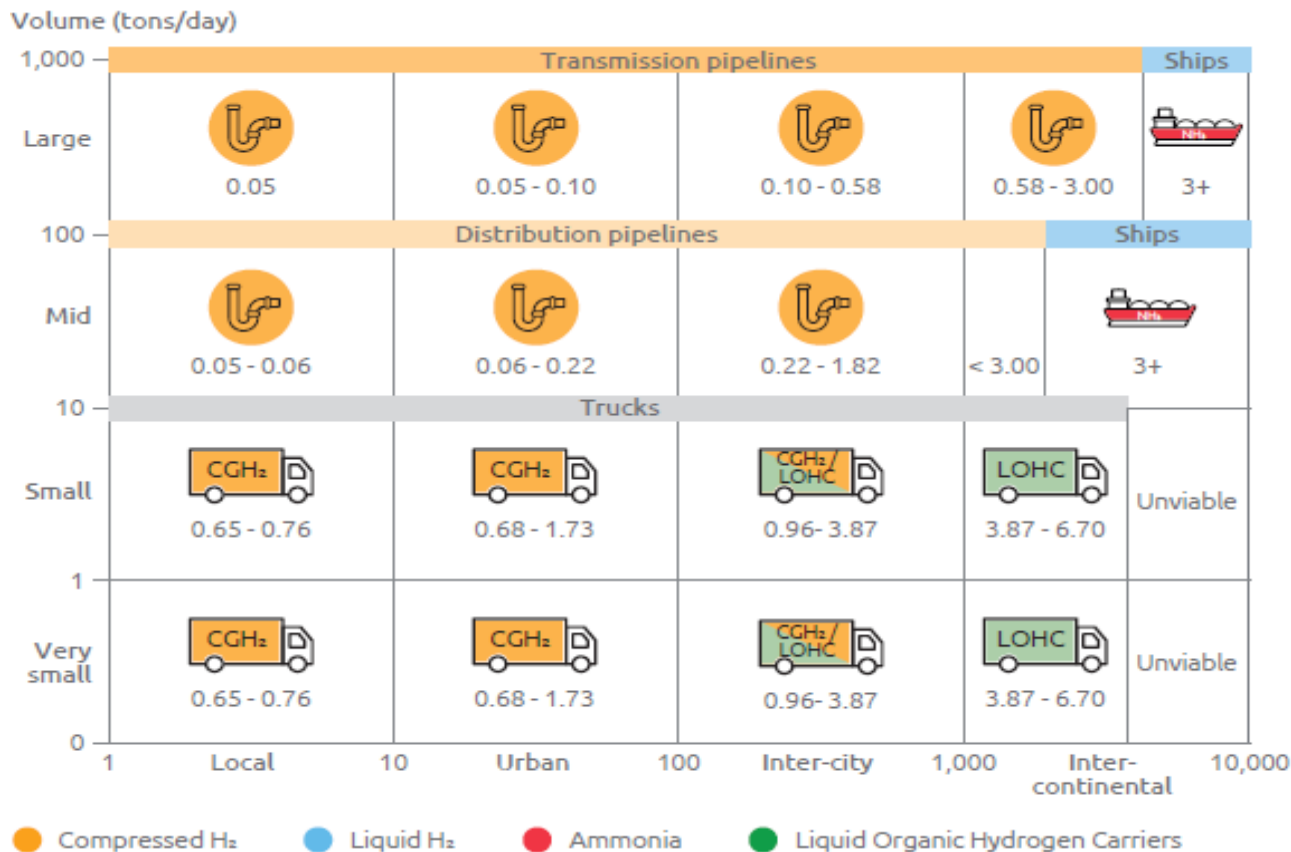
Lähtöarvot:

- Putken mitat: 100 km, DN600
- Syöttö: 70 barg / 20°C
- Loppupaine: 47.5 barg
- Maakaasu laskettu metaanina

Kaasu	Virtaus (1000 x Nm ³ /h)	Massavirtaus (1000 x kg/h)	Tiheys sisään/ulos (kg/m ³)	Nopeus sisään/ulos (m/s)	Energiavirta (MW)	Energia (% NG)
Maakaasu (NG)	418	299	54/38	5.9/8.5	4157	100
Puhdas vety	1068	96	5.7/3.9	18/26	3198	77
25 vol-% vetyä maakaasussa	453	253	39/27	6.9/10	3721	89

Putkilinja on halvin siirtotapa

KULJETUSKUSTANNUKSET ETÄISYYDEN JA MÄÄRÄN MUKAAN (USD/KG)



- **Putkisiirron** kustannukset on matalimmat, koska siirrettävät määrät on suuria ja teknologia yksinkertaista
- **Laivaaminen** on kallista, koska nesteyttäminen vaatii paljon energiaa ja kiehuva vety täytyy uudelleen nesteyttää
 - Vedyn siirtäminen esim. ammoniakkinä on parempi menetelmä
- **Rekkakuljetukset** mahdollistaa joustavan ja kustannustehokkaan jakelun lyhyillä matkoilla ja pienissä määrissä