



þekkingaröflun á dreifingu vetrnir í pípulögnum



Reykjavík 13. September 2007
Íslensk NýOrka ehf



1 Efnisyfirlit

1	Efnisyfirlit	- 3 -
2	Inngangur.....	- 4 -
3	Heimildir.....	- 4 -
4	Eiginleikar vetrnís	- 4 -
5	Vetrni sem eldsneyti.....	- 7 -
6	Flutningur vetrnís í pípum	- 8 -
6.1	Næstu skref:	- 9 -
7	Vetrnispípur á Íslandi - ályktun	- 9 -

2 Inngangur

Markmið þessarar skýrslu er að stuðla að aukinni tæknipekkingu innan Íslenskrar NÝOrku á vetrnispíulögnum og mynda tengsl við framleiðendur og eða notendur þeirra. Skýrslan bætir einnig við þekkingu eigenda og samstarfyrirtækja NÝOrku á sviði vetrnisdreifingar og vetrnisinnviða.

Forsaga verkefnisins er sú að á árunum 2001-2003 stýrði Íslensk NÝOrka Evrópuverkefninu EURO-HYPORT sem gekk aðalega út á það að gera könnun á heildarkostnaði þess skipta út innviðum olíudreifingar með vetrnisframleiðslu- og dreifieiningum sem gætu þjónað landsmönnum í þess stað

EURO HYPORT sýndi hve mikla orku og hvar henni væri hægt að afla til vinnsu á miklu magni af vetrni til útflutnings. Hins vegar var ósvarað hvaða aðferðum væri hægt að beita til að dreifa vetrni í nærumhverfi. Ein þeirra mikilvægustu var hverjir væru kostir þess og gallar að dreifa vetrni í pípum um afmarkað svæði. Í skýrslu þessari verður leitast við að svara þeirri spurningu.

3 Heimildir

Heimildirnar sem notaðar voru komu úr alþjóðlegum skýrslum og greinum auk viðtala við aðila sem komið hafa að rekstri vetrnispíudreifikerfi. Grananrnar lýsa athugunum, áætlunum og reynslu af notkun pípukerfa í þessum tilgangi, gerð þeirra og framtíðarsýn í tengslum við aukna notkun vetrnis sem eldnseyti til samgangna. Í gegnum heimildavinnuna voru mynduð tengsl við ýmsa aðilla sem höfðu nýtt sér pípukerfi, þannig tókst að afla þekkingar sem ekki er auðvelt að nálgast á prenti.

4 Eiginleikar vetrnis

Vetrni er minnsta frumefnið í lotukerfinu. Vetrni er því léttasta og algengasta frumefnið í alheiminum, það er eldfimt efni og bæði litar- og lyktarlaust. Vetrni er hvarfgjarnit efni og finnst ekki í hreinu formi í náttúrunni. Vetrni þarf því alltaf að framleiða eða kljúfa frá öðrum efnasamböndum áður en hægt er að nota það sem eldsneyti. Það er því oftast flokkað sem orkuberi fremur en orkugjafi og velja þarf efni sem komast í tæri við vetrni ef ætlunin er að halda því í hreinu formi.

Vetrni inniheldur nokkuð meiri orku per massaeiningu en jarðefnaeldsneyti (sjá töflu 1). Aftur á móti er vetrni mjög rúmfrekt og inniheldur litla orku í hverri rúmmálseiningu (sjá töflu 2).

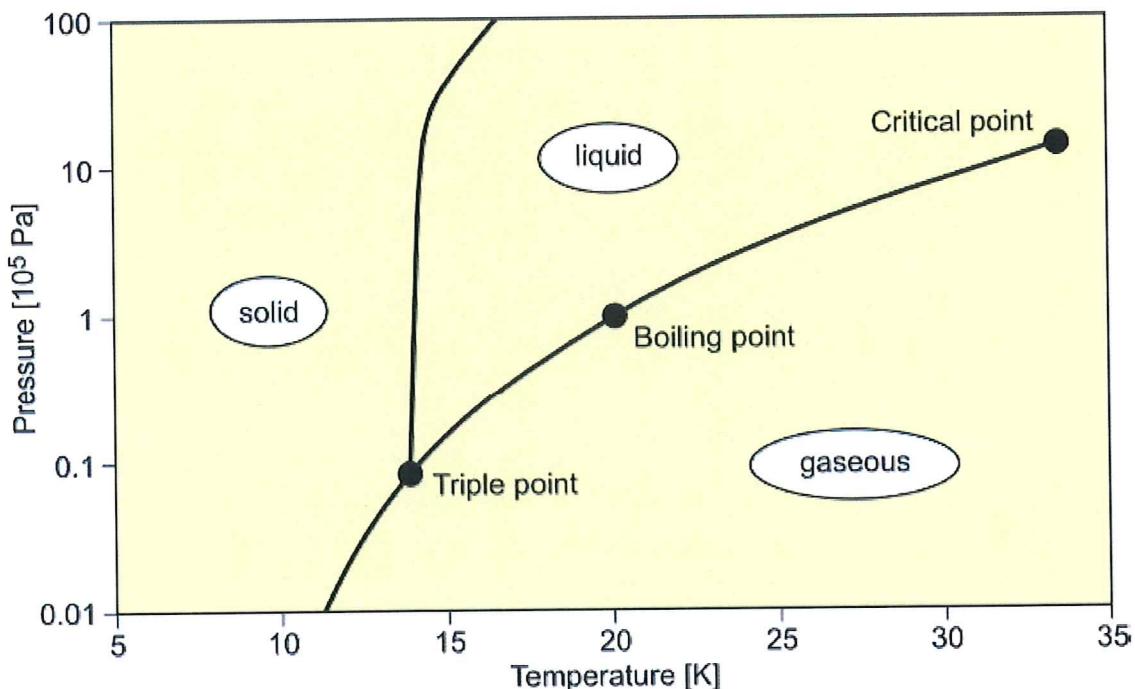
Tafla 1: Orkuinnihald nokkurra orkubera, miðað við massaeiningu.

Eldsneyti	Hærra hitagildi (HHV) (við 25°C og 1 atm)	Lægra hitagildi (LHV) (við 25°C og 1 atm)
Vetrni	141,86 MJ/kg	119,93 MJ/kg
Metan	55,53 MJ/kg	50,02 MJ/kg
Bensín	47,5 MJ/kg	44,5 MJ/kg

Tafla 2: Orkuinnihald nokkurra orkubera, per rúmmálseiningu.

Eldsneyti	Lægra hitagildi (LHV)
Vetni	10,05 MJ/m ³ gas við 1atm og 15°C
	1.825 MJ/m ³ gas við 200bar og 15°C
	4.500 MJ/m ³ gas við 690bar og 15°C
	8.491 MJ/m ³ sem vökvi
Metan	32,56 MJ/m ³ gas við 1atm og 15°C
	6.860 MJ/m ³ gas við 200bar og 15°C
	20.920 MJ/m ³ sem vökvi
Bensín	31.150 MJ/m ³ sem vökvi

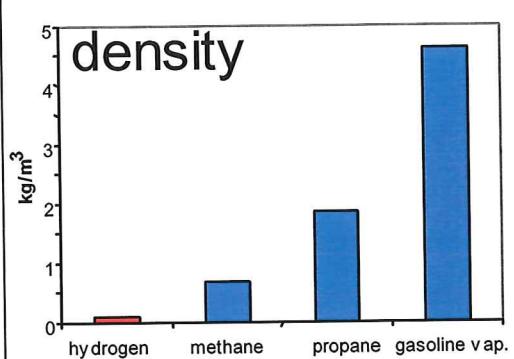
Vetni hefur lágt suðumark eða -252,82°C sem gerir það að verkum að ef geyma á vetni á fljótandi formi þarf að geyma það í svokölluðum freratönkum (cryogenic tanks) sem eru hannaðir til að halda hitastiginu nálægt alkuli eða um -253°C¹. Mynd 1 sýnir fasalínurit fyrir vetni.



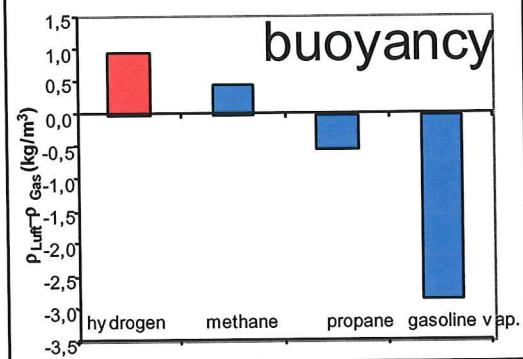
Mynd 1: Fasalínurit vetnis.

Vetni hefur í flestum tilfellum mjög "ýkta" eiginleika, annað hvort mjög há eða lág gildi miðað við annað eldsneyti. Myndirnar hér á eftir sýna nokkur af þessum gildum í samanburði við annað eldsneyti.

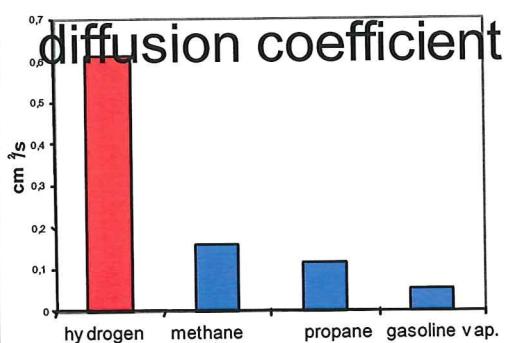
¹ http://www.bellona.no/en/energy/hydrogen/report_6-2002/22852.html



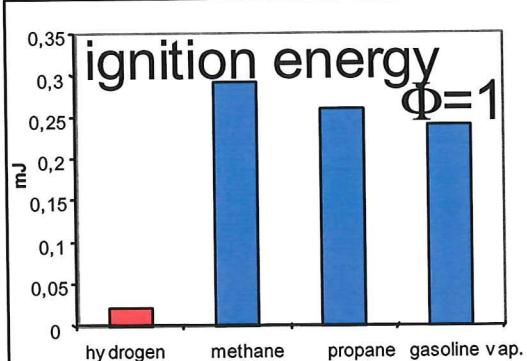
Mynd 2: Samanburður á eðlismassa



Mynd 3: Samanburður á flotkrafti

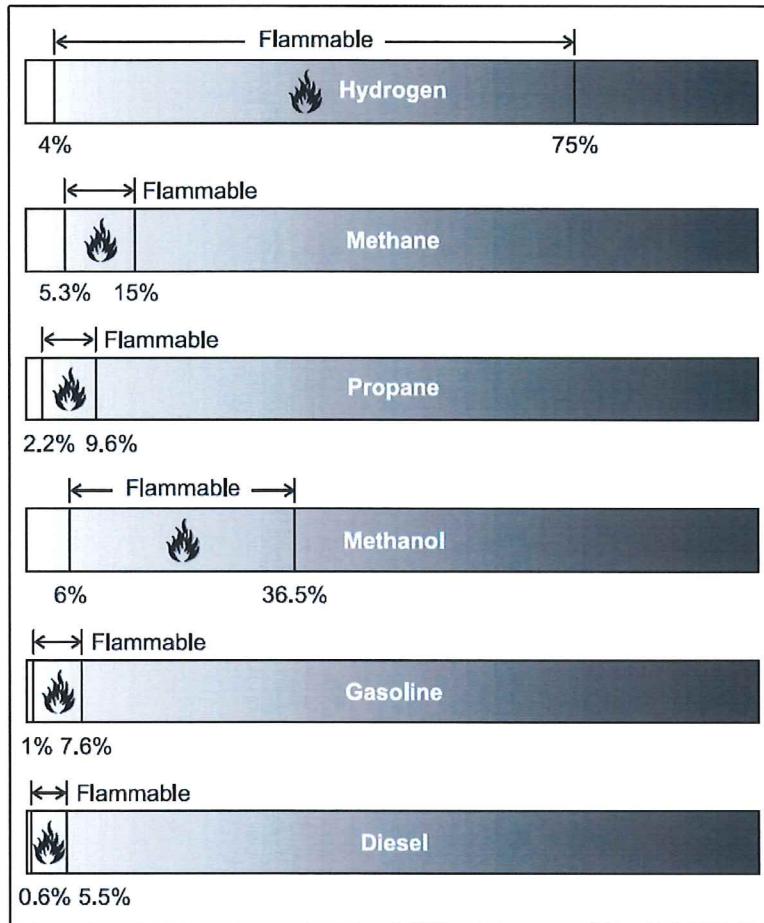


Mynd 4: Samanburður á flæðistuðli



Mynd 5: Samanburður á tendrunarorku

Þessar öfgar í eiginleikum eru í mörgum tilfellum afleiðing þess að vetrnissameindin er smæst allra og jafnframt sú léttasta sem þekkt er. Þessir þættir vinna því oft hver á móti öðrum þegar meta skal áhættuna af því að nota vetrni sem eldsneyti. Til dæmis gerir smæð vetrnissameindarinnar það að verkum að vetrni er hættara til að leka út úr kerfum en til dæmis vökvakenndu eldsneyti, en um leið dreifist það mjög hratt og þynnist út í andrúmslofti. Líkur á leka eru því töluverðar en ef leki á sér stað er vetrnið fljótt að dreyfa sér sem aftur minnkar mjög líkurnar á að eldfim blanda myndist. Þannig er ólíklegt að leki geti myndað eldfima blöndu á opnu svæði. Vetrni hefur hins vegar mjög breytt bil eldfimrar blöndu við loft eða frá 4% - 75% (sjá mynd 6) og við 20-30% blöndu þarf mjög litla orku til að valda íkveikju eins og sjá má á mynd 5. Af þessum sökum verður að tryggja fullnægjandi loftræstingu þar sem vetrnissbúnaði er komið fyrir í lokuðu rými.



Mynd 6: Samanburður eldfimrar blöndu nokkurra eldsneytistegunda.

5 Vetni sem eldsneyti

Vetni telst að mörgu leyti ákjósanlegt sem eldsneyti fyrir farartæki. Nú á dögum er það þá haft á gasformi og geymt undir 350-700 bara hámarksþrýstingi. Vetni er hægt að vinna með ýmsum aðferðum, til dæmis úr jarðgasi og kolum, en einnig er rafgreining vatns mikið notuð til að framleiða vetni og er það sú aðferð sem best á við á Íslandi. Ýmsar leiðir hafa verið skoðaðar til að finna út hvaða tækni megi nota til að fá sem besta nýtni úr eldsneyti og orku við þessa vinnslu og skapa sem minnsta mengun. Sú leið sem talin er vera ákjósanlegust er að nota efnarafala (fuel cell) til að knýja farartæki fremur en að brenna vetni í brunahólfsvélum. Þegar vetnið er síðan notað á t.d. bíla þá verður útblásturinn einungis vatnsgufa nema þegar því er brennt því að þá myndast jafnframt nitursambönd vegna þess hve vetnið brennur við hátt hitastig. En það skal áréttuð að notkun vetnis í efnaraföldum fylgir enginn útblástur koltvísýrings eða gróðurhúsalofttegunda².

² Research reports International, *Towards A Hydrogen Economy*, 3rd Edition – July 2006

6 Flutningur vetrnis í pípum

Við flutning á vetrni eru aðallega notaðar fjórar aðferðir : Með flutningabílum, skipum (fljótandi) eða eftir pípum (gasformi)³. Einng getur vetrni verið bundið í efnasamböndum til dæmis ammoníaki eða vetrnísíkum söltum eins og natriumborohydriði.

Pípukerfi til flutnings á vetrni hafa starfrækt í a.m.k. 50 ár og er talið að heildarlengd allra vetrnispípa í heiminum sé allt að 2200 km¹. Til dæmis er fyrirtækið Air Liquide með um 880 km pípukerfi í Belgíu, Frakklandi og Hollandi. Pípurnar sem eru notaðar í dag eru um 25-30 cm í þvermál og venjulega með þrýsting upp á 10-20 bör, þessi rör eru þó gerð fyrir að þola allt að 100 bara þrýsting⁴. Megnið af dreifikerfinu nýtist efnaiðnaði⁴.

Í verkefni NaturalHy var kannaður sá möguleiki að flytja blöndu af vetrni og metani (kallað hythane eða city gas) eftir þeim leiðslum sem voru þegar til fyrir metandreifingu. Kosturinn við að flytja þessar tvær loftegundir saman er að blandan inniheldur mun meiri orku en hreint metan, vegna orkuinnihalds vetrnisins, og er þ.a.l. mun eldfimara kolefnisríkt gas. Niðurstöður NaturalHy var að hægt væri að flytja blöndu sem vinniheldur 50% af hvoru efni eftir þeim metanpípum sem fyrir voru⁵.

Helstu kostir við flutning vetrnis um pípur eru :

1. Öruggara, það er í raun öruggara að flytja vetrnið með pípum en flutningabílum. Ef til árekstrar kemur getur myndast mikil sprengingahætta.
2. Mikið magn, hægt er að flytja mikið magn af vetrni í einu eftir leiðslunum undir þrýstingi og þar með sparast mikill tími.
3. Lítill viðhaldskostnaður, þó að upphafskostnaður pípanna sé mikill þá er viðhaldskostnaðurinn ekki mikill².

Helstu vandamál við flutning vetrnis um pípur eru :

1. Hár fjárfestingakostnaður. Kostnaðurinn við að leggja pípurnar er gífurlegur. Vanda verður efniviðinn í pípurnar sökum þess hve tærandi eiginleikar fylgja vetrni. Nauðsynlegt er að nota sérvalið ryðfrítt stál allt miðað við þann þrýsting og hitastig sem stefnt er að að nota í dreifikerfinu. Einnig kemur til greina að nota önnur efni sem standast tæringuna og er postulín, fjölliður og teflon nefnd í því sambandi. Kostnaðurinn fyrir vetrnispípur er því mun meiri en fyrir metanpípur, því hægt er að nota plastpípur (polyethylene) til að flytja metan⁵.
2. Orkufrek dæling, ekki er nóg með að vetrnispípur séu dýrari en pípur fyrir metangas heldur er einnig orkufrekara að dæla vetrninu eftir þeim, ca. 4,6 sinnum meiri orka fer í að dæla vetrni en metani⁴ og kemur þetta til af lágum eðlismassa vetrnis.
3. Tæring, járnblandan sem notuð er í pípurnar inniheldur alltaf einhver snefilefni eins og kolefni. Vetrni í lögninni á auðvelt með að bindast kolefninu í málmlöndunni, rífa úr veggjum pípanna og valda þar með sprungumyndun og því að málmurinn verður stökkur og brothættur. Pípurnar geta sprungið og

³ Christopher Yang and Joan Ogden, *Determining the lowest-cost H2 delivery mode*,

⁴ Landesinitiative Zukunftsgesnergien, NRW, *Hydrogen – Sustainable Energy fro Transport and Energy Utility Markets*

⁵ Health and Safety laboratory, *The Hydrogen Economy- Evaluation of the materials science and engineering issues*, HSL/2006/59

orðið ónothæfar. Rannsóknir hafa sýnt að málmlöndur sem innihalda Ti og Al séu sérstaklega viðkvæmar fyrir tæringu⁶. Þrátt fyrir að mikil framför hafi orðið í styrkleika pípanna þá virðist ekki vera hægt að koma í veg fyrir þessa tæringu. Oftast eru nefndar tvær tegundir af tæringu, annarsvegar þegar vetrnisatómin smjúga á milli sameindanna í pípum og valda sprungum (gerist oftast við lágan hita) og hinsvegar þegar vetrnisatómin bindast við kolefnin í pípum og valda tæringu (gerist oftast við hátt hitastig). Tæringerin eykst eftir því sem vetnið er hreinna og þrýstingur hár⁶.

4. Örtækni hefur skilað nokkrum árangri í að mynda þekjuefni sem standast vetni en slíkar hlífar eru dýrar og ekki komnar á almennan markað.

6.1 Næstu skref:

Hugmyndir hafa verið um að þróa áfram plastpípur, eða koltrefjapípur sem eru klæddar að innan með áli, en það á að minnka líkurnar á því að vetnið geti smogið út. Einnig eru framleiðendur að skoða hvort hægt sé að flytja vetnið fljótandi eftir frera pípum (cryogenic pipes). Það segir sig sjálf að slík tækni myndi kosta mun meira en hefðbundnar vetrnispípur og kosta jafnframt meiri orku við vökvæþéttunga, en flutningurinn sjálfur yrði jafnframt skilvirkari.

Með slíkri framtíðartækni væri jafnvel hægt að leggja ofur-rafleiðara vír með pípum, en vetnið myndi þá kæla vírinn og jafnframt drífa rafmagn eftir honum langar vegalengdir án þess að mikið af rafmagninu myndi tapast vegna viðnámsk eins og gerist þegar það er flutt eftir venjulegum háspennulínum⁶. Einnig hefur sú hugmynd komið upp að nota vetrnispípukerfin sem geymslu fyrir vetni þegar notkun þess er í lágmarki, t.d. á næturnar¹.

Til að pípukerfin séu hagkvæm þarf að huga að ýmsu. Ef flytja skal mikið magn af vetni kosta pípuflutningar minna en allar aðrar aðferðir (að undanskildum flutningi fljótandi vetrnis yfir sjó) einnig er viðhalds- og rekstrarkostnaður ekki mikill. Í rauninni er pípuflutningur aðeins hagkvæmur ef flytja á mikið magn af vetni yfir stutta vegalengd, því þá helst upphafskostnaðurinn niðri, en þegar um langar vegalengdir er að ræða gæti verið hagkvæmara að flytja vetnið með flutningabílum eða stærri farartækjum. En sé vetnið upprunið úr vatni og rafmagni er augljóslega hagkvæmast að framleiða vetnið við notkunarstað og færi þá flutningurinn fram á rafdreifikerfinu,

Ef pípur yrðu lagðar þar sem net framleiðenda og notenda er þétt, og margir birgjar og kaupendur um hituna myndi kostnaðurinn að sjálfsögðu dreifast á fleiri. Þá væri hægt að leggja stærra flutningskerfi og upphafs-, viðhalds- og rekstrarkostnaðurinn myndi dreifast á lengri tíma og þá aðila sem í hlut eiga².

7 Vetrnispípur á Íslandi - ályktun

Vetrnisdreifing með pípum virðist, þegar allir þættir eru skoðaðir, ekki vera fýsilegur kostur hér á landi. Það þyrfti langar leiðslur til að dreifa vetrninu út um land sem yrði allt of dýrt til að það borgaði sig. Líklega yrði sniðugra að hafa vinnslu vetrnisins (með rafgreiningu) á hverri vetrniss töð þar sem að vatn og rafmagn eru til staðar.

Einn möguleiki sem gæti komið upp í framtíðinni, ef við gefum okkur það að vetrnisnotkun aukist, er að hafa vetrnisvinnslu fyrir utan stórar borgir og nota pípur til að flytja vetrnið („one way“) stutta vegalengd inn í borgina til eldsneytisstöðvar.

⁶ Richard P. Gangloff, *Critical Issues in Hydrogen Assisted Cracking of Structural Alloys*,

Ef sá möguleiki kemur upp að framleiða vetni með orku frá jarðvarma, þyrfti að athuga hvort væri betri kostur, annarsvegar að vinna vetnið á staðnum og flytja það með pípukerfum á dælingarstöðvarnar eða hinsvegar að flytja vatnið og rafmagnið í sitthvoru lagi og vinna vetnið á dælingarstöðvunum.