

# HyProvide-HRS

»Brint optankning for biler«

PROJEKT SLUTRAPPORT  
OKTOBER 2014

Projekt Nr.: 64011-0106



PROJEKTLEDELSE:



STØTTET AF:



## Projektinformation

**Projekt periode:** 01.09.2011 – 31.07.2014

**Bevillingsår:** 2011

**Projektbudget:** 15 mio. Kr.

**Støtte program:** EUDP

**Støttebeløb:** 8,2 mio. kr.

**Projekt titel:** HyProvide-HRS  
»Brint optankning for biler«

**Projekt baggrund:** HyProvide-HRS projektet har haft til formål at videreudvikle 700bar brint tankstationsteknologi og bringe denne tættere på kommercielle målsætninger og dermed muliggøre salg af brint som brændstof til brændselscelle elektriske køretøjer. I projektet har H2 Logic udført dedikeret R&D af et brint optankningssystem som kan konfigureres til en samlet tankstation. Det muliggør signifikante forbedringer af den daglige og øjeblikkelig optankningskapacitet og generel forbedring af energieffektiviteten. Ligeledes er omkostninger reduceret gennem den øgede kapacitet. Laboratorium test af udvalgte komponenter er blevet gennemført med henblik på at verificere opnåelsen af de opstillede målsætninger. Projektet har også indeholdt aktiviteter indenfor brint produktion, varetaget af GreenHydrogen.dk ApS. Anvendelse af brintproduktion i sammenhæng med en brint tankstation er blevet specificeret og et elektrolyse anlæg testet i en kortere periode ved en dansk brint tankstation. HyProvide-HRS har også sikret igangsættelsen af en række nye udviklingsprojekter som sikrer at kommercialiseringsbestræbelserne fortsætter.

**Projektdeeltagere:** H2 Logic A/S – projektleder  
GreenHydrogen.dk ApS

## Sammenfatning

HyProvide-HRS projektet har involveret udvikling af nye og bedre komponenter til brint tankstationer, med henblik på at øge kapacitet og reducere omkostninger. Projektet er succesfuldt blevet gennemført i henhold til tidsplanen og budgettet, og med væsentlige og positive resultater indenfor projektets indsatsområder.

### Udvikling & test af nye brint påfyldningskomponenter

Projektet har udviklet og testet en række komponenter og delsystemer som indgår i en brinttankstation, med det sigte at reducere omkostninger og øge kapaciteten.

Nedenfor er kort opsummeret de væsentlige udviklings- og testresultater for en række brint påfyldningskomponenter som der er blevet arbejdet med i projektet.

- Simuleringsmodel for brintpåfyldning er blevet udviklet, som kan modellere forskellige optankningssituationer og tankstationskonfigurationer. Modellen er blevet anvendt til at finde den teknisk og økonomiske mest optimale kompressor og lager konfiguration for tankstationer.
- Påfyldningssystem og software som overholder den nye reviderede SAE J2601 er blevet udviklet. Ligeledes er verdens første field-test af standarden og den nye software blevet foretaget ved en brint tankstation i Danmark, i samarbejde med bl.a. Daimler og Hyundai.
- Kølingssystem og varmeveksler er blevet udviklet og optimeret til at have øget kapacitet under optankning. Ligeledes er levetid blevet forbedret ved at optimere en række komponenter. Systemet er blevet testet i både laboratorium og i sammenhæng med påfyldningssoftwaren ved en tankstation.
- Kompressor og lagringssystem er blevet dimensioneret, udviklet og testet med henblik på at opnå øget kapacitet og reducerede omkostninger.
- Brint tankstation systemplatform er blevet udviklet med henblik på at sikre en mere kompakt udførelse og integration af brint produktion. Platformen har integreret tankstander og produktion, hvilket reducerer arealet til omkring 100m<sup>2</sup>, en halvering i forhold til tidligere brint tankstationer.

### Integration & afprøvning af brint produktionsanlæg i brint tankstation

Et elektrolyseanlæg fra Greenhydrogen.dk er blevet optimeret og tilpasset i forhold til at muliggøre integration og afprøvning i en brint tankstation fra H2 Logic.

I projektet har Greenhydrogen.dk optimeret sit RME Elektrolyse produkt på adskillige punkter, bl.a. BoP, stak design, proces design samt køling og kontrolsystemet. Nye koncepter for cirkulering af elektrolytten er blevet udviklet samt software til mere præcis håndtering af tryk og vand balance.

Ligeledes er der blevet arbejdet målrettet med de tekniske aspekter omkring integration af elektrolyseanlægget i en tankstation fra H2 Logic, herunder sikring af den nødvendige sikkerhed og godkendelser.

Et elektrolyseanlæg med en kapacitet på 6 Nm<sup>3</sup>/timen er blevet installeret og afprøvet i en tankstation fra H2 Logic. Den oprindelige målsætning var et anlæg på først 8 Nm<sup>3</sup>/timen og med sigte på opgradering til 16 Nm<sup>3</sup>/timen. Det blev dog valgt at fastholde kapaciteten på 6 Nm<sup>3</sup>/timen. Det skyldes tekniske udfordringer i den parallelle udvikling af teknologien, samt et ekstraordinært fokus på certificeringer, sikkerhed og godkendelse som var nødvendigt for at installation i tankstation.

### **Planlægning & sikring af F&U og kommercialisering**

I projektet er der løbende blevet arbejdet med planlægning og sikring af fortsatte F&U aktiviteter og kommercialisering af udviklingsresultaterne.

Samlet er 5 nye F&U projekter med et total budget på 100 millioner kroner blevet iværksat i løbet af projektperioden, med støtte fra EUDP, DSF og FCH-JU.

Der er ligeledes blevet identificeret adskillige patent muligheder på de udviklede teknologier og komponenter og en detaljeret er udarbejdet plan for gennemførelse af først nyhedsundersøgelse og efterfølgende patentansøgning for ideerne. Der forventes efter projektets afslutning således at der er sikret adskillige patenter.

Udviklingsresultater fra projektet er også løbende blevet videreudviklet og implementeret i det eksisterende brinttankstations produkt fra H2 Logic H2Station® CAR-100. Det er sket som løbende produktopdateringer og forbedringer.

## Indholdsfortegnelse

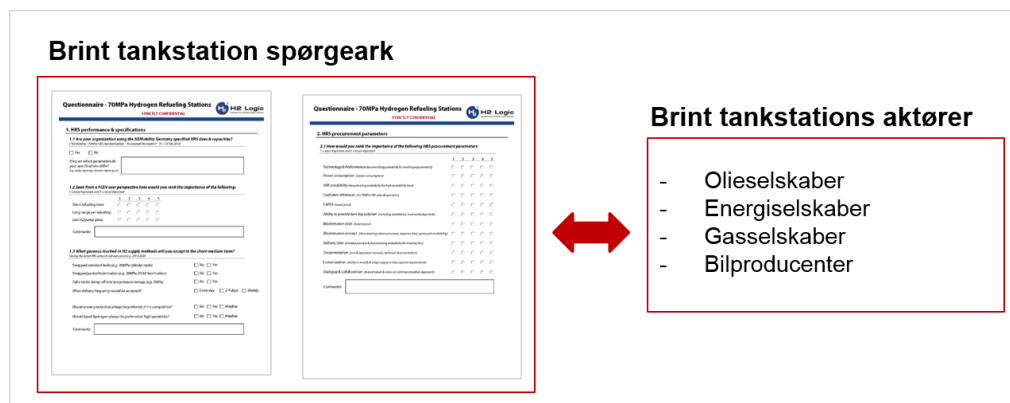
<b>Projektinformation .....</b>	<b>1</b>
<b>Sammenfatning .....</b>	<b>3</b>
Udvikling & test af nye brint påfyldningskomponenter .....	3
Integration & afprøvning af brint produktionsanlæg i brint tankstation .....	3
Planlægning & sikring af F&U og kommercialisering .....	4
<b>1. Specifikation af brint optankning &amp; produktion .....</b>	<b>6</b>
1.1 Specifikation af brint optankning .....	6
1.2 Specifikation af brint produktion .....	9
<b>2. Udvikling af brint optankning .....</b>	<b>11</b>
2.1 Påfyldningssystem.....	11
2.1.1 Brintpåfyldning simuleringsmodel .....	11
2.1.2 Brint påfyldningssystem & software (SAE J2601).....	12
2.1.3 Brint kølesystem .....	14
2.2 Kompressor og lagringssystem .....	15
2.3 Brint tankstation systemplatform.....	18
2.4 Evaluering af prismålsætninger .....	20
<b>3. Test af brint optankning og produktion.....</b>	<b>22</b>
3.1 Test af brint optankning .....	22
3.2 Test af brint produktionsanlæg i tankstation .....	24
3.2.1 Baggrund.....	24
3.2.2 Udførte projekt- og testaktiviteter .....	25
3.2.3 Konklusion og anbefalinger .....	28
<b>4. Planlægning af F&amp;U og kommercialisering .....</b>	<b>30</b>
4.1 Planlægning og sikring af fortsat F&U.....	30
4.2 Sikring af produkter & patenter.....	31
4.3 Teknisk bidrag til analyser for brint til transport.....	32

# 1. Specifikation af brint optankning & produktion

## 1.1 Specifikation af brint optankning

En detaljeret teknisk specifikation og prismålsætning for brint tankstationer med forskellige kapacitetsstørrelser er blevet udarbejdet.

Udarbejdelsen er sket gennem en international dialog med forskellige aktører indenfor området, herunder særligt olie, energi og gasselskaber samt bilproducenter. En detaljeret spørgegærk for brint tankstationer blev først udarbejdet, som herefter blev gennemgået med de forskellige aktører ved møder rundt om i verden.



Sigtet har været at opstille en teknisk specifikation som i videst muligt omfang er generisk på tværs af Europa og USA og forskellige kapacitetsstørrelser.

Tabellen nedenfor viser de væsentligste specifikationer som blev identificeret.

Teknisk specifikation for brint tankstationer				
Forventet markedstidshorisont	2015-2025	2018+		
Dagskapacitet – 24 timer	200kg	400kg	800kg	1.000kg
Timekapacitet – spidsbelastning	24-34kg	67kg	134kg	280kg
Antal timer med spidsbelastning	3	3	3	Ingen begrænsning
Total spidsbelastningskapacitet	75-100kg	200kg	400	Ingen begrænsning
Maksimal tanks størrelse	7kg	10kg	10kg	10kg
Antal påfyldningspunkter (slanger)	1	2	4	5
Påfyldningstryk	700bar			
Køletemperatur brint	-40°C			
Påfyldningsprotokol	SAE J2601			
Påfyldnings kommunikation	SAE J2799			
Påfyldningsstuds	SAE J2600			
Anlægspris - målsætning	2017	€1 million	-	€2,5 million
	2020	€0,8 million	-	€2,1 million
	2023	€0,6 million	-	€1,6 million

Specifikationer er opstillet for 4 forskellige kapacitetsstørrelser som primært varierer efter antallet af optankningspunkter (slanger).

Detaljerede kapacitetsanalyser på eksisterende benzin tankstationer er blevet udført med henblik på at fastlægge et realistisk maksimal belastning som der kan forventes på en brint tankstation, pr. påfyldningsslange. Beregningerne vidste at en tilsvarende belastning som på benzin tankstationer for brint vil svare til 200kg om dagen pr. slange.

Brint tankstationer med 1-5 slanger vil således variere fra 200kg til 1.000kg kapacitet, hvor sidstnævnte svarer til gennemsnitsstørrelsen for en benzin tankstation i Danmark.

Foruden dagskapaciteten er defineret af spidsbelastningen i løbet af 1-3 timer afgørende, da denne skal kunne dække myldretiden om morgen og eftermiddagen. Igen med udgangspunkt i belastningen på benzin tankstationer er den nødvendige kapacitet pr. påfyldningsslange beregnet til 24-34kg pr. time. Da det er en udfordring p.t. at kunne gentage denne timeprofil uendeligt (24 timer i døgnet) er målsætningen for de mindre tankstationer (op til 800kg) kun at gøre dette 3 timer i træk, svarende til en myldretidsperiode.

På sigt når brinttankstationerne bliver større end 1.000kg er det forventeligt at gentagelsen af time kapaciteten i princippet skal være ubegrænset som det er tilfældet for benzin i dag.

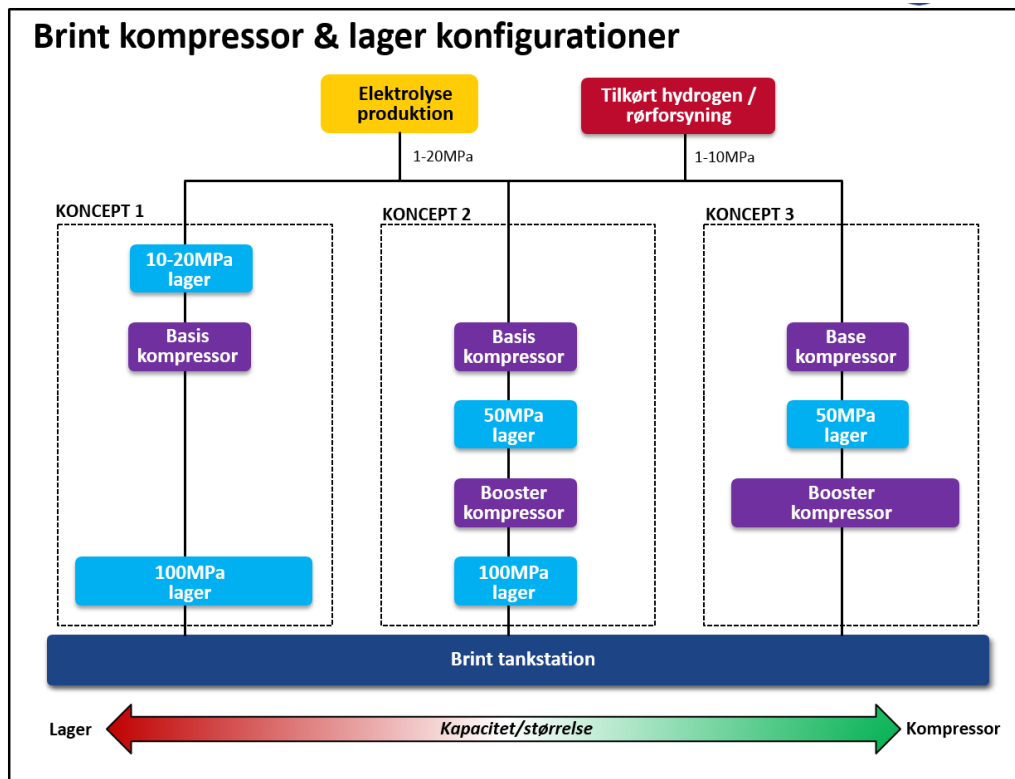
I løbet af projektperioden er der også kommet øget international klarhed omkring påfyldningstryk, og særligt standarderne for påfyldning. Som beskrevet senere er der som en del af projektet sket et betydeligt dansk bidrag til udvikling af de internationale optankningsstandarder for brint. Derfor er der således etablerede industrielle standarder både for påfyldningsstud, protokol og kommunikation.

Påfyldningstrykket er 700bar, da dette sikrer en rækkevidde på én optankning som er sammenlignelig med benzin. Under selve påfyldningen skal brint forkøles til -40 grader Celsius med henblik på at sikre en fuld optankning i løbet af 3-4 minutter tilsvarende som for benzin.

En opdateret målsætning for anlægspris for brint tankstationerne er blevet opstillet og synkroniseret med den Europæiske målsætning under FCH-JU brint programmet. Anlægsprisen er opstillet for tankstationer med henholdsvis 200kg og 1.000kg kapacitet for at vise prisspændet og effekten af øget anlægsstørrelse.

EU FCH-JU brintprogrammets udviklingsstrategi og målsætninger kan findes her: [http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/legal/jtis/fch-multi-workplan\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/legal/jtis/fch-multi-workplan_en.pdf)

Til brug for udvikling og dimensionering af kompressor og lager er en overordnet skitse for forskellige koncepter blevet udarbejdet, jf. nedenfor.



Brint tankstationen skal kunne tilkobles enten brintproduktion på stedet eller tilkørt hydrogen. P.t. er indgangstrykket fra brintproduktion typisk lavere end tilkørt, men dette forventes udlignet i takt med at trykket fra bl.a. elektrolyseanlæg øges.

Opsætningen af tankstationen kan variere mellem to ekstremer:

- Brint lagres ved lavt tryk mens kompressoren anvendes til direkte påfyldning
- Brint lagres ved højt tryk og anvendes til påfyldning, mens kompressoren anvendes til at fylde lageret efter hver tankning

Den primære forskel er størrelsen af henholdsvis lageret og kompressoren. Detaljerede påfyldningsanalyser og simuleringer (jf. senere) skal anvendes til påvise hvilken af opsætningerne som er mest økonomisk samtidig med at kapacitetskravene bliver mødt.



## 1.2 Specifikation af brint produktion

Som en del af projektet er den første detaljerede specifikation blevet udarbejdet for anvendelse af elektrolyse i sammenhæng med brint tankstation. Dette er sket i tæt sammenhæng med HyProvide-Coordination projektet.

Elektrolyseanlæg har historisk primært været anvendt til produktion af industrigas, mens brint tankstation har været begrænset til demonstrationsprojekter. Før projektet var elektrolysespecifikationer derfor som oftest udarbejdet med udgangspunkt i behovene og kravene for industrigas markedet.

Specifikt har projektet udviklet et specifikationsark bestående af 50 forskellige specifikation parametre som er relevant for anvendelse af elektrolyse ved brint tankstationer. Specifikationsarket sikrer en ensretning af data og særligt forudsætninger på tværs af forskellige elektrolyse typer, anlægstørrelser og producenter.

Foruden dialog mellem GreenHydrogen.dk og H2 Logic i projektet er specifikationsarket også afstemt med andre elektrolyseproducenter. Specifikationsarket opdateres løbende fremadrettet i nye projekter som indeholder både elektrolyse og brint tankstationsaktiviteter. Ligeledes anvender H2 Logic specifikationsarket løbende i sin dialog med forskellige elektrolyseproducenter.

Nedenfor er gengivet det komplette specifikationsark med alle tekniske parametre.

Elektrolysis performance specifications – for use with Hydrogen Refueling Stations	
Spec. no.	Specification parameter
1	Supplier specific product model/name
2	No. of years on market for product or expected product release date/year
3	Electrolyser technology [Alkaline, PEM, or other]
4	Maximum production capacity [Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /hour] @ 100% production rate
5	Minimum production capacity [Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /hour] @ lowest possible production rate
6	Production capacity @ optimal operation point [Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /hour]
7	Production capacity dynamic range [% range]
8	Ram-up time to maximum capacity from cold start [Sec. or Min.]
9	Ram-up time to maximum capacity from standby [Sec. or Min.]
10	Ram-up/down time between minimum to maximum capacity [Sec. or Min.]
11	Minimum nominal hydrogen outlet pressure [barg]:
12	Maximum nominal hydrogen outlet pressure [barg]:
13	Total system electricity consumption @ optimal operation point [kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> ): Including all peripheries (hydrogen purification/drying etc.)
14	Electricity consumption curve between min. & max. production provided [yes/no]:
15	Annual increase in electricity consumption due to cell degradation [% increase]: % increase of total system electricity consumption - one year @ 24 hours operation
16	Standby electricity consumption [kWh]:
17	Maximum electrical supply requirement [amp & voltage]:

18	<b>Water consumption</b> [ <i>liter/Nm3 H2</i> ]:
19	<b>Inlet water quality required</b> [ <i>e.g. tap water or specify purifity</i> ]:
20	<b>Maximum drain need at maximum production rate</b> [ <i>liter/minute or hour</i> ]:
21	<b>Hydrogen outlet quality in compliance with SAE J2719</b> [ <i>yes/no</i> ]:
22	<b>Total system footprint</b> [ <i>width x height x lenght in mm</i> ]:
23	<b>Total system weight</b> [ <i>kg</i> ]:
24	<b>System packaging</b> [ <i>e.g. rack, box or seperate out-door-module</i> ]:
25	<b>Product CE marked</b> [ <i>yes/no</i> ]:
26	<b>Requirement for ventilation</b> [ <i>non-ventilated EX component/ventilated</i> ]:
27	<b>Requirement for degree of ventilation</b> [ <i>m3/h</i> ]
28	<b>Guaranteed life time electrolyser cell stack</b> [ <i>no. of operation hours</i> ]:
29	<b>Proven/experienced life time electrolyser cell stack</b> [ <i>no. of operation hours</i> ]:
30	<b>Cell stack replacement/refurbishment cost</b> [€]:
31	<b>Guaranteed life time entire system</b> [ <i>no. of operation hours</i> ]:
32	<b>Proven/experienced life time entire system</b> [ <i>no. of operation hours</i> ]:
33	<b>State conditions for life time</b> [ <i>e.g. production cycle/rate &amp; no. of start/stops</i> ]:
34	<b>Operation environment</b> [ <i>min. – max. temperature degrees Celsius</i> ]:
35	<b>Total system price @ 1 unit in one delivery</b> [€]:
36	<b>Total system price @ 2 units in one delivery</b> [€]:
37	<b>Total system price @ 5 units accumulated through e.g. frame contract</b> [€]:
38	<b>Total system price @ 10 units accumulated through e.g. frame contract</b> [€]:
39	<b>Total system price @ 25 units accumulated through e.g. frame contract</b> [€]:
40	<b>Total system price @ 50 units accumulated through e.g. frame contract</b> [€]:
41	<b>Total system price @ 100 units accumulated through e.g. frame contract</b> [€]:
42	<b>Delivery time from time of contract</b> [ <i>weeks or months</i> ]:
43	<b>Additional equipment/service 1</b> [ <i>state what &amp; price in €</i> ]:
44	<b>Additional equipment/service 2</b> [ <i>state what &amp; price in €</i> ]:
45	<b>Additional equipment/service 3</b> [ <i>state what &amp; price in €</i> ]:
46	<b>Additional equipment/service 4</b> [ <i>state what &amp; price in €</i> ]:
47	<b>Annual expected/proven service cost</b> [ <i>% of total system price</i> ]:
48	<b>Annual cost of maintenance-agreement 1</b> [ <i>state what is included &amp; price in €</i> ]:
49	<b>Annual cost of maintenance-agreement 2</b> [ <i>state what is included &amp; price in €</i> ]:
50	<b>Annual cost of maintenance-agreement 3</b> [ <i>state what is included &amp; price in €</i> ]:

## 2. Udvikling af brint optankning

### 2.1 Påfyldningssystem

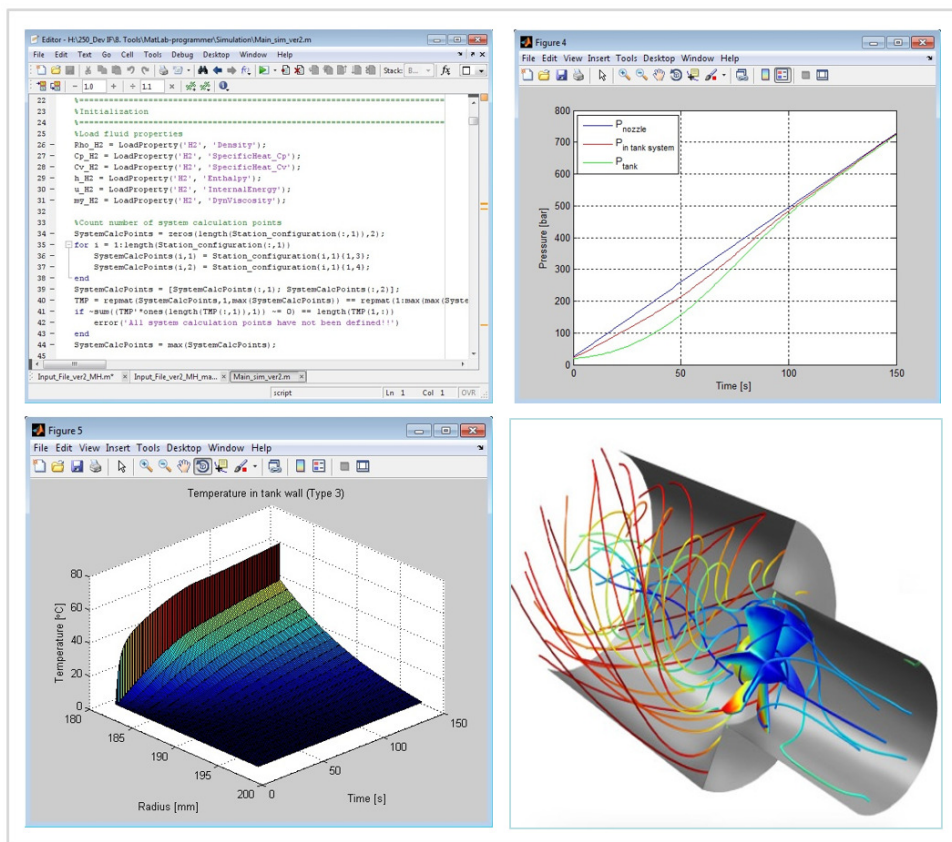
#### 2.1.1 Brintpåfyldning simuleringsmodel

En avanceret simuleringsmodel for 70MPa brintpåfyldning er blevet udviklet. Modellen kan simulere indvirkningen på køretøjets tank temperatur under optankning.

En række påfyldningsparameter kan varieres i modellen, eksempelvis brint tryk, flow og temperaturer, start tryk og temperature i køretøjets tank. Modellen kan derfor simulere alle tænkelige påfyldningssituationer.

Modellen kan ligeledes simulere forskellige tankstationskonfigurationer hvad angår lager, kompressor og kølingskapacitet og dermed anvendes som dimensioneringsværktøj af den mest optimale kapacitet for hver komponent.

Modellen kobler således forskellige tankstationskonfigurationer med alle tænkelige påfyldningssituationer. Dermed kan en bestemt konfiguration evalueres kapacitet og performancemæssigt inden at den konstrueres og testes i virkeligheden.



### 2.1.2 Brint påfyldningssystem & software (SAE J2601)

Et betydeligt indsatsområde i projektet har været videreudvikling af et eksisterende brint påfyldningssystem og software der overholder SAE J2601 standarden.

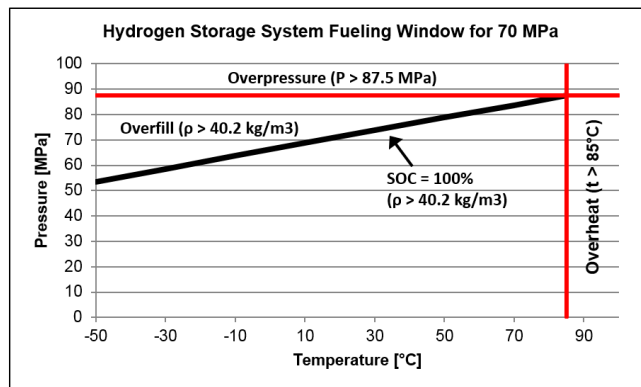
Parallelt med projektet pågik der en revision af den gamle SAE J2601 standard fra 2008. H2 Logic har deltaget aktivt i revisionsarbejdet ved deltagelse i SAE J2601 arbejdsgruppen sammen med de større bilproducenter og olieselskaber.

Dette gav mulighed for at påvirke processen og udformningen af den endelige standard. Samtidig kunne udviklingen af påfyldningssystem og software løbende tilpasses de ændringer som blev drøftet i standardiseringsgruppen.

SAE J2601 er en international industriel standard for hvorledes brintbiler kan fyldes sikkert, hurtigt og komplet med brint ved 700bar.

Det afgørende under 700bar brintpåfyldning er at sikre at gas temperaturen i køretøjets tank ikke overstiger 85°C efter endt tankning.

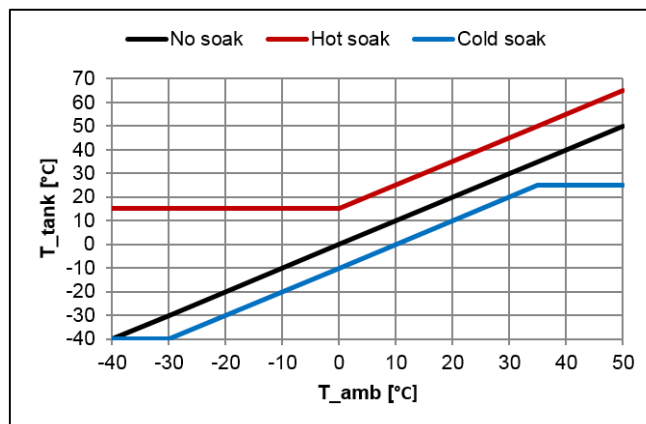
Temperaturen påvirkes især af påfyldningshastigheden samt hvor meget brint gasen køles under påfyldning.



Samtidig skal der tages højde for omgivelsestemperaturen, da den vil påvirke hvilken "hvile temperatur" tanken og dermed trykket opnår et stykke tid efter tankningen. Netop det faktiske realiserede tryk i beholderen afgør hvor fyldt tanken er, hvorfor det i nogle situationer kan være nødvendigt fylde mere eller mindre end 700bar.

Sikkerhedsmæssigt er de såkaldte "hot and cold soak" situationer de vigtigste som standarden adresserer.

De referer til situationer hvor temperaturen i tanken enten er koldere eller varmere end omgivelsestemperaturen.



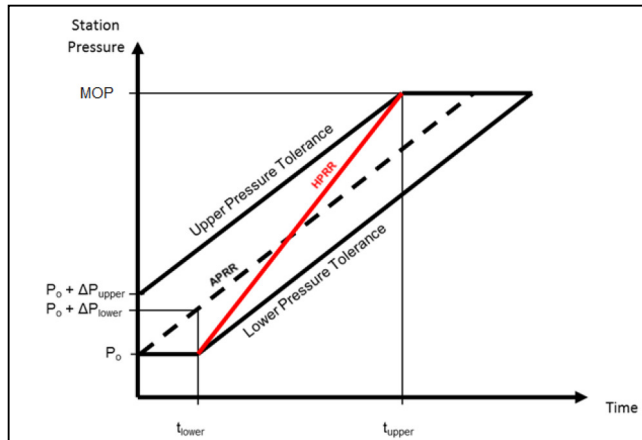
I forhold til den gamle SAE J2601 standard fra 2008, blev der arbejdet med en række justeringer i den nye (som blev besluttet i 2014).

Ændringerne var dog så omfattende at der skulle foretages nye laboratorie simuleringer og afprøvning på tankstationer for at verificere den nye standard.

For HyProvide-HRS projektet krævede dette udvikling af et helt nyt påfyldningssystem og software, dog baseret på tidligere versioner fra den gamle standard.

En af de væsentligste ændringer i den nye standard er en mere fleksibel påfyldningsrampe hvor tolerancer er udvidet.

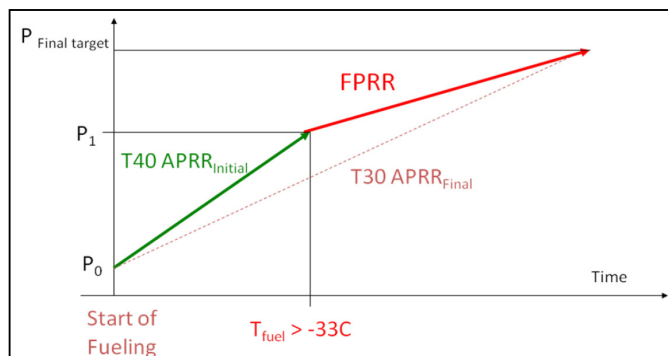
Dette giver en større fleksibilitet i forhold til dimensionering af påfyldningssystemet, lager og kompressor da stigningen i tryk nu kan ske hurtigere eller langsommere undervejs i påfyldningen.



Da flowet varierer under optankningen kan forskellige påfyldningsstrategier undervejs være relevant i forhold til at optimere påfyldningssystemet og dimensioneringen af komponenter.

Som noget helt nyt er "fall-back" procedurer også blevet implementeret, dvs. muligheden for at ændre kølingstemperaturen undervejs i en tankning.

Dette er gjort for at øge tankstationer tilgængelighed, dvs. skulle der opstå problemer med kølekapaciteten, kan man springe et niveau ned i køling under selve tankningen. En tankning hvor brint køles til  $-40^{\circ}\text{C}$  kan således springe ned til  $-30^{\circ}\text{C}$ .



For påfyldningssoftwaren har dette indebåret en betydelig omstrukturering, fra at være statisk hvor alle parametre er sat før tankning, til nu at være fuld dynamisk under tankningen. Dvs. påfyldningsrampen skal kunne beregnes løbende fra det punkt i tankningen hvor man er nået til.

Det udviklede påfyldningssystem og software er efterfølgende blevet afprøvet på en tankstation, som en del af verifikationen af den nye SAE J2601, jf. senere afsnit.

### 2.1.3 Brint kølesystem

Brint påfyldning ved 700bar i henhold til SAE J2601 kræver kontinuerlig køling af brint under påfyldningsprocessen til -40°C (T40).

De første erfaringer med T40 brint køling blev gjort i en række tidligere demonstrationsprojekter i 2011 som resulterede i et initierende kølesystem design. Dette system havde dog en række begrænsninger, særligt hvad angår kapacitet og levetid.

Baseret på erfaringerne har projekter derfor udviklet et optimeret brint kølesystem bestående af en varmeveksler og selve kølesystemet.

I modsætning til det gamle kølesystem er det nye fleksibel i kapacitet, dvs. størrelsen af komponenter kan skaleres efter behovet. Tabellen nedenfor den øgede kapacitet både på dagsniveau og for spidsbelastningssituationer.

Brint kølingssystem – før og efter projekt	2011	2015
Kapacitet fleksibilitet	Ingen	Skalerbar
Dagskapacitet	<60kg	100-200kg
Spidsbelastningskapacitet (1 time)	<14kg	20-34kg

Den øgede kapacitet er indenfor de oprindelige målsætninger for projektet.

Ligeledes er en optimeret varmeveksler blevet udviklet som erstatter to tidligere varmevekslere, dette har bidraget til at reducere størrelsen og omkostninger.

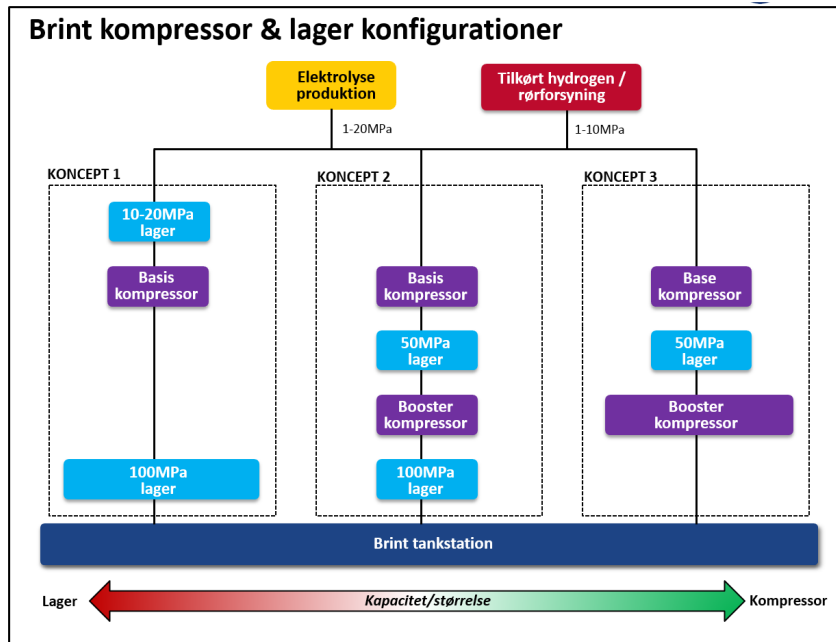
I kølesystemet er levetiden forbedret ved udvikling af et ny pumpedesign som er mere modstandsdygtig overfor korrosion, som tidligere var et stort problem.

Det samlede kølesystem er undervejs i projektet blevet implementeret i H2 Logic's eksisterende H2Station® CAR-100 produkt platform.

## 2.2 Kompressor og lagringssystem

Med udgangspunkt i den udviklede brintpåfyldning simuleringsmodellen er forskellige kombination af lager og kompressor opsætninger blevet modelleret.

Sigtet har været at finde den mest pris effektive kapacitet for lager og kompressor. dvs. at foretage et valg imellem de tre føromtalt koncepter for lager og kompressor set-up (jf. afsnit 1 eller figuren nedenfor).



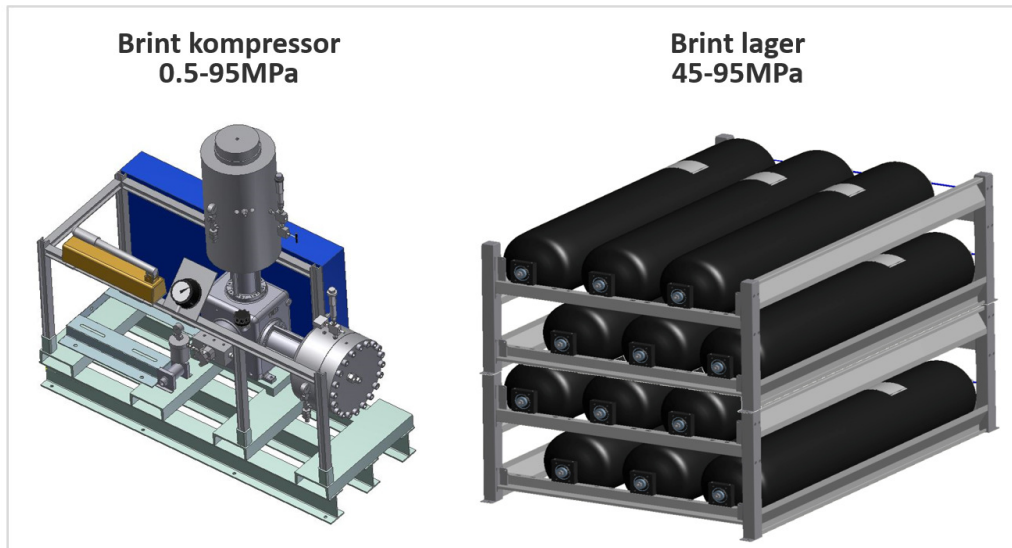
Simuleringerne har taget udgangspunkt i en forøgelse af dags og spidsbelastningskapaciteten til 200kg/dag og op til 34kg/timen, jf. specifikationerne i afsnit 1.

Grundlæggende viste simuleringerne at koncept 3 har potentiale til at blive billigst da lageret er mindst og mest energieffektiv da brint kun komprimeres til præcist det tryk som der er behov for under tankningen. Jo større lager (koncept 1 eller 2) jo højere pris og jo lavere effektivitet da en større del af brint tankes via kaskade, dvs. fra et højere tryk end der skal fyldes til, dvs. mere kompressionsarbejde.

Dog er koncept 3 særdeles udfordrende at opnå da det vil kræve en kompressor af betydelig størrelse, hvorfor der i projektet er blevet fokuseret på koncept 1 og 2.

En nyt kompressor og lager opsætning er blevet udviklet med henblik på at sikre øget påfyldningskapacitet og fleksibilitet i forhold til brint forsyningskilde.

Opsætningen er illustreret i figuren nedenfor.



I samarbejde med en kompressor leverandør er et kompressor set-up blevet udviklet og modnet som muliggør komprimering af brint fra et indgangstryk på helt ned til 0,5MPa og med et udgangstryk på op til 95MPa. Der er særligt blevet arbejdet på at øge stabiliteten og pålideligheden af kompressionssystemet.

Kompressoren fungerer som en basis kompressor dvs. at den under drift tager brint fra forsyningskilden og altid sørger for at lageret er fyldt op ved de forskellige trykniveauer.

Brint lagres ved to trykniveauer hvorfra der foretages påfyldning på køretøjet ud fra kaskade princippet (trykudligning mellem tankstationens lager og køretøjets lager). Brint lageret er udformet så at det kan fuldt ud integreres på taget af brint tankstationer så at dette ikke bidrager til øge det areal som tankstationen optager.

Kompressor og lageret dimensioneret til at muliggøre en fleksibel og skalerbar kapacitet afhængig af behov og brint forsyningskilde. I forhold til tidligere er dagskapaciteten øget op til 200kg/dag og spidsbelastningen i løbet af 1 time op til 34kg.

Systemet er udviklet i to konfiguration, en til forsyning af brint fra en produktionskilde ved tankstationen, eksempelvis elektrolyse, og en til forsyning via tilkørt brint eksempelvis trailer eller bulks.

Forsyningskilderne varierer typisk i forhold til det indgangstryk der leveres til tankstationen. Generelt muliggør tilkørt brint en højere kapacitet da gennemsnits indgangstrykket er højere end eksempelvis det tryk som leveres fra elektrolyse. Denne forventes dog at udligne sig på sigt i takt med at udgangstrykket fra elektrolyse øges.



Tabellen nedenfor opsummerer den kapacitet som der kan opnås i forhold til forsyningskilde og indgangstryk.

Brint påfyldningskapacitet – lager/kompressor opsætning		
Brint forsynings type & tryk	Produktion på stedet	Leveret via lastbil
Dagskapacitet	1MPa	32
	2MPa	56
	10MPa	56
	20MPa	113
Spidsbelastningskapacitet (1 time)	Standard: 12-24kg/timen Ekstra: op til 34kg/timen	

Som det fremgår af skemaet kan op til 200kg om dagen opnås ved 200bars indgangstryk fra tilkørt brint. I dag leveres brint typisk i bulks ved 200bar, dvs. gennemsnitstrykket når bulken er tømt er omkring 100bar.

Der arbejdes dog på nye forsyningskoncepter hos gasselskaber hvor brint leveres i bulks eller trailere med et tryk på helt op til 500bar. Dette vil muligvis gøre at de 200kg kan opnås særdeles kosteffektivt.

Kompressor opsætningen ved tilkørt brint er designet til at have en høj kapacitet ved et højt indgangstryk. Ved brint produktion på stedet har kompressoren i stedet en høj kapacitet ved et lavt indgangstryk, og en mere moderat kapacitet ved højt indgangstryk (fremtidig elektrolyse).

P.t. kan der kun opnås 100kg/dag ved brintproduktion på stedet såfremt dette sker med 200bars tryk, hvilket forventes muligt på lang sigt med elektrolyse. På kortere sigt kan højere kapaciteter nås ved at tilføje en ekstra kompressor.

For begge typer af forsyningskilder kan kompressor og lager opsætningen øges fleksibelt, hvis dagskapaciteten ønskes over en kortere periode end 24 timer, eksempelvis 12 timer. Ligeledes kan flere kompressorer og lagre tilføjes hvis der ønskes redundans med henblik på øget sandsynlighed for høj opetid.

## 2.3 Brint tankstation systemplatform

En ny brint tankstation systemplatform er blevet udviklet i projektet, med henblik på at sikre en mere kompakt udførelse og integration af brint produktion.

Nedenfor er vist systemplatformen før projektet, eksemplificeret med brint tankstationen i Holstebro som åbnede i 2011. Denne har en separat tankstander og brint produktion. Samlet set andrager dette et areal på omkring 200m<sup>2</sup>.

Den nye systemplatform udviklet i projektet har i stedet integreret tankstander og produktion, hvilket reducerer arealet til omkring 100m<sup>2</sup>, altså det halve. Det nye design blev implementeret og afprøvet for første gang på en tankstation i København i 2013, og indgår nu i H2 Logic's H2Station® CAR-100 produkt.

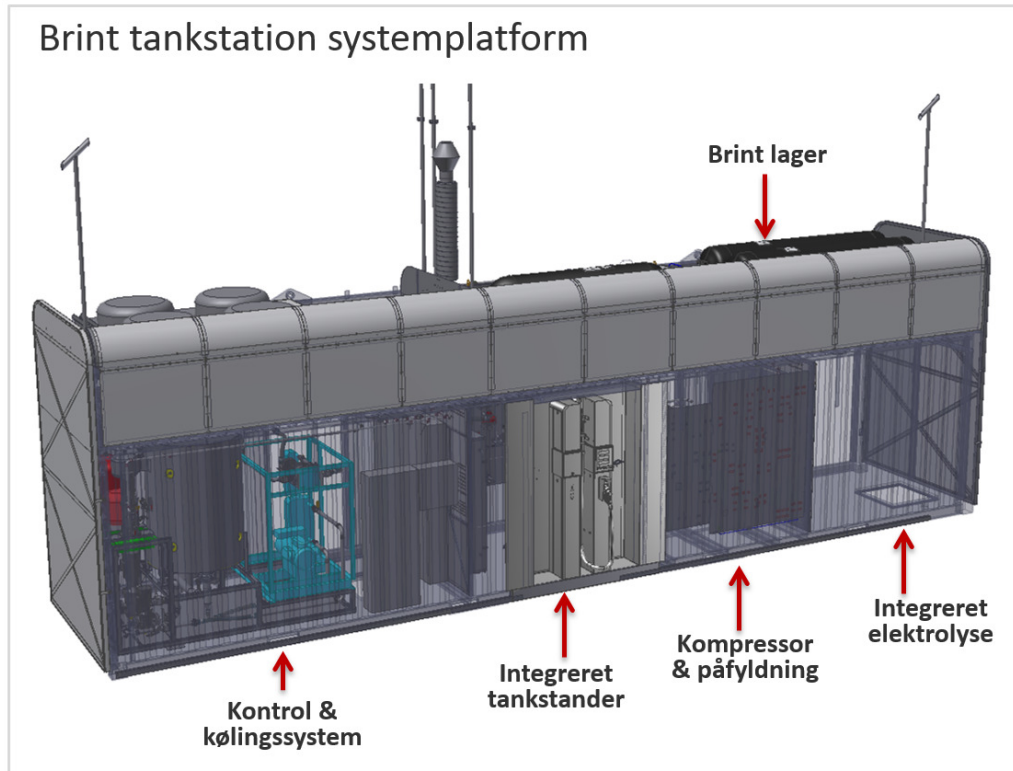
### **Brint tankstation – Holstebro 2011** Separat tankstander og brint produktion



### **Brint tankstation – København 2013** Integreret tankstander og brint produktion



Nedenfor er vist opbygningen af den nye systemplatform.



Platformen består af én samlet indpakning som indeholder tre forskellige rum, samt plads på taget.

Det første rum indeholder kontrolsystemet, strømtilslutning og kølesystemer og er ikke EX område, dvs. rummet indeholder ikke brint komponenter.

Det næste rum derimod er EX område da rummet indeholder alle brint komponenter, herunder kompressor, ventiler, rør og varmeveksler. Udvendig på rummet er en integreret tankstander placeret, som samtidig også udgør facaden på stationen.

I det sidste rum er der gjort plads til integration af elektrolyseanlæg, bl.a. Greenhydrogen.dk, som beskrevet i andet afsnit. Designet er et af de første i verden hvor produktion og optankning er integreret i samme platform.

Brintlageret er placeret på taget af indpakningen, for at undgå pladsoptag.

Indpakningen er designet til drift ned til  $-30^{\circ}\text{C}$  omgivelsestemperatur samt den kan transporteres på lastbil som ét modul.

Systemplatformen anvendes i dag i H2 Logic produktet H2Station® CAR-100.

## 2.4 Evaluering af prismålsætninger

Som afsluttende for udviklingsaktiviteterne er der blevet udført en evaluering af mulighederne for at indfri projektets prismålsætning. Dette har involveret analyser og beregninger af prisen for en 200kg/dag brint tankstation, efter implementering af udviklingsresultaterne fra projektet, i en "fiktiv" men forventet fremtidig produkt.

En tankstation med 200kg om dagen vil ved 80% udnyttelse kunne servicere omkring 400 brintbiler i et netværk på årsbasis – dvs. den samlede leverede brintmængde på ét år vil være nok til at forsyne 400 brintbiler ét helt år (ca. 150kg/bil/år).

Projektet opstillede oprindeligt en prismålsætning med udgangspunkt i det beløb som der skal investeres i brint infrastruktur pr. brintbil på vejen. Dette er undervejs i projektet blev omregnet til faktisk tankstationspris, for lettere at kunne sammenligne og koordinere med tilsvarende prismålsætninger fra EU FCH-JU programmet.

Nedenfor er vist sammenstillingen af projektets og EU's prismålsætning for en 200kg/dag brint tankstation, samt den beregnede pris som der kan opnås ved implementering af projektets udviklingsresultater.

Brint tankstation pris*	2015	2017	2020	2023
EU målsætning**		€1 mio.	€0,8 mio.	€0,6 mio.
Projektets målsætning	€4.000/køretøj €1,6 mio./anlæg	€2.500/køretøj €1 mio./anlæg		€1.500/køretøj €0,6 mio./anlæg
<b>HyProvide-HRS beregnet</b>	<b>€3.750/køretøj €1,5 mio./anlæg</b>			
<i>*Brint tankstation med 200kg/dag kapacitet, svarende til servicering af 400 biler i et netværk på årsbasis</i> <i>** FCH-JU Multi - Annual Work Plan (MAWP) 2014-2020:</i> <a href="http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/legal/itis/fch-multi-workplan_en.pdf">http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/legal/itis/fch-multi-workplan_en.pdf</a>				

Som det ses er der god overensstemmelse mellem projektets målsætninger for 2017-2023 som blev opstillet tilbage i 2011, og den seneste opdaterede EU pris målsætning fra 2014, dækkende over same periode. Bemærk at prismålsætningen over årene antager en gradvis udfasning af offentlige rammebetingelser, herunder anlægsstilsud og tilskud til driften. Dette er antagelsen i Danmark såvel som EU.

Sigtet er at brint infrastruktur investeringen skal reduceres til omkring €1.500 pr. køretøj, svarende til €0,6 millioner pr. 200kg/dag kapacitet. Adskillige udrulningsanalyser har (f.eks. Brint2050) har vist at der netop ved €1.500 pr. køretøj kan skabes en kommerciel business case for drift af brint infrastruktur.

Udviklingsresultaterne i HyProvide-HRS vil kunne muliggøre at øge kapacitet på brint tankstationer fra de nuværende <100kg/dag op imod 200kg/dag. De mindre brint tankstationer (<100kg) har i dag en pris på omkring €6.500/køretøj.

En indikativ pris er blevet beregnet for en brint tankstation på 200kg/dag såfremt udviklingsresultaterne fra HyProvide-HRS projektet bliver implementeret i et produkt. Resultatet har vist at der kan opnås et prisniveau på €3.750/køretøj.

Den primære årsag til prisreduktionen er at fordoblingen fra 100kg/dag til 200kg/dag ikke kræver en tilsvarende fordobling i prisen for lager, kompressor og køling. Resultaterne fra HyProvide-HRS har i stedet muliggjort en skalerbar forøgelse af kapacitet og hvor der bygges videre på et basis system, og hvor kun få komponenter forøges i størrelse. Dvs. den samlede prisforøgelse er mindre end forøgelsen af kapaciteten.

Fremadrettet er der dog stadig behov for en betydelig prisreduktion frem mod målsætningen om €1.500/køretøj. Denne prisreduktion skal primært findes indenfor de følgende indsatsområder:

**1. F&U indsats på brint kompression**

Forøgelse af kapaciteten kan både reducere pris og reducere behovet for lager (indirekte samlet prisreduktion). Kompression udgør i dag omkring 20-25% af tankstationsprisen

**2. F&U indsats på brint køling**

Nye køleteknologier og design skal muliggøre simplificering af systemet og prisreduktion. Køling udgør i dag omkring 15-20% af tankstationsprisen.

**3. F&U indsats på brint lagring**

Nye typer af beholdere som er udviklet til højt tryk og stationær lagring er nødvendig. Lagring udgør i dag omkring 25-30% af tankstationsprisen.

**4. F&U indsats på Balance of Plant (Bop) komponenter**

Brint komponenter såsom ventiler, filtre, fittings, flowmålere, rør etc. udgør i dag omkring 10-15% af tankstationsprisen. Nye komponenter eller kombination af flere kan bidrage til at simplificere systemet og reducere prisen.

**5. Prisreduktion ved volumen produktion**

Direkte fremstillingsomkostninger, herunder arbejds løn udgør 5-10% af tankstationsprisen i dag. Der kan således opnås en begrænset prisreduktion ved højere produktionsvolumen. Hertil kommer prisreduktion på hardware og komponenter ved volumenproduktion.

Ovenstående punkter har også været anvisende for projektets aktiviteter indenfor sikring af nye og fortsatte F&U aktiviteter jf. senere afsnit.

### 3. Test af brint optankning og produktion

#### 3.1 Test af brint optankning

En test af det nyudviklede påfyldningssoftware og kølesystem er blevet foretaget ved en brint tankstation i Danmark. Testen skete samtidig som en field-valideringstest for den nye reviderede SAE J2601 standard, dvs. det var første gang at udkastet til standarden blev testet.

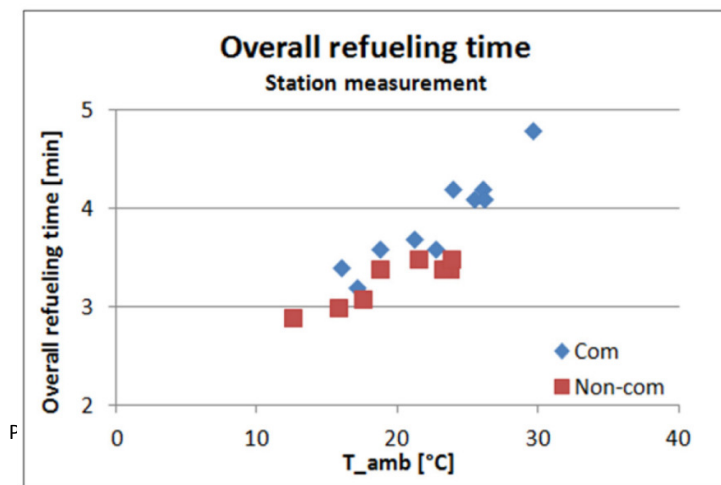
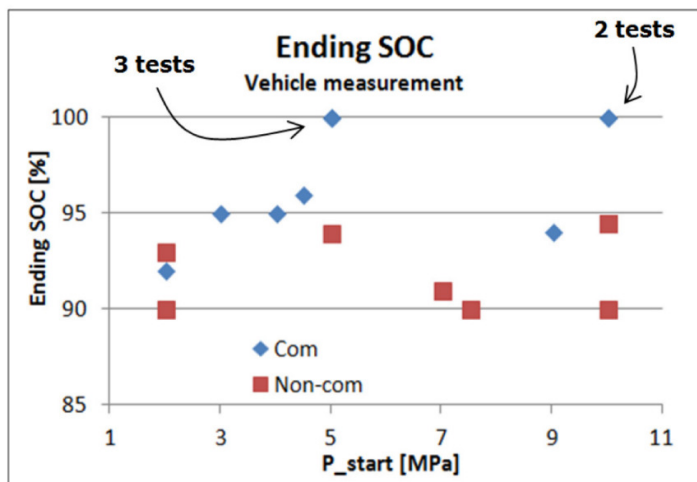
Testen blev udført over en uge hvor brintbiler fra Hyundai og Daimler blev optanket i henhold til den nye SAE J2601 (2014) standard. Alle optankninger forløb perfekt og verificerede at optankningsteknologien fungerer og at standarden følges.



Særlig fokus i test af den nye standard har været at opnå en høj "State-of-Charge" (SoC) og hurtig optankningstid. Alle optankninger opnåede således en SoC på 90-100% og en optankningstid på omkring 3 minutter i henhold til standarden. Den reviderede SAE J2601 blev derfor besluttet og implementeret i starten af 2014.



Nedenfor er vist resultatgrafer i forhold til optankningstid og SoC.



Nedenfor er gengivet en summering af væsentligste resultater fra test optankningen, mål på Daimler og Hyundai køretøjerne.

		Test number					
		1	2	3	4	5	6
Test conditions (filled out by OEM test person, prior to test)	J2799 IrDA Communications	Com.	Com.	Non-com.	Com.	Com.	Non-com.
	Vehicle tank start pressure	10 MPa	5 MPa	10 MPa	5 MPa	2 MPa	2 MPa
	Vehicle tank start temperature	15°C	9°C	7°C	-12°C	4°C	10°C
	Ambient temperature	18.5°C	20°C	19°C	15.5°C	20°C	9.5°C
	Tank Peak Temperature	58°C	55°C	48°C	49°C	55°C	59°C
	Tank Peak Pressure	77 MPa	77 MPa	69.5 MPa	75 MPa	69 MPa	67 MPa
	Tank Peak SOC	100%	100%	94.5%	100%	92%	90%
	Total kg Dispensed (Dispenser)	2.93 kg	3.2 kg	2.7 kg	3.3 kg	3.25 kg	3.25 kg
Values to be recorded (filled out by H2 Logic)	Ambient temperature station	23.9°C	25.4°C	18.7°C	16°C	17.1°C	12.5°C
	Refueling time	4.2 min	4.1 min	3.4 min	3.4 min	3.2 min	2.9 min
	Refueling start pressure station	10.6 MPa	6.2 MPa	11.5 MPa	5.9 MPa	2.9 MPa	2.6 MPa
	Starting Vehicle Pressure (IrDa)	9.8 MPa	5.1 MPa	10.7	4.9 MPa	2.0 MPa	-
	Starting Vehicle Temperature	15.4°C	8.4°C	4.5°C	-10.9°C	4.5°C	-
	Starting Vehicle SOC (IrDa Com.)	19.3%	13.1%	21.8%	10.9%	4.3%	-
	Refueling peak ending pressure	78.9 MPa	79.6 MPa	72.4 MPa	78.6 MPa	74.2 MPa	71.2 MPa
	Refueling peak ending pressure	77.3 MPa	77.2 MPa	70.6 MPa	76.3 MPa	69.2 MPa	-
	Refueling peak ending	56.5°C	55.6°C	51.6°C	51.5°C	54.1°C	-
	Ending Vehicle SOC (IrDa Com.)	97.3%	97.4%	92.4%	97.5%	90.6%	-
	Target pressure from table	86.7 MPa	82.4 MPa	73.0 MPa	82.2 MPa	74.6 MPa	72.0 MPa
	Peak Mass Flow from station	26.3 g/s	25.3 g/s	27.4 g/s	30.2 g/s	31.3 g/s	36.6 g/s

Der er blevet udgivet en international videnskabelig artikel som beskriver i detaljer revisionen og opdateringen af SAE J2601 standarden, herunder både de verificerede laboratorie test samt field-testen i Danmark.

Artiklen er udarbejdet i et samarbejde mellem BMW, Honda, Ford, Hyundai, Opel og Daimler indenfor brint optankning.

Artiklen har titlen "*Validation and Sensitivity Studies for SAE J2601, the Light Duty Vehicle Hydrogen Fueling Standard*" og kan anskaffes her:

<http://papers.sae.org/2014-01-1990/>

## 3.2 Test af brint produktionsanlæg i tankstation

### 3.2.1 Baggrund

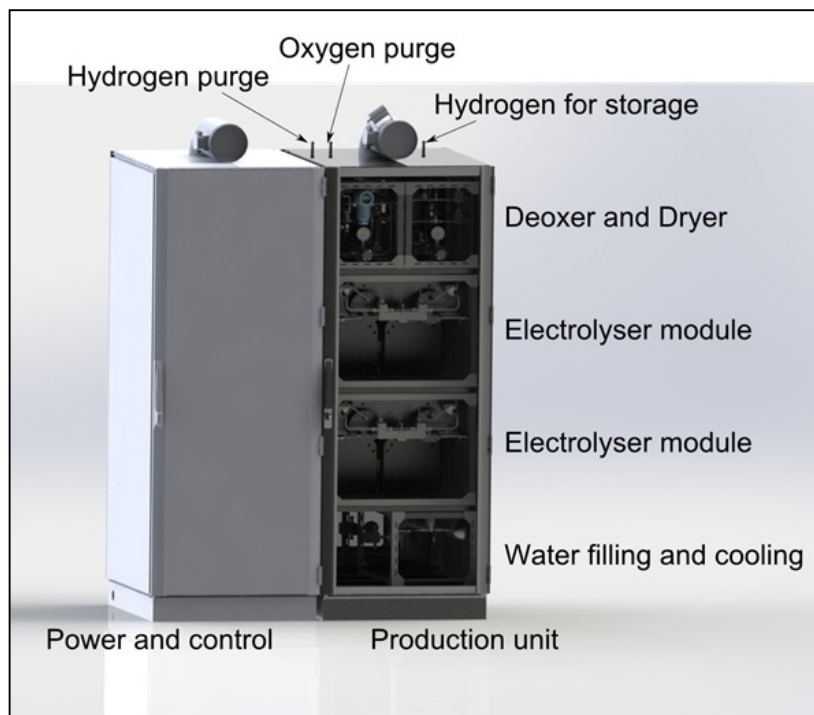
Sigtet for Greenhydrogen.dk deltagelsen i HyProvide-HRS var konstruktionen af et elektrolyseanlæg og test heraf i en brint tankstation i Danmark. Det skulle tjene som grundlag for en teknisk evaluering af elektrolyseanlægget af H2 Logic med henblik på mulighederne for yderligere anvendelse fremadrettet i brint tankstationer. For Greenhydrogen.dk vil det også være en mulighed for at afprøve og senere introducere RME elektrolyseanlægget på markedet.

Parallelt med med HyProvide-HRS projektet har Greenhydrogen.dk også gennemført EUDP projektet "Optimization of 2nd Generation Alkaline Electrolyser" som har haft til formål at udvikle og optimere den grundlæggende elektrolyse teknologi.

Grundet forskellige state-of-the-art teknologi da HyProvide-HRS projektet blevet påbegyndt er der opstået en række udfordringer undervejs, herunder med elektrolyse stak, brint detektering og opskalering af anlæggets kapacitet.

Den oprindelige målsætning i projektet var længerevarende test af elektrolyseanlægget ved en brinttankstation og en gradvis forøgelse af produktionskapaciteten fra først 8Nm<sup>3</sup>/timen til sluttelig 16Nm<sup>3</sup>.

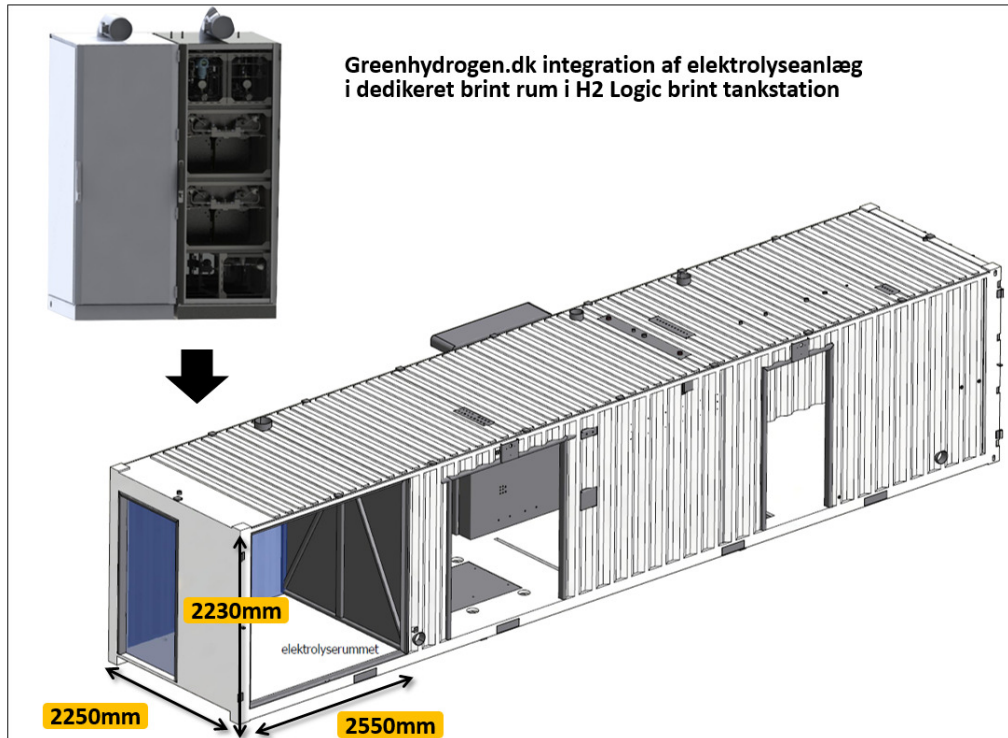
Anlægget er baseret på GreenHydrogen.dk RME platformen (Rack Mounted Electrolyser) som er et modulbaseret anlæg integreret i kompakte racks, jf. billede nedenfor.





### 3.2.2 Udførte projekt- og testaktiviteter

Da GreenHydrogen.dk initierede projektet var første opgave at deltage udvikling og design af det rum i H2 Logic brint tankstationen hvor elektrolyseanlægget skulle testes. Billedet nedenfor viser det allokerede rum i H2 Logic tankstationen.



Foruden RME elektrolyseanlægget indeholder rummet også et vandrensingsanlæg.

Forud for integrationen blev der udført en række design opgaver med henblik på at udføre rummet med de nødvendige rør tilslutninger, ventilationsåbninger, gas sensorer og anden instrumentering.

For ventilationsanlægget er dimensioneringsberegner udført med henblik sikre tilstrækkelig ventilation i henhold til rummets zone klassificering.

Dette blev udført i et tæt samarbejde mellem H2 Logic og Greenhydrogen.dk forud for installation med henblik på at sikre en effektiv installation uden tilpasninger.

Da elektrolyseanlægget var den første leverance for GreenHydrogen.dk til en brint-tankstation blev der udviklet en ny kommunikationskontrol. Elektrolysen anvender en Beckhoff PLC af samme type som den der anvendes i brinttankstationen.

Dette muliggjorde kommunikation mellem elektrolyseanlægget og tankstationen via en ADS protokol, som blev udviklet af Greenhydrogen.dk. Protokollen gør det muligt at styre elektrolyseanlægget via brint tankstationen, herunder også kontrol af avancerende drifts og proces parametre.

Kommunikationsprotokollen kan anvendes ved fremtidige projekter hvor Greenhydrogen.dk elektrolyseanlæg skal kommunikere med andre Beckhoff PLC'er, og er derfor ikke begrænset til kun brint tankstationer fra H2 Logic.

Elektrolyseanlægget blev konstrueret og testet hos Greenhydrogen.dk før afsendelse til H2 Logic. Grundet forsinkelser i den parallelle udvikling af anlægget blev det dog nødvendig i løbet af projektperioden at justere på både tidsplanen og målsætningen for anlæggets størrelse, herunder startende med 8Nm<sup>3</sup>/timen og senere opgradering til 16Nm<sup>3</sup>/timen.

Det modulære RME koncept var oprindeligt tænkt bygge på reguleringssoftware og hardware beregnet på at kunne håndtere to elektrolyse moduler i hver processkab.

Som nævnt tidligere pågik den grundlæggende udvikling af RME anlægget parallelt med projektet. En række udfordringer omkring udviklingen af elektrolysestakken og brint sensorer nødvendiggjorde imidlertid et stort fokus herpå samt ressourceallokeringen, på bekostning af at opnå produktionskapaciteten i HyProvide-HRS projektet. Derfor blev der kun installeret et 6Nm<sup>3</sup>/timen anlæg i brint tankstationen fra H2 Logic. Dette indebar en række mindre justeringer i opsætningen, men selve installationen blev succesfuldt gennemført.

Den efterfølgende opstart og test af elektrolyseanlægget resulterede dog i en række nye udfordringer. Den største var løbende og betydende ændringer af elektrolysestakken i løbet af testperioden grundet udfordringer med levetid på elektroder, ludpumpe, korrosion og materiale stress. Yderligere vidste det sig vanskeligt at de-tektere gaskvalitetes grundet varierende temperaturer samt at der skedte degradation på selve sensoren da der var behov for kontinuerlig måling.

Testen vidste også at der var behov for yderligere køling af elektrolyseanlægget end oprindeligt antaget. Dette blev løst ved at installere en ekstra varmvexler på taget af brint tankstationen.

De forskellige udfordringer under testen nødvendiggjorde at hjemtage dele af anlægget til GreenHydrogen.dk for udføre forskellige opdateringer og implementering af nye løsninger og design.

Ydermere ændrede projektet også karakter da brint tankstationen, som hidtil havde været installeret hos H2 Logic, nu skulle flyttes til en ny lokation. Her ville den skulle indgå i en daglig drift og forsyning af brint til forskellige brugere.

Dette krævede øgede aktiviteter i forhold til at opnå yderligere certifikater på elektrolyseanlægget og CE mærkning, så at det fortsat kunne være installeret i brint tankstationen.

En omfattende og komplet CE mærkning af anlægget var ikke forudsætningen eller forventningen ved projektets påbegyndelse. Det lykkedes dog GreenHydrogen.dk at opnå de nødvendige certifikater og godkendelser til anlægget.

Elektrolyseanlægget kunne derfor geninstalleres i brint tankstationen, denne gang på den nye lokation. Uden CE mærkningen ville dette ikke have været muligt.

CE mærkningen androg dog en del projektressourcer, som havde indvirkning på elektrolyse udviklingsaktiviteterne samt forøgelsen af produktionskapacitet. Det blev dog vurderet vigtigere at muliggøre en fortsat test af anlægget gennem opnåelse af CE-mærkningen, end at fokusere aktiviteterne på at øge produktionskapaciteten. I stedet blev det geninstallerede anlæg fastholdt på 6Nm<sup>3</sup>/timen.

Som en del af installationen blev der foretaget en grundig uddannelse af Greenhydrogen.dk personale i sikkerhed, ATE og andre risikoanalyseværktøjer. Dette var et krav for at kunne arbejde i brint tankstationen på den givne lokation. Denne proces var meget udbytterig og lærerig for Greenhydrogen.dk.

På trods af vanskelighederne med udviklingen af selve elektrolyseanlægget samt installationen har projektet bidraget med en øget forståelse for opgaver og grænseflader i forbindelse med kombination af elektrolyseanlæg og brinttankstationer.

Overordnet set sigtes der fremadrettet mod at udvikle et selvstændige produktionsmodul (elektrolyseanlæg) som etableres i umiddelbar nærhed af brint tankstationen frem for en fuld integration i tankstationen. Dels muliggør dette en mere simpel installation og klare snitflader, ligeledes vil det her være et krav at gassen analyseres online i henhold til (SAE2719) således at der sikres at gassen opfylder kravene inden den sendes videre til selve tankstationen, ligeledes kan produktionsplatformen også opgraderes løbende i tak med at kapaciteten øges på tankstationen.

På den kortere bane kan den integrerede løsning dog ved nogle tankstationer være relevant. Særligt på tankstationer hvor pladsen er trang og hvor der samtidig ikke er behov for et produktionsanlæg af betydelig størrelse.

På efterfølgende side er vist billeder af RME elektrolyseanlægget og vandrensningsanlægget installeret i H2 Logic brint tankstationens elektrolyserum.



### 3.2.3 Konklusion og anbefalinger

Projektet har udfordret udviklingen af elektrolyse og GreenHydrogen.dk positivt, ved at sætte høje forventninger til resultaterne. Greenhydrogen har gennem projektet opnået betydelige erfaringer med sikkerhed og installation af elektrolyseanlæg i sammenhæng med brint tankstationer.

Elektrolyseanlægget er blevet optimeret og testet i løbet af projektperioden, og nye reviderede komponent design og løsninger er blevet udviklet.

Målsætningen om installation og test af først et 8Nm<sup>3</sup>/t anlæg efterfulgt af en opgradering til 16Nm<sup>3</sup>/t er ikke blevet opfyldt. Det skyldes tekniske udfordringer i den parallelle udvikling af teknologien, samt et ekstraordinært fokus på certificeringer, sikkerhed og godkendelse i projektet, som var nødvendigt for at kunne installere teknologien i en brint tankstation. Et 6Nm<sup>3</sup>/t anlæg blev i stedet installeret og testet i løbet af projektperioden.

Elektrolyseanlægget er blevet optimeret på adskillige punkter, bl.a. BoP, stak design, proces design samt køling og kontrolsystemet. Nye koncepter for cirkulering af elektrolytten er blevet udviklet samt software til mere præcis håndtering af tryk og vand balance. Stakken er blevet løftet til et nyt niveau hvad angår effektivitet og pålidelighed ligesom produktionsmetoder og godkendelse også er adresseret.

Udviklingen har resulteret i et elektrolyseanlæg som blev klargjort til demonstration samt de nødvendige godkendelser for installation i en brint tankstation. Anlægget opnåede dog først en stabil drift i slutningen af projektet hvorfor langtidstest stadig er nødvendig for at identificere yderligere svagheder og optimeringsparametre.

Ydermere har projektet afdækket adskillige udfordringer ved installation af elektrolyseanlæg i brint tankstationer, herunder særligt håndtering af sikkerhed og opnåelse af godkendelser. Udfordringerne er dog blevet adresseret og Greenhydrogen.dk er nu i stand til at installere elektrolyseanlæg sikkert i tankstationer.

Greenhydrogen.dk har investeret adskillige timer i tilpasning af elektrolyseanlægget så at denne kunne integreres i brint tankstationen. Det har dog afdækket at RME produktet ikke er det mest optimale for brint tankstationer.

Fremadrettet ser Greenhydrogen at det vil være mere hensigtsmæssigt at udvikle et selvstændigt produktionsmodul (elektrolyseanlæg) som etableres i umiddelbar nærhed af brint tankstationen frem for en fuld integration i tankstationen. Dels muliggør dette en mere simpel installation og klare snitflader. Dette vil også gøre det muligt kun, at opgradere produktionsplatformen løbende, i forbindelse med at kapaciteten på selve tankstationen øges. Produktionsplatformen tænkes også anvendt til andre applikationer så som CO<sub>2</sub> methanisering, herved opnås der et større styktal på produktionsenheden hvilket er en forudsætning for at få prisen ned på selve produktionsenheden. P.t arbejder GreenHydrogen på en produktionsplatform baseret på deres 250KW modul, som vil være særdeles velegnet til dette formål.






## 4. Planlægning af F&U og kommercialisering

### 4.1 Planlægning og sikring af fortsat F&U

I projektet er der løbende blevet arbejdet med planlægning og sikring af fortsatte F&U aktiviteter indenfor brint optankning. Dette har fokuseret både supplerende aktiviteter indenfor andre aspekter og områder af brint optankning end HyProvide-HRS projektets fokus samt videreførelse af projektets aktiviteter i nye projekter.

Samlet er 5 nye F&U projekter med et total budget på 100 millioner kroner blevet iværksat i løbet af projektperioden, som vist i figuren nedenfor. Projekterne dækker over både forskning i nye teknologier samt dedikerede udviklingsprojekter indenfor forskellige brint optankningskomponenter. Projekterne er støttet af EUDP, DSF samt EU FCH-JU brint programmet.

Overordnet er der således gennem HyProvide-HRS projektet sikret en solid fortsat dansk F&U indsats indenfor brint optankning frem mod udgangen af 2016.

Sikrede brint optanknings F&U projekter	
<b>HyFILL-FAST (2012 – 2016)</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Forskning i brintlagring &amp; optankning</li><li>• <u>39 millioner kr. budget</u></li></ul>	
<b>PHAEDRUS (2012-2015)</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Udvikling af elektrolyse &amp; brint optankning</li><li>• <u>47 millioner kr. budget</u></li></ul>	
<b>HyAC (2013-2015)</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Udvikling af brint påfyldningsnøjagtighed</li><li>• <u>5,5 millioner kr. budget</u></li></ul>	
<b>HighPEM (2014-2015)</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Højtryks PEM elektrolyse til brint optankning</li><li>• <u>4,3 millioner kr. budget</u></li></ul>	
<b>H2Cost (2014-2016)</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Udvikling af brintproduktion &amp; optankning</li><li>• <u>7,2 millioner kr. budget</u></li></ul>	

## 4.2 Sikring af produkter & patenter

Parallelt med projektets F&U aktiviteter er der arbejdet målrettet mod at identificere patent muligheder og sikre udnyttelse af projektets resultater i form af produkter og markedsintroduktion heraf.

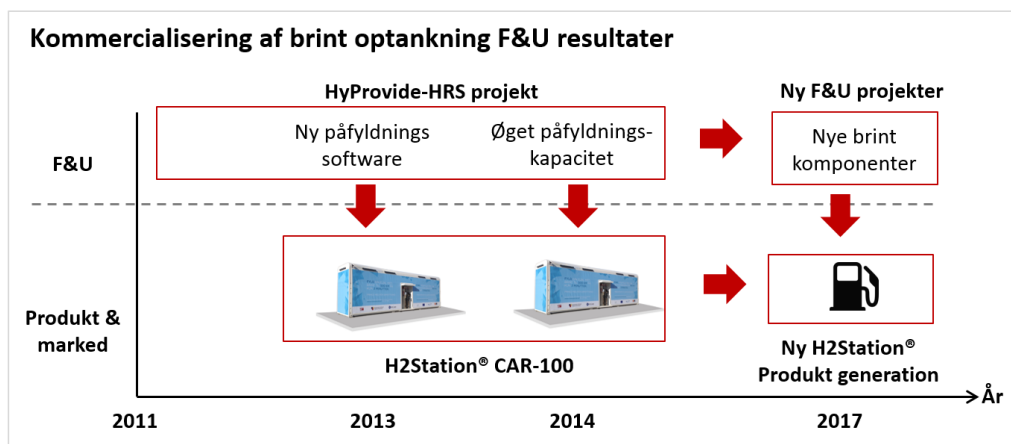
Gennem HyProvide-HRS projektet er der blevet identificeret adskillige patent muligheder på teknologierne og komponenterne som er blevet udviklet i projektet. Der er blevet udarbejdet en detaljeret plan for gennemførelse af først nyhedsundersøgelse og efterfølgende patentansøgning for hvert af de identificerede patenter.

Der forventes efter projektets afslutning således at der er sikret adskillige patenter. Offentliggørelsen af patenter vil løbende ske i henhold til tidsfrister og processen for Europæiske og internationale patentprogrammer. Af konkurrencemæssige hensyn sker offentliggørelse af patenterne ikke hurtigere end programmerne kræver.

Udviklingsresultater fra projektet er løbende blevet videreudviklet og implementeret i det eksisterende brint tankstations produkt fra H2 Logic H2Station® CAR-100. Det er sket som løbende produktopdateringer som har forbedret egenskaberne.

Ligeledes er den fortsatte udvikling af forskellige brint påfyldningskomponenter blevet videreført i nye projekter med henblik på at indgå i en ny H2Station® produkt generation som forventes lanceret efter 2017.

Den løbende kommercialisering af F&U resultater er illustreret i figuren nedenfor.



I 2013 blev den opdaterede brint påfyldningssoftware fra projektet implementeret i H2Station® CAR-100 produktet. Dette muliggjorde at produktet kunne opfylde den opdaterede SAE J2601 standard. Siden da er ordrer på omkring 5 CAR-100 til kunder i Europa blevet sikret, som forventes i drift i slutningen af 2014.

I slutningen af 2014 implementeres yderligere F&U resultater fra projektet i CAR-100 produktet hvilket vil muliggøre øget påfyldningskapacitet på op til 200kg.

### 4.3 Teknisk bidrag til analyser for brint til transport

Parallelt med projektet er en række analyser af perspektiverne for brint til transport blevet udført i forskellige eksterne sammenhænge. Med udgangspunkt i projektets fokus på udvikling analyser indenfor brint tankstationer er der løbende blevet leveret tekniske bidrag til de forskellige analyser.

Figuren nedenfor viser de forskellige brint analyser i løbet af projektperioden.



Den indledende specificering af brint optankning og produktion (afsnit 1) bidrog til udvikling af "Brint 2050" rapporten som var den første større analyse af perspektiverne for brint til transport i Danmark frem mod 2050. HyProvide-HRS bidrog med de tekniske specifikationer for brint tankstationer og produktion. Rapporten kan findes her: [www.hydrogenlink.net/brint2050.asp](http://www.hydrogenlink.net/brint2050.asp)

I 2013 blev der udført en generel opdatering af brint analyserne for Danmark som en del af det EU støttede HyTEC projekt. Projektet bidrog ligeledes her med tekniske specifikationer for brint tankstationerne. HyTEC analysen forventes offentliggjort i en opdateret version i starten af 2015.

I 2014 har projektet bidraget med tekniske input til en national implementeringsplan for brint i det TEN-T støttede projekt HIT, samt en opdatering af den nationale brint transport strategi under Brint og Brændselscelle Partnerskabet. Projektets tekniske specifikationer for brint tankstationer er således samstemt med de nationale strategier og planer.

Den nationale implementeringsplan kan findes her: [http://www.hydrogenlink.net/download/reports/HIT-NIP-Denmark\\_3rd-final\\_June-2014.pdf](http://www.hydrogenlink.net/download/reports/HIT-NIP-Denmark_3rd-final_June-2014.pdf)

Den nationale brint transport strategi kan findes her: [http://www.hydrogenet.dk/fileadmin/user\\_upload/PDF-filer/Partnerskabet/Strategier/Transportstrategi\\_Final.pdf](http://www.hydrogenet.dk/fileadmin/user_upload/PDF-filer/Partnerskabet/Strategier/Transportstrategi_Final.pdf)