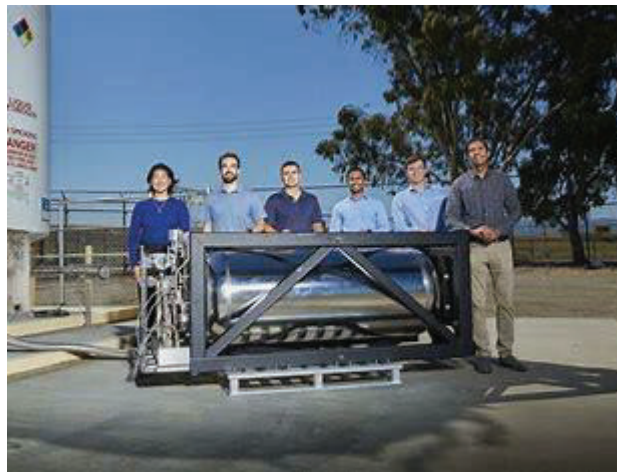


Utvärdering av kryo-komprimerade vätgastankar



Författare: Felix Haberl
Datum: 2024-04-23
Projekt inom Accelerate Swedish partnership - FFI

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	5
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	6
5 Mål	6
6 Resultat och måluppfyllelse	6
7 Spridning och publicering	8
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	8
7.2 Publikationer.....	8
8 Slutsatser och fortsatt forskning	8
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	9

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Projektet har framgångsrikt uppnått sina mål genom en grundlig och omfattande undersökning av prestanda och mognadsgrad av Vernes CcHSS (cryo-compressed hydrogen storage system) för Volvos tunga lastbilar.

Projekresultatet indikerar att Vernes CcHSS har tydliga fördelar jämfört med andra vätagaslagringstekniker, dess höga vätgasdensitet lämpar sig särskilt för lastbilar som kör långa sträckor och det har jämförelsevis lång hålltid innan vätgas behöver ventileras på grund av termisk expansion. Samtidigt uppvisar CcHSS-systemet konkurrenskraftighet ur ett kostnadsperspektiv, vilket erbjuder en kostnadseffektiv lösning jämfört med till exempel 700bar. Dessutom tar visat man på en flexibilitet i väteleverans till tankstationen som skapar möjlig väg framåt bland de infrastrukturutmaningar som associeras med vätgasfordon.

CcHSS-prestanda:

Genom noggrann undersökning och analys har projektet gett en omfattande förståelse för Vernes CcHSS-prestanda, till exempel temperatur, tryck, densitet. Under projektet genomfördes flera fyllnadstester som verifierade fyllnadsgrad för Vernes CCHS, med en genomsnittlig maximal fyllnadsdensitet på 64,7 g/L. Dessa data belyser en betydande fördel jämfört med lagring på 700 bar, som vanligtvis uppnår 40 g/L, samt densitet för flytande väte, som ligger på 59 g/L.

LCA - livscykelanalys

Projektet fokuserade enbart på preliminära indata för livscykelanalys (LCA) av CcHSS, som ska göras av Volvo. Tanken är att dessa indata kommer att initiera preliminära uppdateringar av Volvos LCA-modell och att ett samarbete därefter kommer att resultera i en förfinad, slutlig LCA-analys för CcH₂. Studien visade att Vernes system kräver 75 % mindre kolfiber än ett 700 bar-systemet.

2 Executive summary in English

The project has successfully achieved its objectives through a thorough and comprehensive investigation into the performance and feasibility of Verne's CcHSS (cryo-compressed hydrogen storage system) for Volvo heavy-duty truck application.

The project result indicates that Verne's CCHS holds distinct advantages over other hydrogen storage technologies, its high hydrogen density particularly suits in long-haul truck application. Furthermore the CcHSS system exhibits superiority in terms of tank system cost perspective, offering a cost-effective solution compared to standard 700bar tanks. Additionally, its flexibility in refueling pathways addresses widespread concerns surrounding infrastructure challenges with hydrogen vehicles.

The project result provides a solid foundation for future endeavors in this area. This knowledge base enables informed decision-making and strategic planning regarding the Volvo's hydrogen heavy-duty trucks towards the commitment of net-zero emission target by 2040.

The project results are summarized as follows.

CCHS Performance:

Through meticulous investigation and analysis, the project has yielded a comprehensive understanding of Verne's CCHS performance, eg. temperature, pressure, density.

Density

During the project, multiple fill tests were conducted, revealing fill densities of Verne's CcHSS exceeding 63 g/L, with an average maximum fill density of 64.7 g/L. This data highlights a substantial advantage of hydrogen density compared to the 700-bar storage, which typically achieves 40 g/L, as well as liquid hydrogen density, which stands at up to 59 g/L.

The usable density of Verne's CCHS ranged between 73.4% and 85.6% across the empty and full states. There is potential for further enhancement of usable density by incorporating a heat exchanger into the system design.

Dormancy

Dormancy tests were conducted on a Gen 1 CcHSS across different states of charge (SOC), yielding the following results:

- At 100% SOC, dormancy was observed for 25.8 hours.
- At 93% SOC, dormancy extended beyond 67 hours,
- At 85% SOC, dormancy persisted for over 71 hours.

These results indicate that with Verne's CCHS, at 100% SOC, there is adequate dormancy for nearly a day, and at 93% SOC, there is sufficient dormancy for the weekend. The testing showed an estimated dormancy time of more than 100h for 93 and 85% SOC. Dormancy times are expected to be improved for the following generations. This presents a significant advantage over liquid hydrogen, which typically offers a much shorter dormancy of 8h at 100% SOC, or 60h at 90% SOC.

Feasibility for scale-up in heavy duty vehicle application

The project has not only validated the technical performance of Verne's CcHSS but has also showcased its cost-effectiveness. By reducing costs in hydrogen storage systems and minimizing capital expenditure (CapEx) in infrastructure, the project has demonstrated that the complete CcHSS solution is viable. Moreover, the possibility of different pathways with hydrogen refueling stations further enhances the feasibility of CcHSS adoption.

CcHSS cost

Verne's CcHSS cost was calculated with three approaches. Using three separate approaches gave confidence on the general trend for cost estimates as a function of different volumes. The tank cost was expected to be well below the projection of 350 or 700 bar and similar to liquid hydrogen.

HRS cost

The unit cost of various options – 700 bar, sLH2, and CcH2 were investigated in the project. The 700 bar option entails a higher level of complexity and requires more components, resulting in a significant contribution to capital expenditure (CapEx). Both CcH2 (cryo-compressed hydrogen) and sLH2 (sub-cooled liquid hydrogen) options incur additional costs due to vent losses resulting from refueling operations.

LCA - life cycle analysis

The project only focused on preliminary inputs for Life Cycle Analysis (LCA) of CcHSS, which is to be done by Volvo. It is envisioned that these inputs will initiate preliminary updates to the Volvo LCA model and that subsequently, a collaborative effort will result in a refined, final LCA Analysis for CcH2. The study demonstrated Verne's systems require 75% less carbon fiber than the state-of-the-art 700 bar system.

The project result indicated that reclaiming the carbon fibers from the COPVs after their end of life is meaningful only if the length and properties of the carbon fibers are attractive for down-cycling or side-cycling opportunities in the secondary composite market, including:

- Road bikes
- Automotive body panels
- Secondary reinforcement for wind turbine blades
- Composites for recreational sports: golf shafts, rackets, snowboards, surfboards, rowing oars,

In summary, the demonstration presented in the project results not only addresses concerns regarding the technology itself but also mitigates uncertainties regarding the required investment and infrastructure challenges. Furthermore, it initiates the exploration of LCA, paving the way for future research in this area. By showcasing the potential of CcHSS technology through its implementation in heavy-duty vehicles, the project establishes a foundation for its future scale-up.

3 Bakgrund

Volvo har ambitionen att minska CO₂-utsläppen till netto noll till året 2040. De största utsläppen kommer från bränslet under användning. Därför behöver Volvo leverera drivlinelösningar som kan drivas med förnyelsebart bränsle. I Volvos produktportfolio finns redan batteridrivna och den kommer att utvidgas med vätgasdrivna fordon.. Vätgas kan produceras som koldioxidfritt bränsle via elektrolys med grön el. Vätgas kommer att användas i energikrävande transportuppdrag som inte har möjlighet till övernattsladdning. Produktionsstarten kommer att ske med 700bar kolfibertankar. Men dessa kolfibertankar kommer med flera problem. De kritiska frågorna är kostnad, LCA, kolfibertillgänglighet och lagringstäthet. Med den nuvarande kostnadsbilden är vätgaslagringssystemet det dyraste systemet på en vätgasdriven bil med 80 kg vätgas ombord. Det höga trycket på 700bar kräver mycket kolfiber vilket resulterar i ca 800 kg kolfiberkomposit för varje lastbil för dom eftersträvade 1000 km räckvidd. Denna enorma mängd kolfiber är kritisk ur flera aspekter. För det första är det dyrt, priserna är cirka 22USD/kg vilket innebär att den största kostnaden för produkten är materialkostnad som inte kan påverkas. Ett annat problem är den globala produktionskapaciteten för kolfiber, som är mycket mindre än det globala behovet om en betydande del av de tunga transporterna skulle drivas med vätgas. Även om kolfiber skulle kunna produceras i en tillräcklig mängd så hade koldioxidavtrycket varit omfattande, dels på grund av produktionsmetoden för kolfiber och dels eftersom det inte finns något känt sätt att återvinna kolfibertankarna.. Detta leder till att en betydande del av fordonets totala koldioxidavtryck från produktionen kommer från kolfibertankarna. För fordonets design och layout ger volymen på H₂ begränsningar för layouten. Alla dessa utmaningar hanteras direkt eller indirekt av Vernes kryo-komprimerade lagringskoncept. Den viktigaste hävstångseffekten är den ökade lagringsdensiteten hos en kall och komprimerad gas. Medan väte vid 700 bar och rums temperaturer har en densitet på cirka 40 g/l, kan densitet på över 70 g/l uppnås vid 60 K och 350 bar. Detta innebär att ett tryckkärl med lägre tryckklassning transporterar mer väte än en tank på 700 bar, vilket resulterar i en betydande minskning av CF (60- 80 % mindre kolfiber för samma mängd vätgas). Den reducerade CF-mängden är fördelaktigt för kostnads-, LCA- och tillgänglighetsutmaningarna. Den ökade lagringsdensiteten möjliggör fler packningsalternativ, vilket reducerar behovet av tankar bakom hytten.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Det nuvarande fokuset på vätgaslagring är 700 bar komprimerade vätgastankar. 700 bar tankar kommer med begränsningar som höga tillverkningskostnader, begränsad lagringskapacitet och oro för råvarans tillgänglighet och dess cirkuläret. Syftet med projektet är att utforska alternativa lösningar som är mer hållbara, kostnadseffektiva och har högre energidensitet. Att hitta en lösning med högre vätgasdensitet ombord ökar inte bara räckvidden och effektiviteten hos vätgasdrivna fordon utan minskar också det totala koldioxidavtrycket i samband med deras produktion och drift.

Forskningsfrågor:

- Beteende av CcH₂ tankar under realitetsnära lastprofiler
- Integration av CcH₂ på lastbil (el, mekanisk anslutning, styrning, säkerhet, kylanslutning)
- Infrastruktur ur ett tekno-ekonomiskt perspektiv

I projektet är ansvaret uppdelat enligt följande. Verne ansvarar för att tillhandahålla CcHSS-prototypen, systemdesign, P&ID, CAD-modellering, simulering, testning, generering av rapport. Volvo ansvarar för att tillhandahålla space claim, lastprofil, gränssnitt till lastbil, standarder och krav att följa i säkerhetsaspekten.

Metod:

- Utbyte av specifikationer
- Packningsstudier
- Beskrivningar av gränssnitt
- Lastprofilsimuleringar (p,T,SOC av tank som funktion av massflöde)
- Fysiskt test av tanksystem för att verifiera modellering
- Kostnadsanalyser

5 Mål

Mål med projektet var en utvärdering av kryo-komprimerad vätgaslagring för Volvos nollutsläppsfordon med bränsleceller eller förbränningsmotor.

Leverans → Termodynamisk modell av kryo-komprimerad tank för utvärdering av Volvos applikationer

Kost analys av CcHSS och Cc-HRS (cryo-compressed hydrogen refueling station)

Leverans--> Testrapport och test data av en fysisk CcHSS på testbänk

6 Resultat och måluppfyllelse

Samarbetet skapade en bra förståelse för prestanda och utformning av ett rammonterat kryo-komprimerat två tankssystem på ett av Volvos bränslecellselektriska 4x2 dragfordon. Detta skedde genom olika designrapporter av Verne baserad på Volvos input. En lista med dom viktigaste dokumenten som sammanställdes under projektet av Verne finns nedan

Verne leveranser:

- Rapport relaterad till tankprestanda under olika lastprofil och leveranstryck
- Användbar massa vätgas under olika driftförhållanden
- Rapport om säkerhetskoncept
- System PID
- Testplan för testning av singel tank
- Testrapport – tanktestning
- Kostanalys av tank

- Kostnadsanalys av tankstation, flytande och gasformig H2 leverans
- LCA-analys

De listade leveranserna har bidragit till ett bra samarbete mellan och Verne och Volvo som kommer att fortsätta utöver projektets omfattning. Arbetet kan ses som en pusselbit i Volvos arbete att introducera nollemissionsfordon. Det finns fortfarande en del utmaningar inte minsta på kostnads- och infrastruktursida som måste lösas innan det kommer att finnas en större antal vätgasfordon på allmän väg. Kryo-komprimerad vätgas skulle kunna bidra till att lösa de utmaningarna.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Huvudsyftet med projektet, uppnått
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Används i interna utredningar kring framtider vätgaslagring på fordon
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut	X	Input till ISO arbetsgrupp TC197/WG36 och kommande arbetsgrupper om CcH2

7.2 Publikationer

Inga publikationer under projektets tid

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har framgångsrikt uppnått sina mål genom en grundlig och omfattande undersökning av prestanda och mognadsgrad av Vernes CCHS (kryo-compressed hydrogen storage system) för Volvos tunga lastbilar. Projektresultatet indikerar att Vernes CCHS har tydliga fördelar jämfört med andra vätgaslagringstekniker, dess höga vätgasdensitet lämpar sig särskilt för långdistans av lastbilar och har jämförelsevis lång hålltid. Å andra sidan uppvisar CCHS-systemet konkurrenskraftigt när det gäller tanksystemets kostnadsperspektiv, vilket erbjuder en kostnadseffektiv lösning jämfört med t.ex. 700bar. Dessutom tar dess flexibilitet i väteleverans till tankstationen itu med utbredda problem kring infrastrukturutmaningar med vätgasfordon.

Det finns fortfarande en bra del utvecklingsarbete kvar gällande själva tanksystemet. Där är det främst verifiering av livslängd på själva COPV (composite overwrapped pressure vessel) i kombination med kall och varm tankning. Men även kring komponenter bland annat on-tankventil, värmeväxlare behöver utvecklas för hög tryck och låga temperaturer.

En av dom viktigaste delarna ser vi på infrastruktur och tankstations sidan. I närmare framtid kommer fokuset ligga på tekno-ekonomisk utvärdering av kylning av komprimerad gas. Detta alternativa tillverknings sätt av kryo-komprimerad gas är essentiellt i geografiska områden utan utbyggnad av förvätskningsanläggningar. Om ekonomisk tillverkning av kryo-komprimerad gas bara är möjligt via kompression av flyttande väte skulle en viktig fördel mot ren flyttande tankar falla bort.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

The logo for VERNE, featuring the word "VERNE" in a bold, blue, sans-serif font.

David Jaramillo <david@verneh2.com>

Ted McKlveen <ted@verneh2.com>