



Förstudie av byggarbetsplats med utsläppsfria maskiner vid KMC i Köpenhamn

Författare:

RISE Research Institutes of Sweden

City of Copenhagen

Volvo Construction Equipment

Shell

Förstudie av byggarbetsplats med utsläppsfria maskiner vid KMC i Köpenhamn

Författare:

RISE Research Institutes of Sweden

City of Copenhagen

Volvo Construction Equipment

Shell



Abstract

Pre-study of construction site with emission free machinery at KMC in Copenhagen

Emissions from construction machinery are some of the most challenging to reduce out of all vehicle emissions. In the Cleancon project stakeholders across the entire value chain for construction machinery were gathered to together work towards the goal of reducing emissions from construction machinery. The result of this project is an extensive exchange of experience and information and a prestudy detailing in this report how a demonstration site for emissions free construction machinery could be realized at KMC in Copenhagen. The prestudy concludes that such a demonstration is technically feasible already within a few years but that there also is work to be done and hurdles to overcome before it can be realized.

Innehåll

Abstract	2
Pre-study of construction site with emission free machinery at KMC in Copenhagen	2
Innehåll.....	2
Sammanfattning.....	3
1 Bakgrund	5
2 Beskrivning av platsen.....	6
3 Maskintyper / koncept	10
4 Energiförsörjning H₂ / elektricitet	11
5 Vätgassäkerhet	14
6 Elsäkerhet	22
7 Simulering.....	26
8 Kostnader	27
9 Slutsatser och fortsatt arbete	28

Sammanfattning

Köpenhamns stad har satt upp som mål att minska utsläppen från tunga fordon inklusive mobila maskiner som inte är avsedda för vägar (NRMM) med 30 – 40 % till 2025. För att arbeta mot detta mål har aktörer från hela värdekedjan för arbetsmaskiner samlats i denna projektgrupp där de kan dela kunskap och samarbeta. Resultatet av detta samarbete är ett stort kunskapsutbyte och en förstudie som undersöker hur förutsättningarna för en framtida demonstrationsbyggarbetsplats med utsläppsfria anläggningsmaskiner kan skapas i Köpenhamn år 2024/25.

Den valda testplatsen för demon är en deponi för förorenad jord i Köpenhamns norra hamn. Denna plats har för närvarande en temporär hög med jord som måste flyttas till en annan deponi. Den planerade verksamheten för de utsläppsfria arbetsmaskinerna är att en grävmaskin ska lasta denna jord från högen på två dumprar som ska transportera jorden några hundra meter bort där en tredje part tar emot den och transporterar jorden vidare. Platsen är väl förberedd för den här typen av demonstrationer eftersom liknande konventionella dieselmaskiner redan utför denna operation idag.

Två typer av utsläppsfria arbetsmaskiner planeras användas, grävmaskiner och dumprar. Båda maskintyperna är vätgaselektriska, men tippbilarna har också alternativet att vara batterielektriska. Maskinerna kommer att leasas av kunden.

Volvo AH A30



Last: 29 000 kg, 17.8 m³
Maxvikt: 52 600 kg
Max kontinuerlig effekt: 265 kW
Uthållighet: 5 – 10 timmar
Bränsle: Vätgas @ 700 bar
Alternativ energikälla: Batterielektrisk

Volvo EX 480



Skopa: 1.55 – 3.3 m³
Maxvikt: 53 300 kg
Max kontinuerlig effekt: 283 kW
Bränsle: Vätgas @ 700 bar

För att arbetsmaskinerna ska kunna arbeta måste det finnas tillgång till vätgas och el. Det har därför undersökts hur en vätgastankstation skulle kunna etableras på platsen. Det har också undersökts hur tillgången på el skulle kunna ökas vid behov.

För vätgastankstationen ses ett terräng-mobilt alternativ som det mest optimala. Detta skulle möjliggöra tankning av grävmaskinen utan att grävmaskinen behöver flytta sig. Samtidigt kan tankstationen fungera som en enhet för transport av vätgas, vilket potentiellt kan minska transportkostnaderna. Fordonen ska kunna fyllas på snabbt och vid 700 bar vilket innebär att

varje tankstation måste ha kompressor och kylare. Stationen måste också försörjas med el, antingen genom en kompatibel nätanslutning om sådan finns, om inte kan stationen använda sin egen elkälla (till exempel med en bränslecell). Slutligen måste alla enheter vara tillåtna och certifierade för användning i Danmark. Det finns redan flera mobila tankningslösningar på marknaden men det återstår att utvärdera vilken speciell lösning som är mest kompatibel med maskinspecifikationen i detta fall.

Potentiella väte- och elrelaterade säkerhetsrisker har studerats i förstudien. Att använda vätgas på en byggarbetsplats innebär nya utmaningar som måste hanteras. De risker som är förknippade med användning av vätgas skiljer sig från de med mer konventionella bränslen, vilket innebär att säkerhetsrutinerna måste anpassas. Dessutom förväntas användningen av vätgas på byggarbetsplatser skilja sig från användningen av vätgas i vägfordon och tillverkning. Det finns inga oöverstigliga hinder för användningen av vätgas på demoplatsen, men det kommer att finnas ett antal mildrande åtgärder som måste vidtas för att säkerställa säker och effektiv drift.

När det gäller elsäkerhet är laddning av elfordon generellt sett väl etablerad för fordon men inte lika mycket för entreprenadmaskiner. Det saknas fortfarande standardisering för laddning av sådana fordon men en del arbete har utförts. För batteridrivna entreprenadmaskiner som används på byggarbetsplatser kan andra krav behövas eftersom miljösituationen är svårare än för vägfordon. Till exempel: det finns mer damm, jord, vibrationer med mera att skydda sig mot. Laddningsutrustningen kanske inte är en permanent installation och tunga fordon kommer att röra sig på arbetsplatsen, vilket kan skada på laddningsstationerna om man inte är försiktig.

Simuleringar av byggarbetsplatsen utfördes med verktyget Volvo Site Simulation. Med dessa simuleringar var det möjligt att ta fram en uppskattning av mängden väte som krävs för att driva maskineriet. Totalt förväntas ett behov på 124 kg H₂/dag.

Den beräknade kostnaden för att driva demonstrationsbyggarbetsplatsen i tre månader är något mindre än 6 M€. Merparten av kostnaden beror på kapitalinvesteringar i maskiner och infrastruktur. Det finns fortfarande osäkerhet i denna uppskattning eftersom det saknas faktiska data.

Huvudslutsatsen är att en utsläppsfri demonstrationsbyggarbetsplats anses vara tekniskt genomförbar. Förstudien kunde föra samman intressenter över hela värdekedjan och har förbättrat deras ömsesidiga samarbete och förståelse för hur utsläppsfria byggarbetsplatser kan uppnås.

Men innan en verklig demonstrationsbyggarbetsplats kan realiseras finns det fortfarande arbete kvar att göra och mer detaljerade studier krävs. Någon exakt tidsplan för demon kunde inte tas fram vid denna tidpunkt eftersom det inte var möjligt att uppskatta när erforderlig maskinpark skulle vara tillgänglig.

1 Bakgrund

Köpenhamns stad har satt upp ett mål att minska utsläppen från tunga fordon (inklusive mobila maskiner som inte är avsedda för vägar (NRMM)) med 30-40 % till 2025. Potentialen för minskningar uppskattas till cirka 75 000 ton CO₂ per år. Detta ska uppnås bland annat genom att 1) gå över till utsläppsfria maskiner i maskinparker, 2) använda anbudsprocesser på bygg- och anläggningsprojekt med krav på att fossil- och/eller utsläppsfria arbetsmaskiner och 3) engagera andra köpare/städer och marknadsaktörer i hela värdekedjan för att få samarbete, kunskapsdelning och demonstrationer och därmed få övergången till utsläppsfria maskiner att gå snabbare.

Denna förstudie, som ska visa vägen till ett demonstrationsprojekt i Köpenhamns Nordhavn, är en del av punkt 3 ovan för att visa hur övergången kan ske i samarbeten mellan proaktiva partners.

I omställningen till mer hållbara och utsläppsfria energisystem är demonstrationsprojekt viktiga för att visa att det går att realisera teknikskiften. Genom dessa kan goda exempel synliggöras och förändringsarbetet påskyndas. Genom tillgång till en framtida fysisk test- och demoplats där tekniker visas upp, kan beslutsprocesser underlättas för olika aktörer såsom utvecklare och köpare av maskiner.

Denna förstudie syftar till att undersöka och skapa förutsättningar för en framtida demoplats för en byggarbetsplats med utsläppsfria arbetsmaskiner i Köpenhamn 2024/2025. Läget i den danska huvudstaden skapar synlighet och ger genomslag. En demo av denna storlek kommer att vara unik i sitt slag och kräver gediget förarbete och planering.

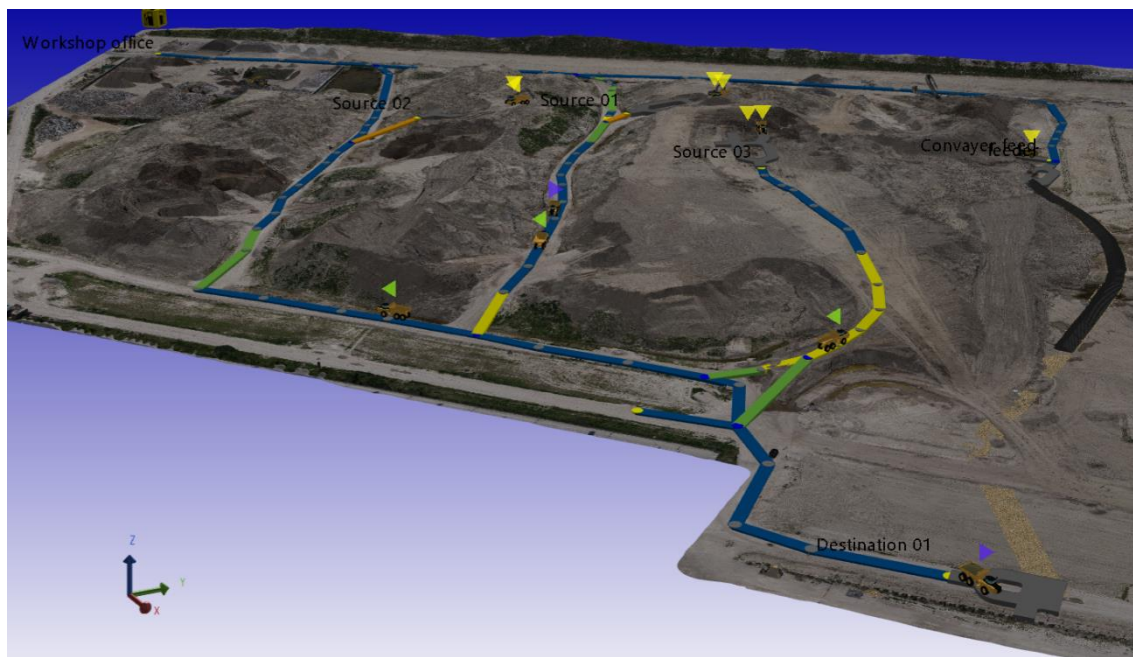
Målet med demonstrationen att validera energikonceptet vilket även inkluderar maskinkoncept, affärsidé, driftskostnad, produktivitet, tillförlitlighet, hållbarhet, stationär och mobil tankning, högeffekts- och högspänningsladdning, kraftförsörjning till platsen, bränslelogistik, säkerhet och tilltro.

Planen är att visa detta med en grävmaskin och två dumprar: grävmaskinen drivs av vätgas, och dumprar kan drivas antingen av batterier eller en vätgasbränslecell.

Tillvägagångssättet är ett system-i-systemperspektiv där – 1) Plats (geografi), 2) Maskiner (dumprar, grävmaskiner, lastbilar), 3) Mobil och stationär bränsleförsörjning (försörjning av el och vätgas ses som både separata system och som ett integrerat system), 4) Säkerhetsstudier ingår också i studien.

2 Beskrivning av platsen

Projektgruppen har besökt och analyserat den fysiska platsen. En simulering av platsen med de relevanta maskinerna har genomförts med goda resultat (se avsnittet "Simulering" i rapporten för mer information).



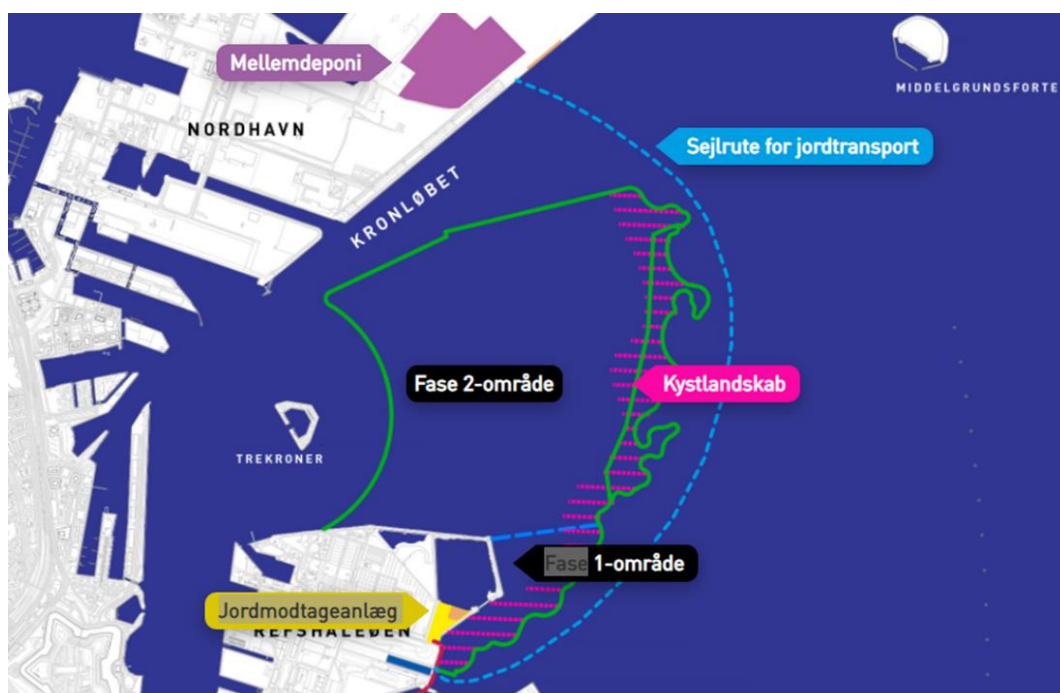
Figur 1: Digital modell av arbetsplatsen

2.1 Val av demoplats

Demoplatsen är en deponi för förorenad jord i Köpenhamns Nordhavn. Deponin öppnades sommaren 2012 och under de följande åren togs 12,5 miljoner ton förorenad jord emot – vilket gjorde att deponin var fylld redan 2020. Detta är 5 år innan förväntat på grund av den enorma aktiviteten med byggnation av bostäder och kommersiella fastigheter, tunnelbanelinjer och annat. För att kunna fortsätta deponera förorenad jord i Köpenhamn har den kommunala operatören KMC fått tillstånd att fylla på ytterligare 4,2 miljoner ton förorenad jord till en höjd upp till 14 meter över den befintliga deponin. Denna jord måste senare tas bort igen. Planen är att jorden ska skeppas ut från Nordhavn och skeppas till Lynetteholm, som när den är klar för att ta emot jord är den deponi som tar över från Nordhavn.

I Nordhavn kommer grävmaskiner att lasta jorden från den tillfälliga deponin ("Mellemddeponi" i Figur 2 nedan) på dumprar som transporterar jorden några hundra meter till den plats där någon annan (en tredje part) lastar den på ett fartyg och skeppar den till Lynetteholm ("Fase 1-område" respektive "Fase 2-område" i Figur 2 nedan).

Jordmassorna kommer att skeppas ut i två omgångar. Ca 2 miljoner ton från våren 2023 till "Fase 1-område" och ca 2 miljoner ton från våren 2025 till "Fase 2-område".



Figur 2: Planerat flöde på platsen

2.2 Förutsättningar på platsen

Platsen är väl förberedd för en demonstration och används för närvarande av maskiner som liknar de som föreslås ingå i demon, men med konventionella dieselmotorer som lever upp till EU Steg 5 kraven.

Det finns ingen el- eller vätgasinfrastruktur på plats idag. Grundläggande verkstäder finns.

Platsen som har undersökts är inte nödvändigtvis den slutliga (men någon som liknar i geografi och topografi), detta kommer att vidareutvecklas när själva demon närmar sig.

Platsen ligger väl till för besök från projektdeltagarna.

2.3 Produktion

Produktionen på platsen är hanterbar med de föreslagna maskinerna i en småskalig demonstration. För full produktion krävs stöd av andra maskiner.

2.4 Jordmassor

Arbetet med att ta bort den tillfälliga deponin beräknas starta våren 2023 och pågå till våren 2025.

En total mängd av 3-4 miljoner ton jord skall tas bort på två år, vilket motsvarar 150 000 ton per månad eller 6-8 000 ton per dag.

2.4.1 Innehåll av föroreningar

Jorden kommer i första hand från Köpenhamnsområdet, och är lätt förorenad överskottsjord från byggplatser. Jorden innehåller inte byggavfall eller andra typer av avfall, då detta i förekommande fall har sorterats ur innan jorden deponeras i Nordhavn. I Danmark är det inte tillåtet att deponera jord som innehåller avfall.

2.5 Karta



Figur 3: Bild på platsen från ovan

3 Maskintyper / koncept

Volvo AH A30

Nyttolast: 29 000 kg, 17,8 m³

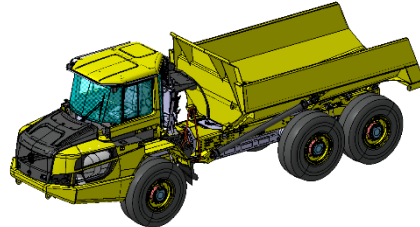
Max vikt: 52 600 kg

Max kontinuerlig effekt: 265 kW

Uthållighet: 5-10 timmar

Bränsle: Vätgas @ 700 bar

Alternativ energikälla: Batterier



EX480

Skopkapacitet: 1.55 ~ 3,3 m³

Max vikt: ~ 53 300 kg

Max kontinuerlig effekt: 283kW

Bränsle: Vätgas @ 700 bar

Maskinerna kommer att hyras av kunden.



4 Energiförsörjning H₂ / elektricitet

4.1 Regler för vätgastankning

Enligt miljömyndigheten i Köpenhamn kommer ett lager av vätgas större än 5 ton att kräva miljötillstånd, jfr. den danska Risikobekendtgørelsen (BEK nr. 372 af 2016-04-25).

Enligt Hovedstadens Beredskab (räddningstjänsten i Köpenhamn) regleras lagringssäkerhet för vätgas av den danska förordningen "Bekendtgørelse om tekniske forskrifter for gasser" (BEK nr 1444 af 2010-12-15).

I avsnitt 1.1.37(b) i denna förordning anges att gaslagring - även "regelbunden tillfällig uppställning av gaser på ytor i det fria", kräver tillstånd från Hovedstadens Beredskab om mängden överstiger 264 GOE (Gaslagringsenheter). Om tillstånd krävs är det flera punkter som ska förtydligas och tas med i en ansökan. Åtminstone följande - hämtade från en checklista från Hovedstadens Beredskab:

Beskrivningar och förklaringar

- Information om vad som söks i det specifika fallet
- Ange om det är en nyetablering eller en ändring av befintlig installation
 - Gasens egenskaper (brandfarlig, oxiderande, inert, eller annat)
 - Gasens tillstånd (komprimerad, flytande, upplöst eller kryogen)
 - Mängd gas som ska lagras
 - Behållare eller tank
 - Mobil eller stationär
 - Förvaringsmetod
 - Tryck i produktionsanläggning, om relevant
 - Standarder som används, om relevant
- Beskrivning och bedömning av skydd mot brandspridning till avgränsningar, byggnader och lager (avstånd, brandsektioner, yttervägg etc.)
- Beskrivning och bedömning av konstruktionens egenskaper (brandmotstånd, material etc.)
- Beskrivning av brandsäkerhetsinstallationer inklusive motiveringar till varför dessa valts
- Beskrivning av utrymningsvägar
- Beskrivning av insatsmöjligheter (tillträdes- och brandskyddsområden, tillträdesmöjligheter, penetrationsmöjligheter, användning av brandtekniska installationer, tillgängligt vatten för brandsläckning etc.)

Skalenliga ritningar



- Situationsplanen ska visa den fastighet på vilken den ansökta tanken ska placeras. Det skall också framgå byggnadens eller lagersektionens avstånd till närliggande gränser, väg- och gångvägar, övriga byggnader samt tillfarts- och brandräddningsområden.
- Om flera containrar/tankar finns, som var och en innehåller mindre än 264 GOE, kan det även kräva tillstånd från Hovedstadens Beredskab. Detta gäller om de placeras på mindre avstånd från varandra. "Mindre avstånd" kommer att bedömas i det specifika fallet.
- Om mängden vätgas är under gränsen 264 GOE måste tekniska föreskrifter uppfyllas, men tillstånd från Hovedstadens Beredskab krävs inte.

4.2 Utbyggnad av elektrisk anslutning

Enligt Radius, som driver elnätet som förser KMC Nordhavn med el, är det deras ansvar att strömförsörjningen (kabelstorlek, tillgänglig ström etc.) är tillräcklig och tillgodoser alla konsumenters behov av ström när som helst. Radius kan inte svara på vad strömförsörjningen till KMC Nordhavn klarar idag, men säger att när vi vet behovet av kraft för demonstrationen skall kontakta en auktoriserad elektriker. Elektrikern kommer sedan att undersöka vilken kraft som finns tillgänglig vid KMC Nordhavn idag och sedan informera Radius om eventuella nödvändiga förändringar. Från att Radius kontaktas av auktoriserad elektriker tills man kan räkna med att de har tagit hand om ärendet och anpassat kraftförsörjningen till det nya behovet kan det mycket väl ta upp till 6 månader, beroende på om det kan göras med bara ett extra elskåp eller om något mycket mer omfattande måste genomföras. Radius har inget med laddningsstationer etc att göra, det tillkommer.

4.3 Mobil vätgastankning

För leveranser av vätgas till anläggningen är det att föredra att vätgasen levereras från en produktionsanläggning så nära Köpenhamnsområdet som möjligt. Detta på grund av vätets speciella egenskaper (särskilt dess extremt låga energitäthet) vilka kräver att det lagras och transporteras i högtryckstankar, vilket gör det komplext och kostsamt att transportera över stora avstånd. För den största positiva effekten på minskningar av koldioxidutsläpp bör vätgasen vara "grönt" väte som är tillverkat av elektrolys från 100 % förnybar el. För närvarande finns det dock inte många källor till grönt väte i Köpenhamnsområdet. Flera marknadsaktörer har publicerat att de kommer att börja producera vätgas inom en snar framtid, inklusive Copenhagen Infrastructure Players (CIP), Orsted, AP Möller-Maersk, DSV Panalpina och DFD. Grön vätgasproduktion kan vara tillgänglig redan 2023, men detta ska bevakas.

För mobil användning av vätgas på väg, som passagerarfordon och lastbilar, är fasta vätgastankstationer (HRS) en bra tankningslösning eftersom dessa fordon lätt kan nå stationerna via allmänna vägar. Detta är dock inte nödvändigtvis fallet för byggarbetsplatser på grund av de mycket olika fysiska egenskaperna och hur maskinerna används. För en väl fungerande användning av en grävmaskin krävs en terränggående mobil tankningslösning eftersom maskinen måste stanna på området och inte kan köras längre sträckor på en vanlig väg.

Dessutom måste sådana anläggningsmaskiner tankas snabbt för att maximera drifttiden under arbetstid och det är inte önskvärt att använda arbetstid för transporter. Utöver tankning på plats erbjuder mobila tankstationer också möjligheten att ersätta tanktrailers, som vanligtvis används för att transportera komprimerad vätgas (typiskt stora volymer) från vätgasproduktionsanläggningen till den fasta vätgastankstationen. Att använda själva den mobila tankstationen för transport kan minska transportkostnaderna avsevärt.

Det finns flera viktiga överväganden för vätgastankningstekniken som ska användas för demonstrationsprojektet i Köpenhamn. För det första är det ett minimikrav att vätgas kan tankas vid 700 bar eftersom detta är designspecifikationen för VCE:s maskiner. 700 bar tryck kan endast uppnås med en kompressor. För att upprätthålla en hög drifttid för fordonet bör tankningslösningen också möjliggöra snabb tankning, och då krävs kylning av vätgasen. Det bör också finnas en helt mobil tankningslösning för att möjliggöra ovan nämnda tankning på plats, vilket är särskilt relevant för grävmaskinen. Dessutom måste anslutning till elnätet (om sådan finns) vara kompatibel. Om inte, måste tankaren ha en egen elkälla (t.ex. en bränslecell). Slutligen måste alla enheter vara godkända och certifierade för användning i Danmark.

Flera mobila tankningslösningar finns för närvarande på marknaden genom aktörer som Nanosun, Powertech och Wystrach (se Figur 4 nedan). Dessa lösningar är kompakta, småskaliga, har relativt låga kostnader och är fullt mobila när de är monterade på en släpvagn. De använder främst kaskadtankning, vilket innebär att man använder tryckskillnaden i tanken för att möjliggöra tankning vid maximalt 350 bar – ingen kompressor eller kylare finns. Det är just denna enklare teknik som möjliggör mer flexibilitet när det gäller en mobil tillämpning. Denna tryckbegränsning matchar dock inte specifikationerna för VCE:s maskiner. Andra leverantörer erbjuder lösningar som klarar upp till 700 bar, men kapacitet, tankningstider och krav på elanslutningar måste utvärderas. Shell erbjuder för närvarande inte marknadsfärdiga mobila tankstationer som uppfyller kriterierna för demonstrationsprojektet.

	Nanosun P145 	Wystrach Refueler 	Linde H2 FuelBox 	PowerTech Containerized 	CBM.TECH 500 Bar 
Vehicle pressure	350 bar	350 bar	350 or 700 bar	700 bar	350 bar
Max storage	425 bar (420 kg)	500 bar	200 bar	900 bar	500 bar
Daily capacity	250 kg/day	360 kg/day	300 kg/day	250 kg/day	600 kg
Compressor & chiller	No (dynamic cascade)	Yes, both	Yes, compressor	Yes	No (dynamic cascade)
Full fill (SOC)	No	Yes	No	Yes	No
Certification	Europe	Europe	Europe	North America	Europe

Figur 4: Sammanställning av tillgängliga alternativ för mobil vätgastankning.

5 Vätgassäkerhet

5.1 Introduktion

Förstudien för vätgassäkerhet omfattar följande delar:

- Grunder för vätgassäkerhet
- Vätgas på byggarbetsplatsen
- Lagkrav och standarder
- Maskinsäkerhet
- Säkerhet för tankstation
- Framtida säkerhetsanalyser
- Säkerhetshantering för vätgas

Förutsättningen är att komprimerat väte kommer att lagras på platsen och ombord på maskinerna, med 700 bar nominellt arbetstryck i tankarna ombord.

En annan förutsättning för projektet är att säkerheten för maskinerna och tankstationen hanteras av berörda tillverkare, och fokus för säkerhetsarbetet för detta projekt ligger på samspelet mellan maskinerna och tankstationen och med miljön på arbetsplatsen.

Detta avsnitt gäller endast för bränslecellsdrivna maskiner. Om helelektriska/batterimaskiner används också eller istället för, bör ytterligare undersökning av eventuella tillkommande risker med att blanda laddnings- och tankningsinfrastruktur göras.

5.2 Vätgassäkerhet

Detta avsnitt tar upp de huvudsakliga faror kopplade till väte och dess lagring som en komprimerad gas med tonvikt på de som är mest relevanta för byggarbetsplatsmiljön.

Vätgas är farligt, men det är även konventionella bränslen och energibärare som Li-ion-batterier. Konventionella bränslen transporteras som brännbara ämnen. På samma sätt är batterier för drivlinor också farliga med risk för bränder eller explosioner, såväl som utsläpp av mycket giftiga förbränningsprodukter. Det viktigaste är att förstå skillnaderna mellan farorna med väte och med konventionella bränslen och energibärare.

Vid normala förhållanden är väte en färglös (osynlig), luktfri och smaklös, icke giftig, icke cancerframkallande, icke ekotoxisk, icke frätande, lätt och mycket brandfarlig gas. Även om den inte är giftig, i tillräcklig koncentration i en dåligt ventilerad inneslutning, kan väte tränga undan syre och vara kvävande.



Eftersom väte är luktlöst, färglöst och smaklöst går det inte att upptäcka med mänskliga sinnen. Tekniska lösningar som vätgassensorer behövs för att detektera väte. Även om en högtrycksläcka kan höras under idealiska förhållanden, är det osannolikt att så är fallet på en bullrig byggarbetsplats där många personer använder hörselskydd.

Elasticiteten och utmattningsegenskaperna för många vanliga metaller försämras när de utsätts för väte vid högt tryck eller hög temperatur (över normalt atmosfärstryck eller temperaturer högre än 220°C). Detta är viktigt för konstruktörerna av vätgassystem, men påverkar inte driften av en byggarbetsplats.



På grund av den lilla storleken hos vätgasmolekylen och dess låga viskositet är bara helium svårare att innesluta. Det finns läckagevägar genom vilka väte kan läcka till skillnad från andra gasformiga bränslen eller ångor. Vätgassystem kan endast läcktestas med väte, helium eller en inert spårgas som innehåller minst 5 % väte eller helium.

Vätgas tränger igenom alla material i högre eller mindre grad, och speciellt när det finns ett starkt drivtryck, till exempel i komprimerade vätgaslager. Även om det finns en potentiell ackumulering över tid i slutna utrymmen bör uppfyllande av testkrav som specificeras i internationella lagkrav och standarder (för vägfordon) säkerställa att denna risk minskas på ett tillräckligt sätt.



Vid omgivningstemperaturer har vätgas stor lyftkraft och spridningsegenskaper som är mycket positiva på öppna platser som demoplatsen, men kan vara negativa i stängda utrymmen som underhållsverkstäder eller tankstationsbyggnader eftersom en brandfarlig blandning bildas snabbare än med konventionella bränslen.



Vätgas är mycket brandfarligt när det blandas med luft, med gränser för antändbarhet och detonation som är mycket bredare än de för konventionella bränslen. Den undre antändningsgränsen är dock i storleksordning med eller högre än konventionella bränslen. Brandfarliga vätgas/luft-blandningar antänds lätt med en minsta antändningsenergi som är lägre än för andra bränslen, medan självantändningstemperaturen eller antändningstemperaturen på heta ytor är betydligt högre än för dieselbränsle och är ungefär som metan.



Ren vätgas brinner med en mycket blek och blå låga som kan vara mycket svår att se i starkt ljus (både utomhus och inomhus). Föroreningar som damm i luften kan öka flammans synlighet, men detta kan man inte utgå från. Förbränningsprodukten är vatten. Lågor från vätgas avger mycket mindre värmestrålning än lågor från kolväten vilket minskar risken att antända intilliggande material, men det gör också att en person kan komma mycket närmare lågorna innan man känner någon varnande smärta. Flammor från vätgas är något hetare än kolvätebränslen, och lika skadliga.



Faror relaterat till förbränning av vätgas inkluderar stående lågor, jetbränder, deflagrationer och detonationer beroende på händelseförloppet efter ett utsläpp av väte, såväl som arten av själva utsläppet. Vätgas/luftblandningar kan explodera, typiskt som en deflagration i det fria efter fördröjd antändning av ett väteutsläpp. Vissa förhållanden, t.ex. delvis inneslutning och en trång inneslutning kan orsaka turbulens i den brinnande blandningen som leder till höga övertryck och detonationer kan inträffa. En händelse som börjar som en deflagration kan övergå till en allvarligare detonation om flamfronten accelererar tillräckligt genom den brinnande blandningen.



Lagring av väte som komprimerad gas ombord på fordon eller maskiner görs vanligtvis vid nominella arbetstryck på 350 eller 700 bar och högre vid tankstationen. Tillfälliga tryckökningar omedelbart efter snabb tankning kommer också att vara betydligt högre ombord på fordonet eller maskinen. Moderna tryckkärl är designade och testade för att "läcka före bristning", men en sådan stor läcka är fortfarande en betydande fara med ett plötsligt frigörande av kompressionsenergi och potential för efterföljande antändning. Under extrema förhållanden kan en bristning uppstå som orsakar ett explosivt frigörande av kompressionsenergi och fragmenteringsskador och risk för efterföljande antändning.

5.3 Vätgas på byggarbetsplatsen

Vilka är skillnaderna mellan en vätgasdrift/installation för vägfordon och en liknande drift/installation på en byggarbetsplats, och vilka av dessa gäller för demonstrationsprojektet? Jämfört med tillverkningsindustrin kan blandningen av aktörer vara extrem på en byggarbetsplats. Inom tillverkningsindustrin är nyckelpersonal anställda på ett eller få företag, produkterna och leveranskedjan är väldefinierade, avtalsförhållandena är tydliga, och relationerna är ofta långvariga. En byggarbetsplats kan däremot ha en helt annan organisation:

- Många olika intressenter och organisationer involverade: ägare/beställare, byggledning, huvudentreprenör, underentreprenör(er), materialleverantörer, maskintillverkare, bränsleleverantör (konventionell och vätgas), energiföretag (elektriska maskiner), maskinunderhåll, räddningstjänst utanför anläggningen, etc.
- Potentiellt ett nät av kontrakt eller underkontrakt, ofta med små vinstmarginaler.
- Närvaro av tunga mobila maskiner.
- Möjlig förekomst av högspänning för elektriska maskiner.
- Extrema miljöförhållanden på platsen: damm, lera, kraftiga vibrationer, buller, saltvattensstänk, etc.
- Tillfälliga verkstäder för maskinunderhåll.
- Stängt för allmänheten, men potentiellt tillgängligt för skadegörelse m.m.
- Besök av VIP-besökare är vanligt på demo-platser.

Genom att förstå dessa skillnader kan bättre beslut för att optimera säkerheten med avseende på användningen av väte på demoplatsen tas.

Hela kedjan för hantering av vätgas på platsen måste utvärderas ur ett säkerhetsperspektiv. Detta innefattar:

- Leverans
- Lagring
- Tankning eller överföring till maskiner
- Lagring ombord och användning i maskinerna

Åtgärder som kan vara lämpliga i andra tillämpningar kan vara olämpliga, otillräckliga eller kanske onödiga på en byggarbetsplats. De särskilda förhållandena på en byggarbetsplats kring interaktionen mellan organisationer, anställda, anläggningar och platsaktiviteterna måste beaktas under säkerhetsanalyserna för att lämpliga och rimliga mildrande åtgärder ska kunna tas fram.

Några exempel på problem som kommer att behöva hanteras inkluderar (ej komplett lista, en fullständig lista kommer att genereras i riskanalyser):

- Placering av tankstationen i förhållande till andra anläggningar/byggnader och verksamheter, och speciellt laddningsstationer för eldrivna maskiner.
- Placering och höjd på ventilationsledningar vid tankstationen i förhållande till andra anläggningar/byggnader, verksamhet och rådande vindar.
- Skydd av tankstationen från påkörning från tunga maskiner.
- Förhindra skadegörelse m.m.

5.4 Lagkrav och standarder

Nationella (och eventuella lokala) lagkrav som är direkt eller indirekt tillämpliga på vätgas och relaterad infrastruktur eller verksamhet måste identifieras och följas vid utvecklingen av platsen. Sådana krav är troligen generiska krav för brandfarliga eller komprimerade gaser, eller konventionella bränslen snarare än specifika för vätgas. På liknande sätt bör alla lämpliga rekommendationer i tillämpliga internationella standarder beaktas.

Som anges i avsnitt 5.3 kommer det att vara nödvändigt att identifiera vilka aktörer på platsen som är ansvariga för att implementera och följa de olika lagkraven.

En översikt över relevanta lagkrav i Danmark/Köpenhamn finns i avsnitt 4. Hovedstadens Beredskab har påpekat att vätgastankstationer aldrig får placeras inomhus och alltid måste placeras minst 5 meter från en byggnad.

De lagstadgade kraven måste uppfyllas, men utformningen bör även inkludera eventuella kompletterande åtgärder som identifierats i riskanalyser för att optimera säkerheten med avseende på specifika faror eller egenskaper hos vätgas. Slutligen bör en vätgassäkerhetsgranskning göras av den slutliga designen, layouten, installationen eller

rutinerna för att säkerställa att genom att åtgärder för att följa ett krav eller minska en viss risk inte har skapat en ny risk.

Projektet bör också ta fram en gapanalys för att förbättra tillämpligheten av befintliga lagkrav och standarder för vätgasanläggningar/installationer och ta fram eventuella rekommendationer för att förbättra regelverken som ett resultat av projektet.

18 Internationella standarder som kan innehålla vägledning är bland annat:

- ISO/TR 15916:2015: Basic considerations for the safety of hydrogen systems
- ISO 19880-serien inklusive ISO 19880-1:2020 Vätgas – Tankstationer – Del 1: Generella krav (gäller för vägfordon)

5.5 Maskinsäkerhet

Maskinerna kommer att utrustas med ett övergripande automatiskt säkerhetssystem avseende vätgas ombord. Detta kommer att kompletteras med utbildning, rutiner och regler.

Maskinerna kommer att ha en vätgasbränslecell och ett vätgastanksystem på i storleksordningen 25-35 kg. Bränslecellen kommer att ventileras när den är i drift och avger tillfälligt små mängder vätgas i avgaserna (vatten & luft). Koncentrationen blir inte högre än 2% och i genomsnitt mycket mindre. Detta bedöms inte vara en säkerhetsrisk.

Tanksystemet kommer att hantera alla säkerhetsrisker när maskinen används. Säkerheten sköts med en automatisk process för detektering av läckage och flera säkerhetsventiler för övertryck och övertemperatur. Det kommer också att finnas en flödesövervakning som stänger ventilerna på tanken om högre flöde än normalt detekteras.

Eventuellt utsläpp från säkerhetsventilerna kommer att ledas ut bakom och ovanför hytten. Eventuella utsläpp förväntas inte vara skadliga även om de antänds.

Ventilerna på tanken är normalt alltid stängda och öppnar endast när bränslecellen är i drift. De har en felsäker design och går alltid till stängt läge om något går fel. Vätgastankarna anses vara helt säkra och täta när ventilerna på tanken är stängda. Säkerheten kan ökas genom att ventilerna på tanken kopplas bort. Tankarna är täckta med en spröd yta som indikerar om de fått stötar. Alla skador på tankarna kommer att visas som ett spindelnätsmönster som liknar en sprucken bilvindruta. Om någon sådan skada uppstår skall användningen av maskinen avbrytas.

Om maskinen behöver tas in inomhus måste hänsyn tas till gas som tränger ut genom tankarna och verkstaden behöver utrustas för detta. Även läckor från rör kan behöva hanteras. Det rekommenderas att aldrig öppna tankventilerna inomhus.

Maskinen och bränslecellen kommer att vara utrustade med sensorer för vätgasläckage. Dessa ger operatören en varning och stänger omedelbart ventilerna på tanken.

Under tankning kommer maskinen att vara helt avstängd förutom tanksystemet, tankkontrollsystemet och vätgasläckagesensorerna. Maskinen skickar temperatur- och tryckdata till tankstationen och hela tankningsrutinen övervakas och kontrolleras av tankstationen. Om en läcka indikeras avbryts tankningen omedelbart.

Det kommer att finnas ett omfattande inspektionsprogram med dagliga, veckovisa och månatliga inspektioner. Programmet kommer att innehålla olika rutiner som exempelvis visuell inspektion, sniffning efter molekyler, bubbeltest med tvålvatten, trycktest och annat.

5.6 Tankstation

ISO 71.100.120 Gases for Industrial Application och ISO 43.060.40 Fuel Systems är ISO-klassificeringsnumren för standarder relaterade till vätgastankstationer som bör följas. Standarder för väteteknik faller under ISO Technical Committee 197 (ISO/TC 197) som arbetar med "standardisering inom området för system och anordningar för produktion, lagring, transport, mätning och användning av väte." ISO Technical Report ISO/TR 15196 Basic Considerations for the Safety of Hydrogen Systems ger riktlinjer för användning och lagring av väte. Den här tekniska rapporten "identifierar de grundläggande säkerhetsproblemen, farorna och riskerna och beskriver de grundläggande egenskaperna hos väte som är relevanta för säkerheten." Dessa standarder bör följas för både fasta och mobila vätgastankstationer.

5.7 Framtida säkerhetsanalyser

Lämpliga säkerhetsanalyser kommer att behövas för att identifiera faror, risker och lämpliga eller rimliga mildrande åtgärder, t.ex. HazID, och detta kommer att göra det möjligt att utveckla en riskbaserad säkerhetsstrategi. Mildrande åtgärder kan vara fysiska eller organisatoriska, t.ex. förbättra barriärerna för att förhindra skador på tankstationen av tunga maskiner, eller vätgasspecifika rutiner och utbildning för drift, tankning, underhåll och nödsituationer. De utvalda analyserna bör genomföras som gruppövningar med experter från relevanta områden, t.ex. vätgasegenskaper, platsdrift, maskiner och tankningsstationer.

En utredning kommer också att behövas för att identifiera en lämplig och säker plats för tankningsstationen på området, baserat på eventuella myndighetskrav, effektiv och säker leverans av bränsle, driften av arbetsplatsen och andra faciliteter som behövs där, eventuella planerade eller oavsiktliga utsläpp av vätgas från tankningsstationen eller maskinerna och eventuella laddningsstationer för eldrivna maskiner.

Analyserna bör genomföras så snart tillräcklig information finns tillgänglig för att säkerheten ska kunna optimeras så effektivt som möjligt. Att göra ändringar sent i design-/utvecklingsfasen är alltid dyrare än att designa in säkerhet från början. Säkerhetsanalyser bör uppdateras i takt med att designen utvecklas och förändringar görs så att säkerheten blir en integrerad och levande del av projektet.

5.8 Säkerhetsledning på platsen och vätgas

Som nämnts i avsnitt 5.3 kännetecknas byggarbetsplatser av sina unika slutprodukter eller syfte, det stora antalet inblandade enskilda organisationer och den komplexa väven av avtalsrelationer, som visas i bilden nedan. Dessa komplexa interaktioner måste beaktas när man hanterar vätgasrisker genom organisatoriska lösningar.



Figur 5: Exempel på organisationer inblandade på en typisk byggarbetsplats

Om anläggningen kommer att ha ett ledningssystem för säkerhet av någon form kommer det att behöva inkludera eventuella särskilda åtgärder som identifierats i säkerhetsanalyserna kopplade till leverans, lagring, tankning och användning av vätgas inklusive underhåll av maskinerna eller tankningsstationen på platsen. Oavsett om platsen har ett säkerhetsledningssystem eller inte, kommer följande problem och eventuella särskilda åtgärder som identifierats i säkerhetsanalyserna att behöva åtgärdas för att underlätta säker användning av vätgas på demoplatsen:

1. Organisationen på platsen och olika aktörers ansvarsområden skall vara tydligt definierade med avseende på leverans, lagring, tankning och användning av vätgas på platsen, inklusive nödsituationer.
2. Skräddarsydd utbildning för specifika roller, allt från allmän medvetenhet till detaljerad utbildning i driften av vätgassystem inklusive tankning och säkerhetsåtgärder.
3. Tillstånd att använda vätgasmaskinerna och tankningsstationen.

4. Tillstånd att arbeta med underhåll av vätgasmaskinerna och tankningsstationen.
5. Rapportering av incidenter kring vätgas.
6. Utökade underhållsrutiner, t.ex. vätgasläckagetestning eller rengöringsrutiner.
7. Rutiner för räddningsinsatser och information till den lokala brand- och räddningstjänsten.
8. Rutiner för hur man ska agera om det finns en vätgasläcka, efter en olycka (kollision, etc) som involverar maskinerna eller tankningsstationen, eller efter en brand där dessa är inblandade.

5.9 Rekommendationer

Vätgas är farligt, men det är även konventionella bränslen och energibärare. Det viktigaste är att förstå skillnaderna mellan farorna med vätgas och konventionella bränslen och energibärare på och kring en byggarbetsplats. Riskerna förknippade med användningen av vätgas på byggarbetsplatser i Skandinavien kan hanteras på ett säkert sätt. För att uppnå detta måste vätgassystem och anläggningar designas, integreras, installeras och drivas med hänsyn till användningen av komprimerad vätgas, snarare än konventionella eller liknande bränslen som CNG. På liknande sätt måste drift-, underhålls- och nödrutiner utvecklas som tar hänsyn till farorna med vätgas och minskar de risker som finns till en säker nivå. Det sista steget är att säkerställa att personalen får utbildning anpassade till deras roll och att lokala räddningstjänster informeras.

För tankningsstationen för vätgas i synnerhet, när den är godkänd för installation och drift, är det absolut nödvändigt att regelbundet underhåll utförs av utbildad personal för att säkerställa att utrustningen fungerar korrekt och säkert. Detta inkluderar täta underhållsaktiviteter (minst en gång i veckan), bestående av en visuell inspektion av insidan för att kontrollera eventuella större skador, samt allmän rengöring av det yttre. Det krävs också en 3-månaders detaljerad inspektion av all utrustning, inklusive rörledningar, filter, tryckdetektor och sändare, och att eventuella byten av utrustning genomförs vid behov. Det rekommenderas också att systemet övervakas på distans via datasystem, så att statusen kan kontrolleras regelbundet.

Det finns inga oöverstigliga hinder för användningen av vätgas på KMC:s demoplats, men det kommer att finnas ett antal mildrande åtgärder som måste vidtas för att säkerställa säker och effektiv drift. Diskussioner kommer att vara nödvändiga med olika danska myndigheter för att säkerställa att lagkraven uppfylls. Men lagkraven kan vara generiska för bränslen och brandfarliga gaser och kanske inte tar hänsyn till specifika faror och beteende hos vätgas, och skillnaderna mellan dessa faror och andra bränslen. Som ett resultat av detta kan kompletterande åtgärder som identifierats av säkerhetsanalyserna vara nödvändiga. Särskilda undantag kan behöva sökas om krav baserade på konventionella bränslen eller brandfarliga gaser visar sig påverka riskerna förknippade med dessa vätesystem negativt. Alla sådana problem skulle vara en viktig resultat från projektet. Säkerhet bör vara en integrerad och levande del av alla byggarbetsplatser, och på demoplatsen bör denna filosofi utvidgas till vätgassäkerhet.

6 Elsäkerhet

Följande punkter kommer att diskuteras i detta kapitel:

- 1) Grunderna för elsäkerhet - risker
- 2) Samverkan mellan infrastrukturen för laddning och helelektriska fordon, och byggarbetsplatsen
- 3) Lagkrav och standarder
- 4) Elsäkerhet för maskiner
- 5) Laddningsstationssäkerhet
- 6) Framtida behov av säkerhetsanalyser
- 7) Ledningssystem på byggarbetsplatsen för elladdning – utbildning, underhåll, nödberedskap etc

6.1 Grunderna för elsäkerhet - risker

Elektrisk ström är ingenting som människan har sinnen att upptäcka innan det är för sent. Elektricitet kan inte höras, ses eller luktas, men det kan kännas, men då är det för sent – en ström går då redan genom kroppen. Beroende på spänningen och strömstyrkan och den tid (och några fler parametrar) strömmen passerar genom människokroppen kommer skadorna att bli mindre eller mer allvarliga.

Alla elektriska produkter (detta kommer här att omfatta elektriska och batteridrivna maskiner) som släpps ut på marknaden måste vara säkra när de används på avsett sätt. De ska också vara säkra vid felaktig användning till viss del och ska klara fel i produkten (enkla fel) utan att orsaka skador på människor, djur och byggnader. Europeiska unionen har CE-märkningssystemet med olika direktiv som sätter krav som en garanti för att de produkter som släpps ut på den europeiska marknaden är säkra. Detta är ett system där tillverkaren och/eller den som släpper ut produkten på marknaden måste deklarera att produkten uppfyller alla erforderliga direktiv. Detta görs genom att testa och utvärdera produkten enligt standarder och vid uppfyllande av kraven i standarderna, sätta CE-märkning på produkten och utfärda en försäkran om överensstämmelse (DoC).

Att ladda elfordon är inget nytt och säkerheten kring detta idag är mycket god. Det finns många standarder som hanterar både bilens elsäkerhet men även laddningsstationens, både för AC- och DC-laddning. När det gäller laddning av terrängfordon och arbetsmaskiner är det lite nyare och arbetet med standardisering för laddning av dessa har inte kommit så långt som för vägfordon. Eldrivna bygg- eller arbetsmaskiner har använts, till exempel i gruvor, men de maskinerna är ofta direktanslutna via en kabel till elnätet i gruvan. Batteridrivna maskiner finns

också men är mer av hybridtyp där en förbränningsmotor driver maskinen och laddar batteriet så att maskinen kan köras eller utföra arbetsuppgifter under en kortare tid på batteri. Fler och fler batteridrivna maskiner är dock på väg.

Inom området för standardisering av laddning av terrängfordon och arbetsmaskiner finns det inte många standarder. Ett nytt arbete har påbörjats i den svenska tekniska kommittén TK-517 (tekniska kommittén för el- och hybridfordon), som vanligtvis arbetar med standardisering av el- och hybridfordon gällande elsäkerhetsfrågor. Men tills det arbetet är klart måste standarderna för vägfordon beaktas för arbetsmaskiner.

Elsäkerhetsriskerna som följer med laddning av elektriska (batteridrivna) arbetsmaskiner är:

- elchock
- brand
- energirisker
- ljusbågar
- explosioner

För att hantera dessa risker har standarder tagits fram som fordonstillverkaren och tillverkaren av laddningsstationer ska följa. För batteridrivna arbetsmaskiner som används på byggarbetsplatser kan andra krav behövas eftersom miljön är svårare än för vägfordon. Det är mer damm, jord, fukt, vatten, vibrationer, stötar och ibland kemikalier och oljor som måste skyddas mot.

En annan risk är att laddningsutrustningen måste installeras på arbetsplatsen, och det är inte alltid en permanent installation. Dessutom rör sig tunga fordon och maskiner runt på arbetsplatsen och de kan skada laddningsstationerna om de placeras på fel plats och den elförsörjningen till dessa laddare.

En annan risk som måste beaktas är att arbetsplatsen inte är någon permanent plats som nämns ovan. Platsen är aktiv under byggtiden eller arbetet och efter det stängs den ner och all utrustning inklusive laddningsstationer flyttas till annan plats.

6.2 Samverkan mellan infrastrukturen för laddning och helelektriska fordon, och byggarbetsplatsen

På många allmänna platser finns laddningsstationer för eldrivna vägfordon. Dessa laddningsstationer kan användas av allmänheten och är oftast tillgängliga för alla användare. På en byggarbetsplats är det annorlunda eftersom det inte är öppet för andra än de som arbetar där. Dock kan laddningsstationerna nästan ses som "offentliga" eftersom det finns personal från många olika företag som arbetar inom byggarbetsplatsen. Dessutom kommer många olika typer av arbetsmaskiner att användas och laddas vid laddningsstationerna.

Laddningsområdet ska vara väl avgränsat och skyddat från den vanliga byggarbetsplatsens "trafik" för att få en bra arbetsmiljö och elsäkerhet vid laddning av arbetsmaskinerna.

Elförsörjningen till laddarna behöver också skyddas inom byggarbetsplatsen så att inga kablar skadas av maskiner eller andra incidenter som kan inträffa på byggarbetsplatsen.

6.3 Lagkrav och standarder

Eftersom denna demoplats finns i Köpenhamn i Danmark kommer de danska reglerna för elinstallationer att gälla. Elsäkerheten för installationen kommer att regleras av danska installationskrav.

Standarder för laddningsstationen kommer att diskuteras under avsnitt 6.5 Laddningsstationssäkerhet. De standarder som avses under 6.5 kommer, om laddningsstationen är testad enligt dessa standarder och uppfyller kraven inom dessa, att säkra att lågspänningsdirektivet (LVD) uppfylls och detta är detsamma i alla EU:s medlemsländer. LVD är bara ett av direktiven som måste uppfyllas, men det är direktivet som hanterar elsäkerhet för produkter som släpps ut på den europeiska marknaden.

Mer exakta lagkrav måste följas upp med de danska myndigheterna.

6.4 Elsäkerhet för maskiner

Arbetsmaskinernas elsäkerhet ska uppfyllas av tillverkaren genom att följa lämpliga elsäkerhetsnormer som handlar om laddningssäkerhet och elsäkerhet ombord. Standardiseringen inom detta område har inte kommit så långt som för vägfordon, men standarderna för vägfordon kan användas även för arbetsmaskiner tills mer specifika standarder finns på plats. Ytterligare krav måste också hanteras eftersom arbetsmiljön där arbetsmaskinerna används i skiljer sig från vanliga vägfordon.

6.5 Laddningsstationssäkerhet

Elsäkerheten för laddningsstationer regleras i följande standarder:

Standarder som används för laddningsstation för vägfordon:

EN IEC 61851-1 Elfordon – Konduktiv laddning – Del 1: Allmänna fordringar

IEC/EN 61851-22 Elfordon – Konduktiv laddning – Del 22: Laddningsstation för växelström

IEC/EN 61851-23 Elfordon – Konduktiv laddning – Del 22: Laddningsstation för likström

Observera att standarderna ovan är för laddning av vägfordon men inga specifika standarder för laddningsstationer för arbetsmaskiner finns idag.

Dessutom måste standarder och lokala föreskrifter gällande installation av elektrisk utrustning följas för att få en god elsäkerhet.

Innan man köper och installerar laddare ska man kontrollera att dokumentationen för laddningsstationerna är i god ordning och följer reglerna i Danmark.

6.6 Framtida behov av säkerhetsanalyser

Längre fram, när standardiseringen kring laddningsstationer för arbetsmaskiner är på plats, måste krav på den typen av laddning utvärderas. Särskilda krav på arbetsmaskiner och laddningsstationer på byggarbetsplatser ska utvärderas och implementeras i standarder för den typen av utrustning och maskiner. Arbete pågår i TK-517 kommer att leda fram till standarder för arbetsmaskiner.

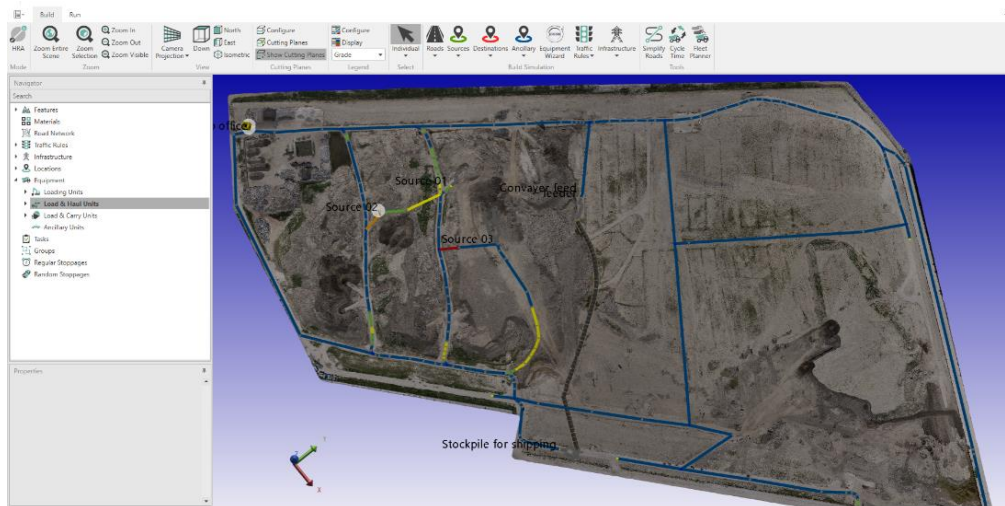
6.7 Ledningssystem på byggarbetsplatsen för elladdning – utbildning, underhåll, nödberedskap etc

Innan man installerar laddningsplatser för arbetsmaskinerna på en byggarbetsplats ska en riskanalys göras för att belysa risker och faror och vad som ska göras för att minska eller ta bort riskerna. Alla som arbetar på byggarbetsplatsen måste vara medvetna om riskerna med batteridrivna arbetsmaskiner och laddningen av dessa. Laddning ska ske på en plats där arbetsmaskinerna inte påverkas av särskilt svåra miljöförhållanden på grund av det arbete som utförs på byggarbetsplatsen. Laddningsplatsen ska också skyddas från maskinernas dagliga drift, för att skydda laddningsstationerna från påkörning av arbetsmaskiner. All personal som använder laddningsstationerna ska vara medvetna om riskerna och farorna och ha rätt utbildning för att använda de batteridrivna arbetsmaskinerna och ladda dem.

En beredskapsplan om olyckor inträffar ska finnas på plats. Den här planen kan omfatta allt från hur man flyttar bort en maskin som har gått sönder under laddningen, avbryter strömmen till laddningsstationerna till att personal skadas, brand och vad man ska göra om dessa saker inträffar.

7 Simulering

Simuleringar av byggarbetsplatsen genomfördes för att bättre förstå arbetsflödet på platsen och för att skapa en uppskattning av den vätgas och el som behövs för att driva maskinerna. Simuleringarna genomfördes med programmet Volvo Site Simulation som är utvecklat för simuleringar av byggarbetsplatser. Simuleringarna visar att för de vätgasdrivna dumpprarna förväntas en genomsnittlig bränsleförbrukning på 4 kg H₂/h per fordon. För grävmaskinen är denna siffra 7,5 kg H₂/h. Om man antar att två dumpprar och en grävmaskin arbetar 8 timmar per dag skulle det dagliga vätgasbehovet för platsen vara 124 kg H₂/dag.



Figur 6: Översikt över den simulerade arbetsplatsen

8 Kostnader

Den uppskattade kostnaden för att driva demoplatsen i tre månader är 5,7 M€ eller mer. Merparten av kostnaden är för investeringar i till exempel maskiner och tankning/laddningsutrustning. Flera av kostnadsposterna på listan är fortfarande osäkra på grund av bristande indata. De kostnader som presenteras i tabellen nedan är därför endast att betrakta som uppskattningar. För vissa poster kunde ingen uppskattning göras. Maskinerna kommer att leasas av kunden.

Tabell 1: Uppskattad kostnad för att driva demoplatsen i tre månader.

Kostnadsposter	Kostnad k€
Maskiner, 2 dumprar + 1 grävmaskin	1500
Driftkostnad för maskiner exklusive bränsle, inklusive underhåll	100
Transport av maskiner	50
Arbetskraft (ingenjörstöd på plats för maskiner)	20
Vätgas inklusive transport	50
Elkraft	10
Vätgastankstation	1500
Hyra av mobil vätgastankstation	200
Vätgaslagring på plats (ingår i tankstationen)	-
Driftkostnad för tankstationen	100
Installation av tankstationen	500
Arbetskraft (ingenjörstöd på plats för tankstationen)	-
Laddningsstation	500
Installation av laddningsstation	100
Anslutning elkraft till platsen	500
Arbetskraft (ingenjörstöd på plats för laddningsstationen)	100
Batteribuffert på plats	500
Utbildning av operatörer på plats	10
Övriga driftkostnader för demoplats CPH	-
Tillstånd för demoplats CPH	-
Säkerhetsbedömning demoplats CPH	-
Försäkringskostnad hanteras i respektive post	-
Totalkostnad för demon	5740

9 Slutsatser och fortsatt arbete

Denna förstudie har i hög grad bidragit till förståelsen av utsläppsfria byggarbetsplatser. Projektet har framgångsrikt engagerat intressenter över hela värdekedjan och visat vad som krävs av dem och hur de kan samarbeta. Slutsatsen är att en demo för en utsläppsfri byggarbetsplats är tekniskt möjlig men att det fortfarande återstår arbete innan det kan förverkligas.

Innan förverkligandet återstår fortfarande viktiga beslut att fatta och många detaljer som ska utarbetas. För närvarande är det inte möjligt att precisera när en sådan demo skulle äga rum eftersom det inte är möjligt att garantera inom vilken tidsram arbetsmaskinerna skulle kunna levereras. Fler studier och planering av demoplatsen, såsom en mer exakt plan för hur vätgastankning kan ske, kommer att göras i framtida projekt men än så länge kan ingen fullständig plan för en demoplats tas fram.