

HYDROGEN MACROSPHERES



Slutrapport

30 december, 2010

Anslag ref nr. 08-198

Lars Stenmark
Uppsala Universitet

1 PROJEKT BAKGRUND

I denna sektion ges en kortfattad beskrivning av konceptet samt en beskrivning av den potentiella samhällsnyttan. En motivering för en viss omsvängning av projektmålen ges även. Status för de två prioriterade utvecklingsområdena bondsprängningsutrustningen och komposittanken ges i sektion 2. En mer detaljerad beskrivning av konceptet och de nykonstruktioner som gjorts under året ges i sektion 3 och slutligen en kort sammanfattning i sektion 6..

1.1 KONCEPTBESKRIVNING

När, i ett framtida samhälle, dagens fossila bränslen till stor del ersatts med förnyelsebar energi kommer det att krävas effektiva möjligheter att lagra den producerade energin, speciellt inom transportsektorn och andra mobila applikationer. För stationära och mindre mobila tillämpningar är säkerligen batterier det naturliga valet, men för större mobila förbrukare såsom bilar, bussar eller båtar kommer en mer viktseffektiv lagringsform att krävas. Kemisk lagring av erforderlig energi i gasform eller flytande form är det mest effektiva.

Den metod som i huvudsak används i dag för gasdrivna fordon är att lagra gasen under högt tryck i stora cylindriska lättviktstankar. Nackdelarna med en stor trycktank är att den är skrymmande, vilket medför att den är svår att härbärgera i en personbil samt att det är betydande säkerhetsrisker vid ett tankhaveri. Dessutom måste tanken fyllas på plats i fordonet, vilket tar tid, d.v.s. samma problem som uppkommer vid laddning av eldrivna fordon. I det föreslagna konceptet lagras gasen lagras i hundratals, t.o.m. tusentals små autonoma gaskulor s.k. ”MacroSpheres”. Genom att varje liten kula har sitt egna interna kompletta gas hanteringssystem, behöver inga anslutningar göras vid användningen, utbytet av tomma Makrosfärer mot nyfyllda kan ske snabbt och enkelt, vilket gör systemet mycket användarvänligt. Vid transport kan kulorna lätt fraktas i en öppen låda till förbrukningsplatsen, snabbt överförs till konsumenttanken genom ett rörpostliknande system samtidigt tas de tomma Makrosfärerna omhand för att senare återfyllas och återanvändas.

1.2 Samhällsnyttan av projektet.

Konceptet med lagring av gas i små autonoma tankar är ett gott exempel på effekterna av ”disruptive technology”, framsteg inom ett tekniskt område kan plötsligt generera ett genombrott inom ett helt annat område, i detta fall har en systemansats inom mikrostruktur tekniken resulterat i en helt ny metod för effektiv gas lagring. Metoden, som ger en oöverträffad lagringskapacitet för vätgas (>10-15 viktsprocent) är även mycket effektiv för andra gaser, typiskt >54 viktsprocent för metan. Detta skulle i sin tur ge dagens biogasfordon mer än tre gånger körsträckan om makrosfärerna skulle användas i tanksystemet. Frånvaron av yttre högtryckskomponenter och/eller anslutningar kommer även förändra konsumenternas gas lagring och hantering i framtiden, eftersom den i många fall ogrundade rädslan högtryckslagring av gas kommer att försvinna när användaren aldrig konfronteras med några problem med det höga interna trycket i Makrosfärerna. En likartad effekt förväntas från metoden att använda ett stort antal oberoende tankar, det kommer inte vara någon risk för ett större utsläpp av t. ex. vätgas i händelse av en olycka, det ska i framtiden inte vara mer dramatiskt att köpa en viss mängd gas till båten eller gräsklipparen än någonting annat i snabbköpet eller att tanka upp dagens bil med diesel eller bensin.

Metoden att lagra gas är inte begränsad till energigas som vätgas eller metan utan är lika användbar för alla sorters gas, två exempel är syrgas distribution till behövande patienter eller för andningsluft i en smidigare form av nya dykardräkter. Metoden med många små tankar, så små, att de kan behandlas som en quasi vätska öppnar upp ett antal nya praktiska möjligheter att distribuera gas på ett sätt som vi knappast kan föreställa oss.

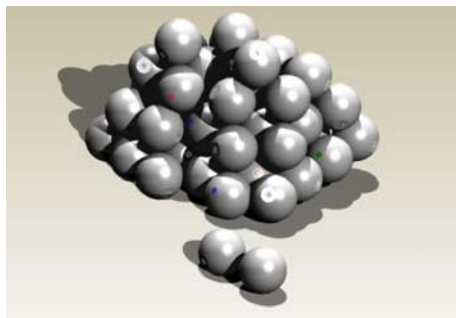
2 Prioriterade utvecklingsområden

2.1 Bondsprängningsutrustningen.

I och med det hitintills inte lyckats få till en finansiering för en andra utvecklingsfas har all kraft lagts på försöken att bygga ett konsortium, som skulle kunna driva projektet vidare. I samband det har den experimentella praktiska delen av projektet lagts åt sidan tills vidare. I stället har fokus flyttats till att förfinna konstruktionen i detalj för att inte förlora någon kunskap samt att fortsätta med försöken att finna en lämplig finansiering, dels för att upprätthålla patentportföljen, dels för en andra utvecklingsfas. Dock finns både bondsprängningsutrustningen och en annan nyutvecklad ventilnöttningsutrustning kvar i befintligt skick, redo att finputsas och användas när den praktiska delen av projektet tas upp igen.

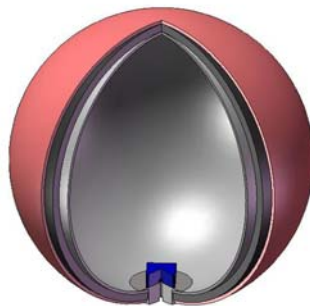
2.2 Komposittanken.

Konceptet bygger på att gasen lagras i ett stort antal små sfäriska tankar, de s. k. Makrosfärerna. Tankarnas utsida är helt slät (frånsett ett eller två små in/utloppshål) med en stötskyddande yttre slityta. Slitytan har en yttre färgmärkning som indikerar åldern på densamma och som används för att sortera ut tankar, som närmar sig sin livslängds slut. Figur 2.2-1 nedan är en illustration av ett antal Makrosfärer.



Figur 2.2-1 En lös ansamling av autonoma Makrosfärer

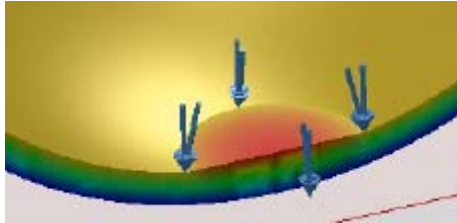
Det finns numera ett flertal grunddesigner som alla har sina för- och nackdelar. Dels grundutförandet med sin treskiktskonstruktion, en diffusionstät liner innerst, följt av ett relativt tjockt kompositskikt som står för den mekaniska styrkan och det stötämpande yttre slitskiktet, se figur 2.2-2 nedan



Figur 2.2-2 Komposittanken i genomskärning, diametern är 40-50 mm.

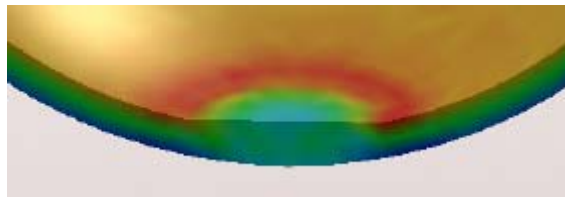
Simuleringar av spänningar och deformationer av en trycksatt tank visar dock lite oväntat att det är inte problemfritt att montera gashanteringschipet på en plan yta på insidan något som har varit grundtanken från början. Vad som händer när det inre trycket ökar i tanken är att den strävar

efter att bli sfärisk på insidan så alla avikelser från den sfäriska formen medför spänningskoncentrationer med deformation som följd. I figur 2.2-3 nedan visas hur den plana monteringsytan buktar utåt, maximal utbuktning (rött) är ett antal mikrometrar vilket skulle vara förödande för ventilerna i mikrochipet som har en slaglängd av samma storleksordning.



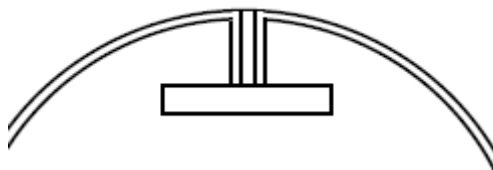
Figur 2.2-3 deformation av monteringsytan

I figur 2.2-4 visas spänningskoncentrationen runt monteringsytan, det visar sig att trots att det är en förstärkning av vägg tjockleken blir maximala spänningen ca 50% högre vid övergången från sfärisk till plan yta. Samma fenomen uppträder om man gör en inre fals som förstärkning där de två halvorna som tanken består av fogas samman, vilket följaktligen bör undvikas. En jämn vägg tjocklek över hela ytan är det man bör sikta på.



Figur 2.2-4 Spänningskoncentration runt monteringsytan

Slutsatsen är att tankens insida ska vara sfärisk så långt möjligt, en lösning kan vara att montera gashanteringschipet på ett litet "torn" med så liten diameter som det bara går, se figur 2.2-5 nedan.



Figur 2.2-5 Tornmonterat chip

Om Makrosfärerna skall användas för lagring av biogas, så ställs det lite annorlunda krav på komposittanken. Ur många synpunkter så är det lämpligt att fylla tankarna med metan nedkyld till flytande form för att sedan använda dem i rumstemperatur, på så sätt undviks ett onödigt kompressionssteg. När Makrosfärerna tas ur metantanken och återgår till rumstemperatur så stiger det inre trycket till ca. 600-620 bar, något som de små tankarna klarar enkelt. Detta tryck skulle ge 3-4 ggr körsträckan för ett fordon jämfört med om det har dagens 200 bar gastankar. Ett problemområde dock är att Makrosfärerna måste klara temperaturer ned till ca -140-150°C, även om trycket på det flytande metanet är lågt 10-20 bar. Detta gör att antagligen att en mer elastiska fiber än höghållfasta kolfiber behöver användas i kompositen. Kevlar kan vara en god kandidat,

skalet behöver antagligen vara något tjockare eftersom hållfastheten inte är lika hög som för kolfibern, men eftersom biogasen i en nyfylld tank väger ca 14 g så betyder inte så mycket om tanken blir några gram tyngre från ca 10 till 12g., lagringkapaciteten blir i alla händelser över 50 wt%.

För prototyputvecklingen och en första demonstration är det förmodligen bäst att använda solida aluminiumtankar, eftersom aluminium har den trevliga egenskapen att hållfastheten går upp vid låga temperaturer även vid de temperaturer som det är frågan om. Om Makrosfärerna ska användas i offentliga miljöer så måste de förmodligen förses med ett sprängskyddshölje av kevlar eller morsvarande.

En mycket intressant ny grupp av material som bör undersökas närmare är LCP (liquid crystal polymer) termoplast. Materialet har unika mekaniska och fysiska egenskaper som antagligen gör det till ett mycket lämpligt material helt eller delvis för tillverkningen av Makrosfärerna, otroligt låg genomsläpplighet för vätgas, ingen fuktupptagning, hög mekanisk hållfasthet, mycket lämpligt att formspruta, arbetstemperaturer över 280 °C, osv. Det verkar dessutom att det är möjligt att yttreligare förbättra egenskaperna genom att förstärka materialet med både kolfiber eller kevlar.

3 DETALJKONSTRUKTION AV MIKROCHIPET

Avancerad mikrosystem teknik är basen i konceptet. Tillsammans med små komposittankar skapas en möjlighet att på ett effektivt sätt lagra gas i stora mängder på ett säkert sätt.

Mikrosystemtekniken ger en möjlighet att masstillverka extremt små men ingenjörsmässigt avancerade system till ett potentiellt lågt pris. Tekniken har sitt ursprung i tillverkningen av mikroelektronik, där mycket stora mängder chip tillverkas parallellt på samma kiselbricka, var och en med strukturer i mikrometerskala eller t.o.m. mindre. Mikrosystem används redan idag i stor skala t ex. i krockkuddar och antisladdsystem i bilar, i klockor, i kameror eller som sensorer vid medicinsk diagnostik

Konstruktionen av mikrochipet som styr gasflödet in och ut ur bollen och som är själva kärnan i systemet har mognat betydligt under det gångna året. Vid en första ansats till detaljkonstruktion visade det sig att det antagligen var omöjligt att möta kraven på trycktålighet, lågt öppningstryck och täthet med den enkla design, som de beskrivs i den första patentansökan. En rejäl omkonstruktion har gjorts och ett antal ventiler som samarbetar har lagts till. Dessa säkerställer inte bara basfunktionen utan ger dessutom några nya mycket användbara funktioner, dels kan man på sekundärtrycket avläsa hur mycket gas som finns kvar i tanken, dels kan man justera det önskade sekundärtrycket varje gång som bollarna återfylls. Konstruktionen har genererat två nya patentansökningar som har lämnats in.

3.1 System design

.Ett övergripande blockdiagram för gashanteringschipet presenteras i figure 2.1-1 nedan. Det kompletta systemet består av fem subsystem, passiva gaskanaler oräknade, mellan det kombinerande in och utloppshållet för gasen och själva gas tanken. Systemet består av tre parallell kopplade grenar, en inloppsgren som tillåter att gaskan strömma in till tanken, en säkerhetsgren som ger en direkt förbindelse mellan in och utlopp i händelse av farligt högt inre tryck i tanken samt en utloppsgren som styr gas flödet ut från tanken. Varje gren presenteras kortfattat i det följande. Den nuvarande designen ryms i en fem brickors-stack med en bottenyta av 4x4mm. I stacken används de tre centrala brickorna för de aktiva (rörliga) komponenterna, dessa skyddas av en top och en botten bricka som förutom skyddet bidrar med gaskanalerna och interfacet mot tanken.

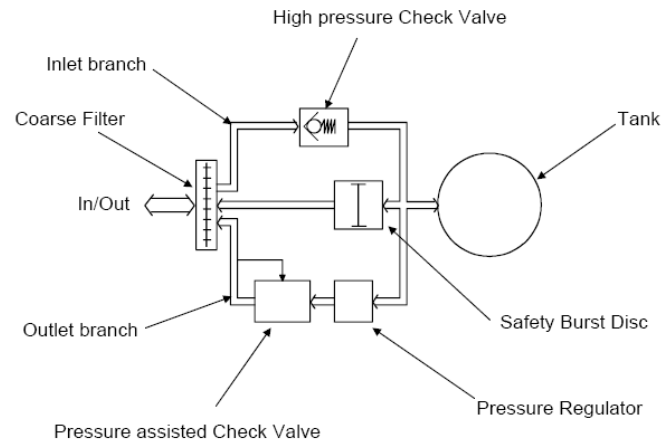
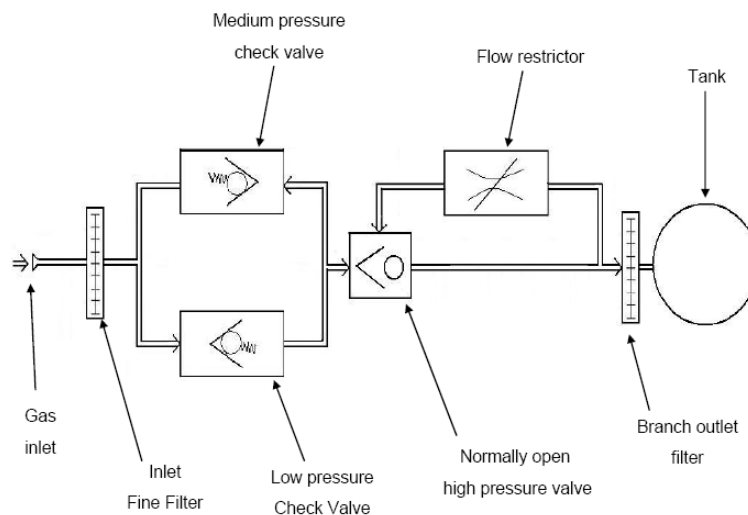


Fig. 2.1-1, System Block schema

System har komplementerats med två prestandahöjande detaljkonstruktioner under det gångna året, som undanröjer några potentiella problemområden, den första rör en högtrycksbackventil och den andra ett system för programmerbart referenstryck för tryckregulatorn i första hand. Bägge detaljkonstruktionerna beskrivs kortfattat i det följande.

3.1 Högtrycksbackventil

En backventil är en anordning som tillåter flöde av en gas eller vätska i en riktning men stoppar flödet i motsatt riktning. Ventilen reagerar på tryckskillnaden mellan uppströms och nedströms. En motsägelse som blir mer och mer uppenbar alltefter som tryckskillnaden ökar är kombinationen av lågt öppningstryck, dvs ventilen ska öppna för ett liten positiv tryckskillnad samtidigt som den ska motstå en hög negativ tryckskillnad i stängt läge. Det betyder att om ett tryckkänsligt membran används för att öppna ventilen så måste samma membran motstå det höga backtrycket som uppstår när ventilen är stängd och om backtrycket är upp till 1000 bar så ställs det så höga krav på dynamiskt område att en enkel lösning är praktiskt taget omöjlig, en ny detaljlösning presenteras kortfattat i det följande. I figur 2.2-1 ges ett blockdiagram för den optimerade backventilen.



Figur 2.2-1 Block diagram förbättrad backventil

Högtrycksbackventilen består i praktiken av tre ventiler, två filter och en flödesbegränsande struktur som samarbetar i ett integrerat paket mellan gasinloppshålet och tankvolymen. Den

tryckstyrda normalt öppna högtrycksventilen stänger om kontrolltrycket är högre än fyllnadstrycket uppströms ventilen. Kontrolltrycket byggs långsamt upp mot tanktrycket genom en flödesbegränsande struktur ansluten till utgångsfiltret. Problemet för denna typ av ventil är att den är öppen tills tryckskillnaden mellan kontrolltrycket och trycket i matningskanalen blir stor nog för att stänga ventilen, så snart tryckskillnaden minskar öppnar ventilen igen. För att förhindra "backstreaming" läggs en konventionell normalt stängd backventil i serie före högtrycksventilen, denna ventil öppnar för mindre än 10 bar.

Påfyllnadsproceduren pågår tills trycket i makrosfären har nått sitt maximala lagringstryck (>500 bar) då avbryts processen genom att ingångstrycket avlägsnas eller sänks snabbt. Då stänger lågtrycksventilen snabbt och den tredje mellantryckventilen öppnar (öppningstryck 40-50 bar) för att dränera matningskanalen mellan hög och lågtrycksventilerna innan lågtrycksmembranet skadas. Det bör noteras att mellantrycksventilen måste stänga innan trycket i tanken skjunker under det värde där den tryckstyrda högtrycksventilen öppnar igen.

Två filter används i systemet, ett inloppsfilter och ett utloppsfilter, filtrens funktion är inte bara att skydda de partikel känsliga mikrostrukturerna utan att även tjäntgöra som flödesbegränsare för att skydda systemet från skadliga tryckvågor vid anslutning till eller avlägsnande från påfyllnadsstationen. Ingångsfiltret skyddar i huvudsak lågtrycksventilen från att öppna för snabbt och slå hårt i botten när den går från stängd till fullt öppen filtret skyddar även högtrycksventilen i någon mån genom att begränsa fyllnadshastigheten så att kontrolltrycket kan följa tryckökningen i matningskanalen. Utgångsfiltret måste ha betydligt större flödeskapacitet än ingångsfiltret för att försäkra att trycken i alla matningskanaler följer tanktrycket med så lite eftersläpning som möjligt. Utgångsfiltret hjälper även högtrycksventilen att stänga genom att skapa ett tryckfall i matningskanalen när fyllnadstrycket snabbt minskar.

3.2 Säkerhets filosofi

Det är mycket viktigt att makrosfärerna upplevs som enkla och säkra att hantera, för att säkerställa att inga stora utsläpp av gas kan ske okontrollerat, även i händelse av en olycka införs ett antal säkerhetsbefräjande åtgärder, dessa är från makro till mikro;

1. Genom att lagra den erforderliga gasmängden i många små oberoende tankar förhindras ett större utsläpp även om antal makrosfärer förstörs vid t. ex. en olycka.
2. Varje Makrosfär har ett komposithölje som är så konstruerat att vid mekanisk överbelastning så delaminerar kompositen med läckning som följd. Denna konstruktionfiness används redan i större tankar som används inom räddningstjänsten.
3. Filter/flödesbegränsare i varje Makrosfär gör att även om dom stimuleras till maximalt gasutsläpp, så tar det minst 30min-1timme att tömma tankarna.
4. Varje mikrochip innehåller ett passivt trycktkänsligt membran som brister med tanktömning som följd om man av någon orsak försöker överladda Makrosfärerna.

3.3 Programmerbart referens tryck

På systemnivå så består utloppsgrenen av två komponenter, en tryckregulator och en tryckstyrd normalt stängd ventil. Tryckregulatorn är normalt öppen och stänger när sekundärtrycket (trycket ut från regulatorn) överskrider ett förutbestämt värde, som styrs av referensstrycket. Så fort sekundärtrycket skjunker under gränsvärdet så öppnar regulatorn igen. Den andra anordningen är en normalt stängd ventil som kräver att trycket "downstream" är förhöjt över ett visst gränsvärde (som även det styrs av referensstrycket) för att börja öppna, så snart gas kan passera ventilen så ökar sekundärtrycket vilket ger en lavin effekt. Ventilen stänger först när sekundärtrycket understiger gränsvärdet. Ett block schema som även inkluderar det programmerbara referensstrycket visas i figur 2.4-1 nedan.

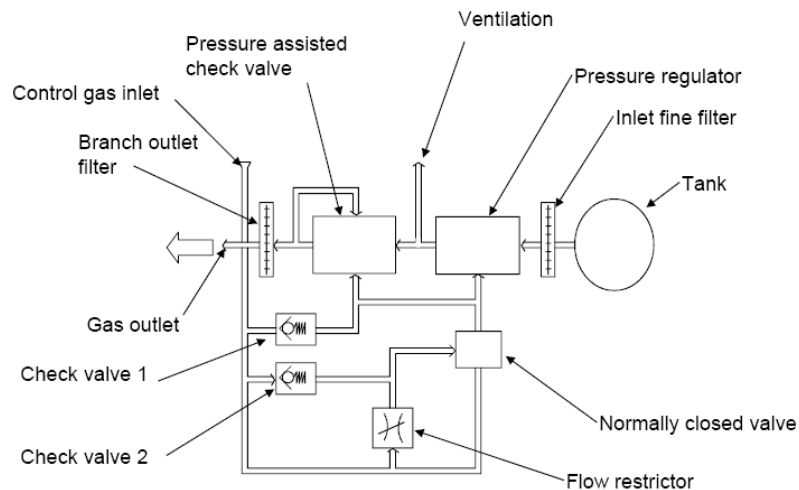


Figure 2.4-1 Detailed level block diagram

Det bör påpekas att från mikromekanisk synvinkel är det mycket bättre med ett distribuerat system dvs. Ett system med många enkla subsystem som samarbetar istället för ett komplext system med höga prestanda krav.

Systemet är tänkt att fungera på följande sätt. Om man stratar med läget att Makrosfärerna är fyllda men temporärt lagrade i en öpen container. Den tryckstyrda ventilen är stängd eftersom Makrosfärerna befinner sig i normalt atmosfärstryck. Tryckregulatorn är också stängd eftersom dess sekundärtryck har nått sitt gränsvärde. Alla andra ventiler är också stängda. Eftersom det sannolikt är ett visst läckage genom tryckregulatorn, låt vara litet men ändå, så kommer sekundärtrycket att sakta men säkert bygga upp sig, eftersom den tryckstyrda ventilen är stängd med kanske än betydligt mindre läckning. För att förhindra att sekundärtrycket bygger upp sig till en för tryckregulatorns membran destruktiv nivå så ventileras kanalen mellan de två anordningarna genom en separat kanal till ingångsgrenens mellantrycksventil. När Makrosfärerna sedan flyttas via ett rörpostliknande system till en konsumenttank så öppnas den tryckstyrda ventilen eftersom omgivningstrycket är förhöjt och gas börjar strömma ut från alla Makrosfärerna i konsumenttanken. För att förhindra att ett massivt utsläpp skulle ske om det är något fel i konsumenttanken är flödes hastigheten begränsad till kanske en faktor två över den förmodade konsumtionstakten. När trycket i konsumenttanken når sitt bruksvärde så stängs alla tryckregulatorerna i Makrosfärerna, tills gasen börjar konsumeras.

När Makrosfärerna är tomma och skall återfyllas flyttas de tillbaka till en högtryckstank och när trycket i denna höjs så börjar gas strömma in i varje Makrosfär genom högtrycksbackventilen men samtidigt öppnar den tryckstyrda ventilen i utloppsgrenen och nu kan inte förut nämnda referenskanalen ventileras genom inloppsgrenen, en ny procedur behövs för att skydda den trycktäta referens volymen. Proceduren är följande först öppnar backventil 1 vid ca 30 bar, då fylls referensvolymen med ungefär samma tryck som fyllnadstrycket. När fyllningen är klar och fyllnads trycket snabbt faller stänger backventil 1 och skulle bli förstörd inom några få minuter tillsammans med de andra membranerna i utloppsgrenen, men nu är den normalt stängda ventilen öppen så referenstrycket följer det fallande fyllnadstrycket. Vid en given låg nivå (det nya referenstrycket) stoppar det fallande fyllningstrycket upp för en tidsperiod tills den normalt stängda ventilen stänger igen, ventilen stänger därför att kontrolltrycket långsamt skjunker genom att gas läcker ut genom flödesbegränsaren. Backventil 2 är nödvändig när det externa trycket stiger snabbt under fyllningsproceduren, då skall det inte vara någon onödig fördröjning i öppnandet av den normalt stängda ventilen.

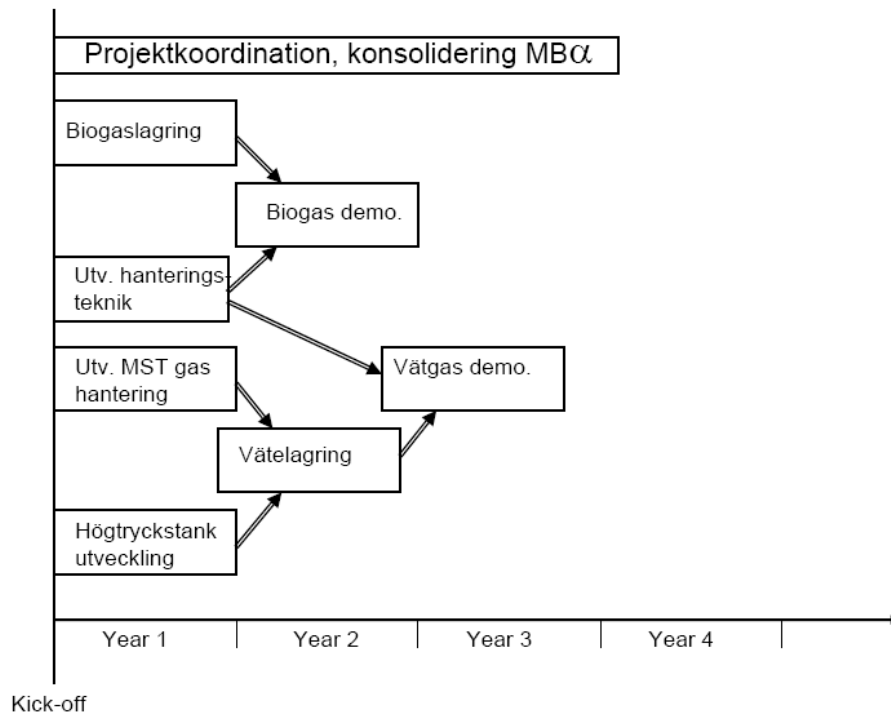
4 FINANSIÄRER/PARTNERS FÖR PROTOTYPTILLVERKNING

Eftersom konceptet med Makrosfärer endast är finansierat i en första ideverifieringsfas och inte som en del av ett löpande forskningsprogram har stor möda lagts ned på att försöka säkra att en fortsättning med en prototypfas kan följa relativt omgående efter det att den första fasen är avslutad, naturligtvis under förutsättning att resultaten från verifieringsfasen är lovande. Ett större antal tänkbara finansiärer/partners har kontaktats under de senaste åren. En översikt kan ges om så önskas, dock bör den av naturliga skäl inte läggas ut på nätet.

5 PROJEKTPLAN FAS 2

5.1 Övergripande projektplan

Svårigheterna att få tillstånd en andra utvecklingsfas av konceptet har grovt underskattats eftersom ett genomförande skulle ge ett substansfullt bidrag till det varaktiga och utsläppsbefriande samhälle som allmänheten efterfrågar. Argument som ”för tidigt ute, om 5 år kanske”, ”för bra för att vara sant” eller ”vi har redan satsat för mycket på etanolspåret så något nytt är inte att tänka på” har resulterat i att en mer utstuderad projektplan med uttalade delmål och en integrerad överlevnadsfilosofi syns vara den ända framkomliga vägen. Projektet delas upp i ett antal delprojekt som i ett första skede får ”leva sitt eget liv” det vill säga söka sin egen finansiering och potentiella användare eller slutkunder. I ett senare skede länkas delprojekten eller delar av desamma samman mot det övergripande målet att ersätta fossila bränslen med gas lagrad i Makrosfärer i många stora applikationer, bilar och andra fordon såsom bussar, truckar, båtar, osv. I figur 5.1-1 nedan ges ett blockdiagram för en sådan uppdelning.



Figur 5.1-1 Roadmap fas 2

I planen finns 7 delmål/projekt förutom projektledning från och konsolidering av Månbas Alpha AB, som innehar IP rättigheterna. Delprojekten är följande;

- Biogaslagring
- Hanteringsteknik
- Biogas demonstration
- Gashanteringssystem
- Högtryckstankar
- Vätgaslagring
- Vätgas demonstration

6 SAMMANFATTNING

Sammanfattningsvis vill undertecknad först och främst tacka ÅF forskningssiftelse för bidraget som denna slutrapport har resulterat i. Tyvärr bifinner sig projektet i den berömda dödsdalen mellan ideverifiering och kommersiella fasen. Det har varit otroligt värdefullt att få ett finansiellt stöd i denna fas. Problemet med projektet är inte den tekniska genomförbarheten eller det samhälliga värdet av effektiv gaslagring inte bara för energigas, såsom vätgas eller biogas, utan alla sorters gas, utan att det steg i utvecklingen som ett genomförande av projektet skulle medföra är för stort för att få myndigheternas förståelse eller acceptans. Därav slutsatsen att en mindre ambitiös projektplan med flera delmål som är enklare att uppnå är en mycket bättre strategi för att långsiktigt nå målet, effektiv energitransport i det hållbara samhället.

Trosa 30 december 2010

Lars Stenmark