



Education in Hydrogen Technologies Area

VÄTGASFORDON MED FÖRBRÄNNINGSMOTORER



**Co-funded by
the European Union**

Project is supported
within the Erasmus+ programme
2021-1-CZ01-KA220-VET-000028073

Introduktion	4
1 Historia	3
2 Vätgas	6
3 Tankning	11
3.1 Tankning vid din egen bostad	12
3.2 Bensin och Diesel	13
4 Fyrtaktsprincipen i en ottomotor och dieselmotor	15
4.1 Ottomotorn	16
4.1.1 Takt 1. Inloppstakten	16
4.1.2 Takt 2. Kompressionstakt	16
4.1.3 Takt 3. Arbetstakten	16
4.1.4 Takt 4. Utloppstakten	17
4.2 Dieselmotorns fyrtaktsprincip	17
4.3 Dieselmotorn	17
4.3.1 Takt 1. Inloppstakten	17
4.3.2 Takt 2. Kompressionstakten	17
4.3.3 Takt 3. Arbetstakten	18
4.3.4 Takt 4 Utloppstakten	18
5 Hur fungerar vätgas i en förbränningsmotor?	18
5.1 Konvertering av en förbränningsmotor till vätgasdrift	19
5.1.1 Steg 1	19
5.1.2 Steg 2	20
5.1.3 Steg 3	21
5.2 Två olika sätt att förse motorn med vätgas	21
5.2.1 Steg 4	22
6 Forskningsfasen	24
6.1.1 Vätgas Port Fuel Injection, PFI	24
6.1.2 Kompressionständning med homogen laddning, HCCI	25
6.1.3 Spark-gnited port bränsleinsprutning	25
6.1.4 Pilotbränsletändning med vätgasinsprutning i port	26
6.1.5 Förbränning av vätgas med direktinsprutning	26

6.1.6	Tändning med glödstift.....	27
6.1.7	Gnisttändning med tändstift	28
6.1.8	Dubbelbränslemotor med högtrycksdirektinsprutning och kompressionständning	28
6.2	För- och nackdelar med de olika meto	30
6.2.1	Injektorns roll.....	30
6.3	Tre olika injektionstyper	31
6.3.1	Elektrohydrauliskt aktiverad (NTSEL)	31
6.3.2	Solenoidaktiverad (Westport)	31
6.3.3	Piezo-aktiverad (Westport)	31
7	Sammanfattning.....	32
7.1	Fördelarna med att konvertera befintliga motorer	32
7.2	Varför vätgas i en förbränningsmotor	32
8	Referenser	34
9	Bildreferenser.....	36
10	Förkortningar.....	37

Finansieras av Europeiska unionen. De synpunkter och åsikter som uttrycks är endast upphovsmannens [upphovsmännens] och utgör inte Europeiska unionens eller Europeiska genomförandeorganet för utbildning och kulturs (EACEA) officiella ståndpunkt. Varken Europeiska unionen eller EACEA tar något ansvar för dessa.

INTRODUKTION

Den pågående debatten om energi har uppstått på grund av den miljöförstöring som tydligt kan kopplas till användningen av kända fossila bränslen. Det har tvingat oss att söka efter nya energikällor.

Alla fossila bränslen såsom olja och naturgas som kommer upp ur marken innehåller kol, som vid förbränning blir till koldioxid. Allt som innehåller kol som vi sedan förbränner på olika sätt leder till att vi inte minskar koldioxidutsläppen, utan i de flesta fall ökar dem.

Med en ökande befolkning globalt ökar också behovet av transportmedel för privatpersoner, kommersiella fordon, sjöfart och flyg. Detta ökar i sin tur behovet av bränsle för denna växande flotta. Med andra ord: med en större global befolkning ökar också behovet av bränsle. På senare tid har det blivit allt tydligare att vårt sätt att leva påverkar klimatet. I vissa delar av världen leder klimatförändringarna till torka och stora skogsbränder, medan andra delar drabbas av enorma skyfall som leder till översvämningar.

Forskning pågår på flera håll i världen och ny teknik för alla dessa transportmedel står högst upp på agendan. Alternativa bränslen har undersökts. Vissa används redan medan andra befinner sig fortfarande mer eller mindre på projektstadiet. Elektrifiering av olika typer av fordon är något vi ser mer och mer, dessa fordon är fortfarande relativt dyra och kanske ännu inte tillgängliga för hela allmänheten. Räckvidden för dessa fordon är också fortfarande inte riktigt som för traditionella bensin- och dieselfordon. Utöver det sker inte alltid elproduktion på ett fullt miljövänligt sätt. Andra bränslen som kan nämnas är biobränslen, som är restprodukter från vårt hushållsavfall och jordbruk. Alkohol eller etanol är ett bränsle som funnits länge som komplement till bensindrivna bilar. Rapsolja är också ett alternativ till fossila bränslen. Inget av dessa alternativa bränslen ökar koldioxidutsläppen utan håller dem på en neutral nivå. De är en del av det naturliga kretsloppet.

Det har forskats om vätgas under olika perioder i vår världshistoria. En relevant fråga är varför forskningen tycks ha gått framåt vid vissa tidpunkter för att sedan sakta in för att senare ta fart igen. Vätgasfordon som drivs med så kallade bränsleceller börjar dyka upp i vissa delar av världen, dock inte lika vanligt som personbilar i Sverige. I kollektivtrafiken, t.ex. busstrafiken, ser man dem dyka upp lite här och var. Än idag kan man inte gå in och köpa en bil eller lastbil med en förbränningsmotor som drivs med vätgas, men vissa tillverkare är nära ett färdigt fordon.

1 HISTORIA

I det här kapitlet beskrivs vätgasens historia kortfattat, från 1700-talet fram till idag. Du får lära dig om några tidiga uppfinningar av vätgasförbränningsmotorer och idéer som fortfarande är relevanta för vätgasutvecklingen idag.

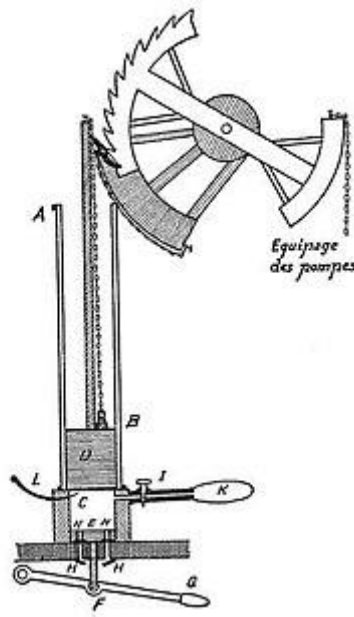
NYCKELORD: BIL, VÄTGASENS HISTORIA, RIVAZ.

INSTUDERINGSFRÅGOR

1. Vem var mannen som var först med en fungerande förbränningsmotor?
2. Vad orsakade den snabba förändringen av bränsleanvändningen i Leningrad 1941?
3. På vilket sätt var 1966 ett framgångsrikt år när det gäller utvecklingen av vätgas?

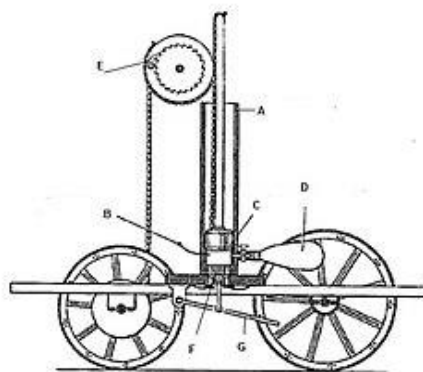
Vi vet att det redan år 1700 gjordes försök att uppfinna självgående vagnar, utan att använda en häst som transportmedel. Fransmannen Cugnot konstruerade en vagn som drevs av en ångmaskin och vars syfte var att bära en kanon för armén. Denna självgående vagn fick namnet automobil från det grekiska ordet autos som betyder själv och det latinska ordet mobilis som betyder rörlig. Tyvärr slutade allt väldigt abrupt. Cugnots vagn körde in i en vägg och totalförstördes.

När man läser historia om motorer märker man att Nicolaus Otto var uppfinnaren av, förmodligen, den första motorn med en inre förbränningskammare. Dieselmotorn uppfanns av Rudolf Diesel, som också namngav bränslet. Allt detta skedde någon gång i mitten av 1800-talet, tyvärr är det svårt att vara exakt på grund av när uppfinningen patenterades. Otto var först med den moderna förbränningskammarmotorn 1876, men redan innan dess hade Etienne Lenoir framgångsrikt uppfunnit en förbränningskammarmotor för kommersiellt bruk omkring 1860. Med allt detta i åtanke var en gentleman vid namn Francois Isaac de Rivaz till och med före Étienne, Rudolf och Otto. Han föddes i Frankrike 1752 och flyttade senare till Schweiz där han blev uppfinnare och politiker. I början av 1800-talet hade Francois en primitiv motor klar.



Första versionen av de Rivaz motor (Bild 1)

Lite senare hade han också en hästlös vagn, där han satte in ytterligare en av sina motorer, som påstods vara världens första förbränningskammarmotor för att driva en bil. Och omkring 1809 reste han runt Genèvejön.

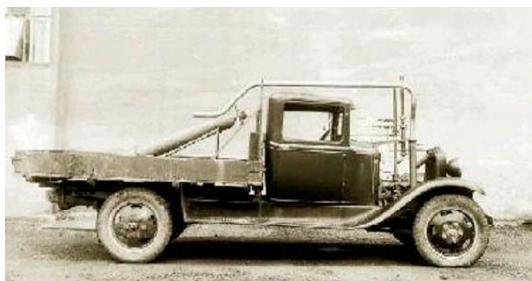


En av Rivaz tidiga vagnar (Bild 2)

Men Francois var förmodligen för tidig för sin tid, eftersom få trodde på honom och hävdade att hans uppfinning aldrig skulle kunna konkurrera med ångmaskinerna. Men det bränsle Francois använde var inte diesel eller bensin - han använde vätgas.

Vi förflyttar oss ett halvt sekel framåt, till 1860, och en annan uppfinnare. En fransman vid namn Etienne Lenoir utvecklade den trehjuliga Hippomobilen. Lenoirs Hippomobil drevs av en encylindrig tvåtaktsmotor. Vätgasen framställdes genom elektrolys av vatten, och gasen matades till motorn.

Nästa vätgasbil i raden uppfanns i Norge 1933 när det norska kraftbolaget Norsk Hydro byggde om en liten lastbil. Lastbilen var utrustad med en ammoniakreformer som producerade vätgas som sedan matades till förbränningskammarmotorn.



Norges första vätgasomvandlade lastbil (Bild 3)

1941, under andra världskriget, hade den tyska nazistarmén omringat Leningrad, vilket ledde till att bensinen till militärfordonen långsamt började ta slut. Bristen på bensin tvingade fram "nya" uppfinningar. Rysslands Boris Shelishch konverterade därför 200 GAZ-AA-lastbilar till att drivas med vätgas. Det visade sig att de brann renare och gick längre än de som hade drivits med bensin. Av någon anledning försvann alla detaljerade dokument om vätgas som bränslealternativ efter andra världskriget och de är fortfarande försvunna.

1959 Harry Karl Ihrig modifierade en Allis-Chalmers jordbrukstraktor för att skapa det första bränslecellsfordonet i historien. Bränsleceller kommer inte att beskrivas här, bara påpeka att det fanns en kontinuerligt parallell utveckling i båda dessa vägar för alternativ till fossila bränslen så tidigt i historien.¹



Harry Karls Ihring bränslecellstraktor (Bild 4)

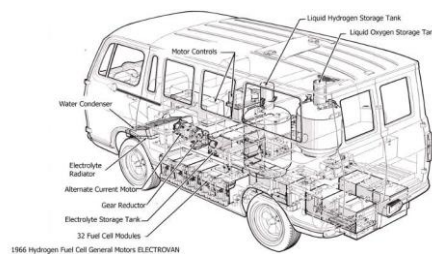
¹(National Museum of American History, n.d.)

1966 var ett framgångsrikt år för vätgas både när det gäller förbränningskammarmotorer och vätgas för bränslecellsfordon. Roger Billings gav vätgasen nytt liv när han konverterade en vanlig Ford modell A-lastbil till att köras på vätgas i dens normala bensinmotor.²



Roger Billings vätgaskonverterade modell A, 1966 (Bild 5)

Samma år skapade General Motors bränslecells bilen GM Electrovan som av många anses vara den första registrerade bränslecells bilen för personbilar.



GM:s första bränslecellsbus från 1966 (Bild 6)

Sedan dess har utvecklingen av både vätgasdrivna förbränningsmotorer och bränslecellsfordon gått framåt.

2 VÄTGAS

²Roger Billings (Billings, 2013)

Detta kapitel beskriver kortfattat vätgas och en av tillverkningsprocesserna utan miljöpåverkan samt presenterar olika typer av vätgasdrivna fordon. Produktionen av vätgas förklaras ytterligare i en annan modul.

NYCKELORD: ELEKTROBRÄNSLE, FARTYG, PRODUKTION, VIKTFÖRHÅLLANDE, VÄTGAS, VÄTGASDRIVNA.

INSTUDERINGSFRÅGOR

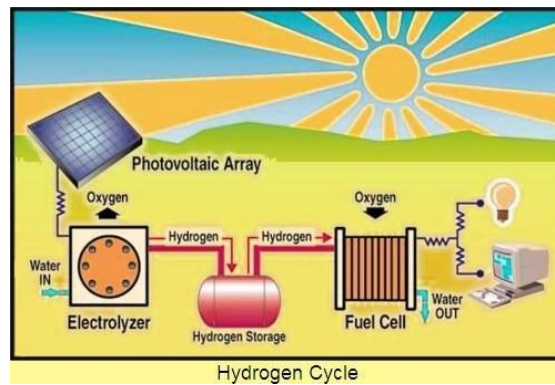
1. Vad är viktförhållandet mellan luft och vätgas?
2. Ge ett exempel på varifrån vätgas kan raffineras?
3. Vilken typ av fordon/fartyg skulle kunna vara möjliga för användning av vätgas?

Vätgas är det lättaste av alla grundämnen i universum. Det är cirka 14 gånger lättare än luft. Det innebär att vätgasen sprider sig mycket snabbt vid en läcka. Vätgas består av två väteatomer och har därför den kemiska beteckningen H_2 . Det är färglöst, luktfritt, giftfritt men mycket brandfarligt. Väte är det vanligaste kemiska ämnet i universum och utgör ca 75% av all normal materia. Nere på jorden är det betydligt mer sällsynt, endast 0,15% av massan. Väte finns bundet i olika former av materia, till exempel i vatten, H_2O .

Framställning av vätgas

Den första dokumenterade gången vätgas framställdes på konstgjord väg var i början av 1500-talet med syror som reagerade på olika metaller. Idag finns det ett antal sätt att framställa vätgas, de olika sätten påverkar miljön mer eller mindre och det arbetas ständigt med att försöka framställa det så grönt som möjligt. Det vi vet idag som är bäst för miljön är om man kan använda solenergi eller vindkraftverk, men även dessa metoder har en viss negativ effekt på miljön.³

³Kumar (2016)



Vätgas producerad med solenergi (Bild 7)

Här kommer bara ett av sätten att förklaras på ett mycket förenklat sätt. Man kan säga att det görs på ett sådant sätt att man separerar syret och vätet från varandra. Detta görs genom att ladda vattnet med elektricitet. Saltvatten är en fördel att använda eftersom det leder elektricitet bättre. Det kan också kallas att klyva vattnet. Det som då händer är att syre och vätgas kommer ut, men separerade från varandra. I detta kapitel kommer vi inte att fördjupa oss alltför mycket i hur själva produktionen går till utöver det faktum att det faktiskt går att göra hemma, om man har rätt utrustning. Samtidigt måste man komma ihåg att det är en mycket brandfarlig gas man har att göra med.⁴

Olika typer av fordon

Utvecklingen har kommit långt och idag används vätgas i alla möjliga typer av fordon. De flesta av de stora fordonstillverkarna runt om i världen testar sina bilar där de har utvecklat motorer som går på enbart vätgas, eller snarare modifierat dem för att gå på enbart vätgas. Det ska tilläggas att utvecklingen går så snabbt att det är svårt att vara helt uppdaterad i ämnet. Det som skrivs här idag kan vara gammalt imorgon. Bussar har framgångsrikt drivits med vätgas med traditionella förbränningsmotorer i olika delar av världen.

⁴(Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2019)



En buss som drivs av vätgas med en konventionell motor, Keyou är företaget bakom den (Bild 8)

Ett av problemen är att den inte är helt utsläppsfri, trots att koloxidhalterna, CO, och koldioxidhalterna, CO₂, nästan är obefintliga kämpar man med att få ner kväveoxidhalten, NO_x, på olika sätt, till en acceptabel nivå. I en förbränningsprocess används luft och kvävet i luften omvandlas sedan till kväveoxid. Det innebär att dessa fordon inte uppfyller kraven för att klassificeras som ett fordon med nollutsläpp. Däremot fortsätter forskningen att lyckas med även detta. Vi kommer att återkomma med en förklaring till detta senare. Även inom den andra sektorn tunga fordon forskas det på att använda vätgas som bränsle till de redan befintliga förbränningsmotorerna. Långdistanshandlare som har varit helt beroende av fossila bränslen behöver snart inte vara det.

Redan idag kan man i teorin köra helt fossilfritt och bara använda vätgas som bränsle. Motorerna har visat sig fungera minst lika bra på vätgas som på diesel. Motoreffekt, vridmoment och bränsleeffektivitet är lika bra som tidigare. Vissa utvecklingsföretag inom bränsleinsprutningsområdet hävdar till och med att deras produkt ger högre siffror på både effekt och vridmoment. Dessutom slipper man helt de problem som elbilsägare har med laddstationer och den tid det tar att ladda, eftersom tid är dyrbar i denna transportsektor.

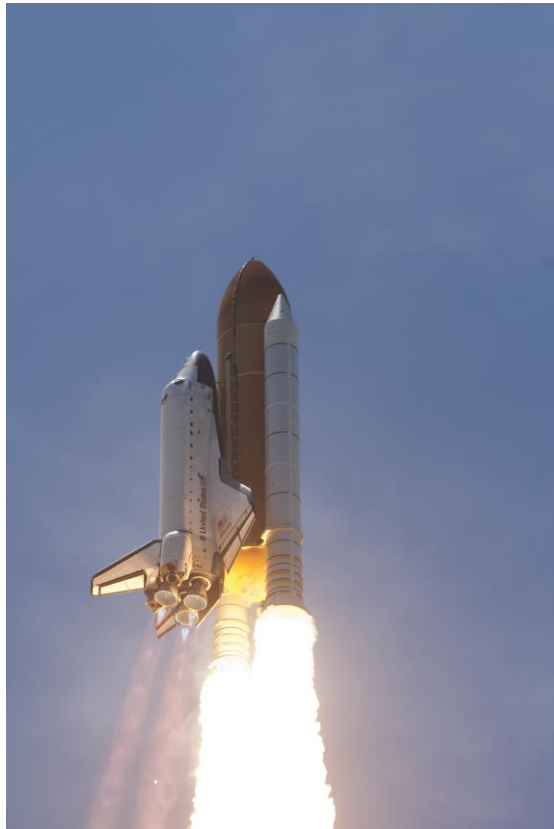
Inom sjöfarten fortskriden samma utveckling. Dessutom kommer man här att nå ett ännu större miljömål eftersom det inte finns några restriktioner på det bränsle som används. Det finns heller ingen rening av det som kommer ut och flera rederier testar redan idag vätgas.

Flyget utvecklar också alternativa framdrivningskällor för flygplan, och ett alternativ är vätgas. Man har nyligen gjort lyckade försök att flyga med vätgas, det var i detta fall med en blandning av ett annat bränsle som kallas electrofuel. Elektrobränsle är ett samlingsnamn för kolhaltiga bränslen som produceras med elektricitet som huvudsaklig energikälla. Kolatomerna i bränslet kommer från koldioxid som samlats in från luften, havet eller från bränslegaser från kraftverk, man kan kalla det en form av koldioxidåtervinning.



Olika typer av flygfarkoster testas (Bild 9)

Rymdfärjorna har också använt vätgas men då i flytande form. Vätgasen användes tillsammans med syre, också i flytande form. Tankarna var 15 våningar höga och rymde 530.000 liter flytande syre och 1,5 miljoner liter flytande vätgas. Dessa förgasas i en förbränningskammare och ger raketen framdrivning. All denna mängd bränsle förbrukades på 8 minuter och 20 sekunder.⁵



En rymdfärja lastad med väte och syre (Bild 10)

Kort sagt kan man konstatera att bränslet vätgas definitivt kan användas i mer eller mindre alla typer av fordon och farkoster. Det verkar dock som om utvecklingen inte riktigt har tagit fart inom

⁵(KSC, n.d.)

personbilssektorn, åtminstone inte fram till idag. Det finns dock prototyper som dyker upp här och var från olika tillverkare runt om i världen.

3 TANKNING

I följande kapitel får du veta mer om riskerna med att tanka vätgas. Du får också veta mer om fördelarna jämfört med laddning av elfordon och framtiden för vätgasbränsle och vätgastankning.

NYCKELORD: BENSIN, KONTRA, POTENTIELLA, RISKER, TANKNING, VÄTGAS.

INSTUDERINGSFRÅGOR

1. Varför är det en fördel att tanka vätgas jämfört med att ladda ett elfordon?
2. Varför är vätgasen trycksatt till så höga värden?
3. Vad kan vara en säkerhetsrisk vid vätgastankning?

Tankning idag (maj 2022), kan ske på fem platser i Sverige och i Europa finns det totalt ca 230 stationer där tankning av vätgas kan ske. Tyskland ligger i topp med sina 101 stationer, följt av Frankrike med 41 stationer. Storbritannien har 19 stationer, Schweiz 12 och Nederländerna 11. Bristen på tankstationer kan bara antas för närvarande hämma utvecklingen för att gå över till vätgas, men utvecklingen pågår framåt här också.⁶



Det är tydligt att det behövs många fler bensinstationer som tillhandahåller vätgas för att utvecklingen ska gå i rätt takt (bild 11).

⁶(Autovista SE, n.d.)

Den stora fördelen med att tanka vätgas jämfört med att ladda en elbil är tidsmässigt. Det tar inte längre tid än att tanka en bensin- eller dieselbil, d.v.s. ca 2-5 minuter beroende på tankens storlek. Att ladda en elbil hemma tar ca 8-12 timmar. På en laddstation med en s.k. snabbladdare med högre spänning kan man korta ner det till ca 20 minuter. Då nås däremot inte full laddning på batterierna, bara ca 80%.

Tankningen av vätgas sker från en trycktank vid stationen in i bilen, där den också trycksätts. Trycket i en lastbilstank är 350 bar. I en bil är det 700 bar. Gasen trycksätts för att rymma mer men som tidigare nämnts sker det en ständig utveckling vilket innebär att dessa siffror redan kan ha ändrats.



Påfyllningsmunstycket är mycket likt det som används för andra fordonsgasar (bild 12).

Riskbedömningen att en olycka skulle kunna inträffa vid tankning kommer att presenteras i en annan modul, "Laddstationer", som koncentrerar sig på just detta. På grund av det höga trycket i tankarna finns det en potentiell risk för läckage, eftersom gasen är många gånger lättare än luft. Trycket kommer att öka och eftersom tankning vanligtvis sker utomhus ökar det snabbt och blandas med luften. Om den däremot fastnar under ett tak och någon form av termisk antändning sker, är risken stor för en snabb brand. Det är därför av stor vikt att det finns sensorer som kan ge en tidig varning om gasläckage och att de lokaler där läckage kan uppstå är utrustade så att ventilationsanordningar snabbt kan aktiveras.

3.1 TANKNING VID DIN EGEN BOSTAD

Att tanka i sin egen bostad kan vara möjligt. Den frågan handlar egentligen om vad våra beslutsfattare kommer på, men det kommer säkert att vara genomförbart. Vi kan redan ladda vår egen elbil, liksom andras. Med rätt utrustning, som solceller eller vindkraft på taket, kan du göra din egen miljövänliga vätgas. Den behöver "bara" komprimeras för att kunna använda den i ett fordon.



Här är en tankstation för hemmabruk utvecklad av Honda, som även förser hushållet med el via en bränslecell

(Bild 13)

3.2 BENSIN OCH DIESEL

I snart 150 år har vi mer eller mindre förlitat oss på bensin och diesel för att driva våra fordon och farkoster på vägar, i vatten och i luften. Det fanns faktiskt andra alternativ för över hundra år sedan som förmodligen var nära att lyckas. Elektricitet låg till exempel långt framme. Alla möjliga olika typer av elfordon fanns för över 100 år sedan. Hastighetsrekord på över 200 km/h med elbilar sattes på höghastighetsbanorna i början av förra seklet i Amerika. Ångdrivna fordon var också ett alternativ, inte bara tåg utan även personbilar. Vad var det då som gjorde att bensin och diesel var de som vann spelet? Det finns inte några svar på dessa frågor. En annan relevant fråga är: hur skulle miljön ha sett ut idag om man hade hittat andra alternativ då?

Hade vi haft den globala temperaturökning som vi har idag om vi hade satsat på något annat istället för diesel och bensin? Faktum är att när bilen och förbränningsmotorn gjorde sitt intåg i början av förra seklet så ansågs det vara en bra miljöinvestering. De stora städerna runt om i världen hade stora problem med alla hästar inne i städerna som drog vagnar med både varor och människor. Ett stort problem var att hästarna också var tvungna att uppfylla sina naturliga behov och naturligtvis gjordes detta överallt mitt i staden.

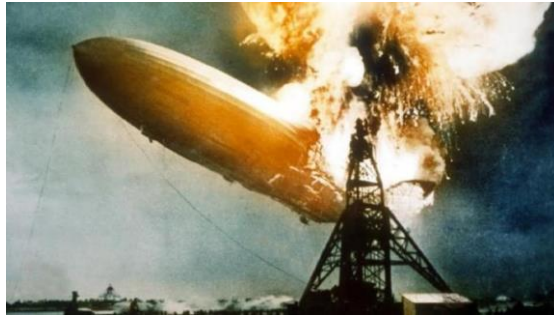


Så här såg städerna ut i början av förra seklet, lukten måste ha varit påtaglig (bild 14).

Hästar arbetade hela tiden, även när de inte användes, medan bilar kunde stängas av när de inte användes och inte förbrukade bränsle eller släppte ut avgaser.

Vätgas hade vid den tiden inte många användningsområden och den användes inte längre som bränsle för vanliga vägfordon. Forskningsarbete pågick dock inom området. Det man kom på istället var att man kunde använda den lätta gasen för att få andra farkoster att flyga, Zeppelinaren. Dessa var faktiskt avsedda för helium och hade använts för att flyga över Atlanten. Ferdinand Adolf Heinrich Von Zeppelin, född i Tyskland i början av 1800-talet, var mannen bakom dessa farkoster. Eftersom Amerika på den tiden var världsledande inom heliumproduktion men samtidigt inte tillät export, fylldes farkosten istället med vätgas. Tyvärr blir vätgas mycket brandfarligt tillsammans med luft eller syre. År 1937 under en flygning med Zeppelin Hindenburg i Amerika fattade luftskeppet plötsligt eld när den landade. Man tror att den träffades av blixten men det är än idag oklart om det var detta som utlöste olyckan, eller om det rörde sig om ett sabotage. Det hela fångades på film. Farkosten gick snabbt ner mot marken och branden utvecklades mycket snabbt. 35 personer ombord och en på marken dog. Huruvida denna olycka kan ha lett till stor skepsis mot vätgas eller inte kan man bara spekulera i, men den starka katastroffilmen hade förmodligen en stor inverkan på användningen av gasen. I vilket fall som helst markerade Hindenburg-katastrofen slutet på de stora luftskeppens era, för en tid.⁷

⁷.(SO-rummet, 2022)



Det lyxiga luftskeppet Hindenburg fångat på bild när katastrofen inträffade 1937, 36 människor dödades (Bild 15)

Idag har utvecklingen inom området stora luftskepp återupptagits, men om de kommer att fyllas med vätgas eller helium är fortfarande oklart. Anledningen till det förnyade intresset är att luftskepp är mycket bättre för miljön än vanliga flygplan.

4 FYRTAKTSPRINCIPEN I EN OTTOMOTOR OCH DIESELMOTOR

I detta kapitel förklaras principerna bakom två typer av motorer: Ottomotorn och Dieselmotorn som kan användas med vätgas som bränsle. Du får också lära dig mer om fyrtaktsprincipen i samband med dessa motorer.

NYCKELORD: DIESELMOTOR, FYRTAKTSPRINCIPEN, OTTOMOTOR.

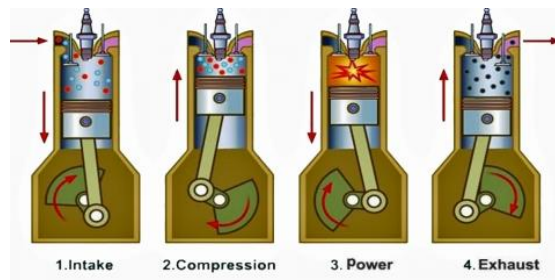
INSTUDERINGSFRÅGOR

1. Vad är det som skapar undertrycket i cylindern?
2. Vad används i en Ottomotor för att antända bränslet?
3. Vad krävs för att antända bränslet i en dieselmotor?

Här kommer en repetition av fyrtaktsmotorn, Ottomotorn samt Dieselmotorn. Allt för att göra det lättare att förstå Vätgas som bränsle i en motor med dessa principer som grund. I en fyrtaktsmotor sker hela arbetsprocessen i fyra takter. En takt är kolvens rörelse från en dödpunkt till en annan, till exempel från övre dödpunkt till nedre dödpunkt eller tvärtom. Termen dödpunkt betyder att när kolven når sin bottenposition i cylindern, eller toppen, saktar den ner så mycket att det brukar kallas att stå still innan den vänder riktning och går i den andra riktningen, den når sin dödpunkt och i de olika takterna händer olika saker. Top dead center förkortas ibland TDC och bottom dead center förkortas BDC. Under en arbetscykel roterar vevaxeln två varv och kamaxeln ett varv. Det krävs minst

en inloppsventil och en utloppsventil för varje cylinder. Ett tändstift krävs för att antända bränsle-luftblandningen.

4.1 OTTOMOTORN



De fyra takterna i en ottomotor (Bild 16)

4.1.1 TAKT 1. INLOPPSTAKTEN

I denna takt rör sig kolven nedåt i cylindern. Inloppsventilen är öppen och luft sugas in av det undertryck som uppstår i cylindern. I inloppet, sitter en inloppsventil som släpper in bensen vid tidpunkten den öppnar och då blandar bensen sig med luften. Utloppsventilen är stängd. Om motorn är så kallad direktinsprutad sugas endast luft in och bränslet sprutas direkt in i förbränningsrummet vid den tidpunkt som anses vara optimal. Motorn kan bli överladdad med hjälp av en avgaskompressor, alltså turbo, eller mekanisk kompressor som drivs av någon form av rem eller kedja. Då pressas blandningen in med hjälp av det övertryck som skapas av den.

4.1.2 TAKT 2. KOMPRESSIONSTAKT

Kolven befinner sig nu i den nedre dödpunkten och är vänd uppåt. Inloppsventilen stängs och utloppsventilen förblir stängd. Med denna hastighet komprimeras bränsle-luftblandningen. När bränsle-luftblandningen komprimeras ökar effekten på motorn och förbränningen blir mer effektiv. Precis innan kolven når sitt övre dödläge antänds bränsle-luftblandningen av en gnista från tändstiftet.

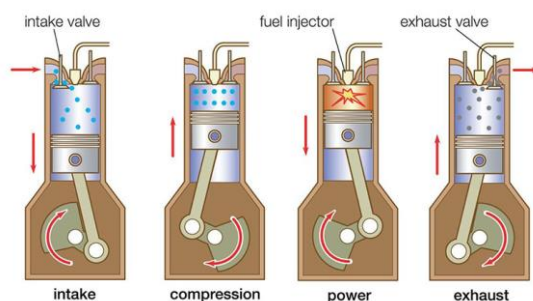
4.1.3 TAKT 3. ARBETSTAKTEN

Vid denna hastighet har bränsle-luftblandningen antänts och den expanderar med hög hastighet. Kolven trycks då nedåt med en mycket stor kraft. Inloppsventilen är stängd, utloppsventilen är också stängd. Denna takt är det enda som skapar kraft av alla de fyra takterna.

4.1.4 TAKT 4. UTLOPPSTAKTEN

I denna takt rör sig kolven upp i cylindern. Utloppsventilen är öppen, vilket gör att avgaserna, som tidigare bestod av bränsle och luft, kan pressas ut genom avgasporten och vidare ut genom avgasröret.

4.2 DIESELMOTORNS FYRTAKTSPRINCIP



De fyra takten i en dieselmotor (Bild 17)

Man kan säga att funktionen hos en Ottomotor och en Dieselmotor är mycket lika. Fyra takter krävs precis som i Ottomotorn. Det krävs också minst en inloppsventil och en utloppsventil för varje cylinder. Vevaxeln roterar två varv för att slutföra en arbetscykel och kamaxeln ett varv. Eftersom bränslet skiljer sig från bensen behövs inget tändstift. Dieseln antänds av den höga värmen i cylindern. Den höga värmen uppnås genom att en dieselmotor har betydligt högre kompression än en ottomotor. Kompressionen är ca 20-30 bar.

4.3 DIESELMOTORN

4.3.1 TAKT 1. INLOPPSTAKTEN

Kolven rör sig nedåt i cylindern, inloppsventilen är öppen och utloppsventilen är stängd. Det undertryck som skapas i cylindern hjälper till att dra in luft. Om motorn är överladdad med en avgaskompressor, turbo eller mekanisk kompressor som drivs av en rem eller liknande, tvingar de in luften i cylindern.

4.3.2 TAKT 2. KOMPRESSIONSTAKTEN

Kolven rör sig nu uppåt i cylindern. Inloppsventilen är stängd och utloppsventilen förblir stängd även under denna takt. Luften komprimeras nu och blir varm av det höga trycket. Precis i slutet av kompressionstakten sprutas dieseln in i den varma luften och antänds av den höga temperaturen. En dieselmotor har alltid insprutning av diesel direkt i förbränningskammaren. Insprutning sker aldrig i insugningsröret som på de flesta bensenmotorer. Vid kallstarter måste luften värmas upp. Ett

glödstift sitter inne i förbränningskammaren som värmer upp luften till den temperatur som krävs för att dieseln ska antändas.

4.3.3 TAKT 3. ARBETSTAKTEN

Den antända dieseln expanderar nu snabbt och trycker ner kolven i cylindern. Inloppsventilen är stängd, utloppsventilen är också stängd. Det är denna takt som ger kraft till drivlinan. Dieseln och luften har nu blivit avgaser.

4.3.4 TAKT 4 UTLOPPSTAKTEN

Kolven rör sig uppåt i cylindern. Inloppsventilen är stängd och utloppsventilen har öppnats. Kolven trycker nu ut avgaserna genom den öppna utloppsventilen, vidare genom avgasporten och in i avgasröret.

5 HUR FUNGERAR VÄTGAS I EN FÖRBRÄNNINGSMOTOR?

I följande kapitel får du lära dig hur man relativt enkelt kan konvertera en Otto- eller dieselmotor, steg för steg, till att drivas med vätgas. Kapitlet förklarar också hur man på olika sätt injicerar och tänder vätgasen i en konverterad motor samt potentiella risker vid feltändning.

NYCKELORD: BRÄNSLEINSPRUTNING, KONVERTERING TÄNDNING, TÄNDFÖRSTÄLLNING.

INSTUDERINGSFRÅGOR:

1. Vilket brinner snabbast: vätgas eller bensin?
2. Hur kan självantändning vara en risk för motorn?
3. Varför är platinabelagda tändstift inte ett bra val för vätgasmotorer?

Kan man bara köra en förbränningsmotor, bensin eller diesel på vätgas? - Ja, men inte utan att göra vissa förändringar. Som vi tidigare har nämnt är förbränningshastigheten mycket snabbare på vätgas än på bensin och diesel. Det är bra om du vet hur du ska hantera denna hastighet. När man kör en motor på bensin måste man ha en tidigare tändning vid höga varvtal så att allt bränsle hinner brinna

innan nästa takt startar. Annars riskerar man att tappa effekt, få sämre avgasvärden och högre motortemperaturer. Med vätgas i tankarna är det nästan tvärtom - du kan inte använda ett traditionellt tändsystem från en bensinförbränningsmotor. På grund av vätgasens brandfarlighet finns det risk för att antändningen sker för tidigt, vilket i så fall kan leda till spikningar, vilket också kan leda till sämre avgasvärden. En motor som fortsätter att användas på detta sätt riskerar att få stora motorskador som följd, stora skador på kolvar och ventiler, i värsta fall motorhaveri. Detta problem kan lösas genom att istället ha en senare tändning, precis innan kolven har nått sitt övre dödläge, eller nära noll. Detta fungerar bra på vätgas eftersom förbränningshastigheten är så hög. Vid låga varvtal är det däremot en fördel om man har en något högre tändning. Förenklat kan man säga att man behöver ett tändsystem som fungerar precis tvärtom mot ett tändsystem som man idag har i en bensinmotor.

5.1 KONVERTERING AV EN FÖRBRÄNNINGSMOTOR TILL VÄTGASDRIFT

Att konvertera en förbränningsmotor så att den endast drivs med vätgas istället för bensin/diesel är teoretiskt möjligt. Vi kommer att förklara två sätt här, men det finns fler.

När man måste konvertera/bygga om/modifiera är det alltid mycket mer än man hade räknat med från början. När detta skrivs finns det ännu inga färdiga konverteringssatser på marknaden, och kanske kommer det aldrig att finnas några heller.

Nästa fråga som dyker upp är vilken motortyp och årsmodell man ska konvertera till. Vi skall hålla oss till helt generella förklaringar utan att gå in på minsta detalj. Det finns idag företag som tillverkar konverteringssatser för CNG, Compressed Natural Gas, LNG, Liquefied Natural Gas och dessa gaser är mycket lika vätgas.⁸

5.1.1 STEG 1

⁸(Dimitriou and Tsujimura, 2017)

Det första man bör tänka på är bränslesystemet. Tanken måste bytas ut mot en som klarar det höga trycket på 700 bar. Att få tag på en sådan tank är en fråga i sig. För närvarande finns de inte tillgängliga i lokala biltillbehörsbutiker. Det finns företag som specialiserat sig på att utveckla och tillverka tankar för vätgas under högt tryck. Det är också möjligt att använda en flaska från en gasleverantör.⁹



Här är ett exempel på en vätgastank som tillverkas av företaget Doosan (bild 18).

5.1.2 STEG 2

Nästa steg är att byta ut alla vanliga bränsleledningar som tidigare transporterat bensin med relativt lågt tryck och ganska liten risk för läckage. Vätgasen kommer att lagras under mycket högt tryck och dessutom transporteras genom ledningar från tanken till motorn där det är stor risk för läckage vid alla anslutningar. Så med andra ord måste alla ledningar som installeras vara dimensionerade efter det höga trycket och volymen.

Detsamma gäller alla anslutningar och kopplingar. Dessa måste också uppfylla de krav som vätgas ställer för att förhindra läckage.¹⁰

⁹(Kroyan et al. 2022)

¹⁰(Dimitriou and Tsujimura, 2017)



Olika kopplingar för vätgas under högt tryck (bild 19).

5.1.3 STEG 3

Motorn skall sedan få bränslet och som tidigare nämnts kommer vi att ta upp två olika tillvägagångssätt. Det som måste göras oavsett de olika tillvägagångssätten är att ersätta den eller de tidigare insprutningsventilerna som tidigare var avsedda för bensin med insprutningsventiler som är avsedda för gas. Rapporter finns att användandet av insprutningsventiler avsedda för gas har fungerat väl.¹¹

5.2 TVÅ OLIKA SÄTT ATT FÖRSE MOTORN MED VÄTGAS

Ett av sätten att förse motorn med vätgas är via insprutningsventiler som monteras i insugningsröret på utsidan av insugningsventilen. Därmed tillåts vätgasen att blanda sig med det syre som redan finns utanför förbränningsrummet. Med hjälp av motorns undertryck sugas den sedan in i cylindern när insugningsventilen öppnas. Denna modell har en viss risk för självantändning eftersom bränslet kommer in så fort inloppsventilen öppnas. Då finns det risk att vätgasen kommer i kontakt med delar som har så hög temperatur att den antänds. Det kan vara tändstiftet som har för lågt värmevärde och ändå glöder och det kan vara rester av kol och sotavlagringar från motorn som tidigare gått på fossilt bränsle innan konverteringen. Det kan också vara oljerester som pressas upp mellan cylinderväggen och kolringarna på grund av något undermålig vevhusventilation som kan glöda i cylindern.

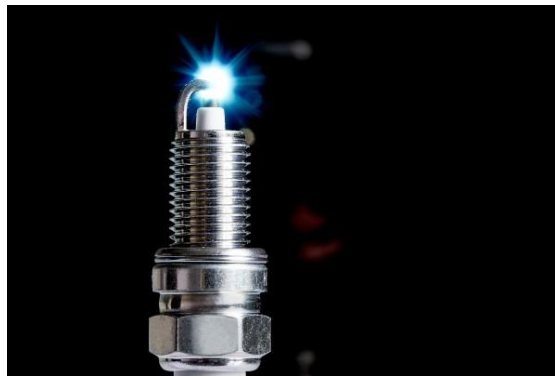
¹¹(Rorimpandey et al. 2023)

Detonation av bränsle-luftblandningen kan också uppstå på grund av kamtider med för stor överlappning och bränslet kommer då i kontakt med avgasporten.

Det andra sättet att tillföra vätgas till motorn är att använda en motor av så kallad direktinsprutningsmodell. Det innebär att insprutningsventilen måste sitta direkt i förbränningskammaren. Fördelen med denna metod är att man kan styra mer exakt när man vill att insprutningen skall ske.

5.2.1 STEG 4

På grund av vätgasens förbränningsnatur måste tändsystemet också konverteras. Beroende på vad du har som utgångspunkt måste du göra det på olika sätt.¹²

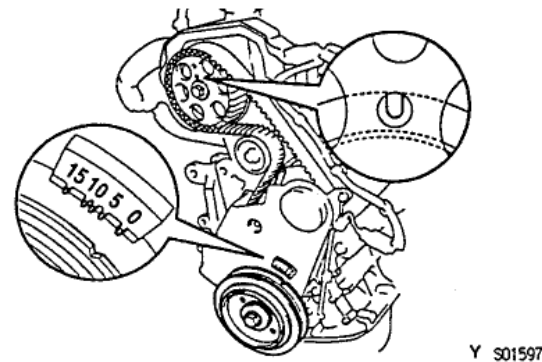


I vissa typer av vätgasmotorer används även ett konventionellt tändstift (bild 20).

Sammanfattningsvis bör att tändningen vid höga motorvarvtal med en förbränningsmotor som konverterats för vätgas ske senare än vid exempelvis traditionell bensindrift. Där sker tändningen cirka 25-35 grader före övre dödpunkt. På vätgasomvandlaren kan tändningsinställningen vara nära noll vid höga motorvarvtal eftersom flamhastigheten är så hög.

¹²(Verhelst and Wallner, 2009)

Flamhastigheten minskar emellertid med en magrare blandning, vilket till exempel inträffar vid låga varvtal som vid tomgång. Den minskar även vid låg belastning. På bensenmotorn är tändtidpunkten cirka 10 grader före övre dödunkten. På den vätgasomvandlade motorn borde det vara en lite tidigare tändtidpunkt för att bränna hela blandningen.



Tidpunkten måste förskjutas jämfört med en bensindriven motor (bild 21).

Denna modifiering skulle kunna göras genom att förändra mjukvaran i fordonets styrenhet. Förändringar sker utefter de önskade tändtider man vill komma åt i de olika förhållanden som motorn kommer att utsättas för.

På en äldre motor med en traditionell fördelare som går i takt med kamaxeln kan man istället använda en fördelare som är i motsatt riktning mot den som skall vara där. Det skulle då innebära att tändförställningen sänks vid högre varvtal och höjs vid lägre varvtal, t.ex. tomgång.

Vidare bör inte tändstift med platinabeläggning användas eftersom platina fungerar som en katalysator mellan vätgas och syre. Det uppstår då en risk för självantändning.

Vid konvertering av en vanlig förbränningsmotor som tidigare gått på fossilt kolhaltigt bränsle är det oerhört viktigt att demontera alla delar i och på motorn som kan innehålla sotpartiklar. Topplocket måste demonteras för att komma åt det sot som vanligtvis uppstår i förbränningsrummet. Ventilerna bör också tas ut så att även de kan rengöras från sot, även inne i portarna, speciellt på avgassidan, bör alla sotpartiklar avlägsnas. Uppe på kolvtopparna finns det vanligtvis sotavlagringar som måste tas bort. Arbetet är viktigt att göra för att motverka självantändning som kommer att ske om det finns kvarvarande sotpartiklar som glöder. Från vätgasen kommer det inte att finnas några sotavlagringar senare eftersom det inte innehåller något kol i det eller syre.

Idag är forskare runt om i världen i full gång med att utveckla och förfina tekniken för motorer som kan gå/går bättre på vätgas. Man arbetar med att tillföra vätgasen till motorn på olika sätt, detta kommer att förklaras närmare i följande kapitel.

NYCKELORD: INSPRUTNING, OLIKA INSPRUTNINGSSYSTEM, TÄNDNING.

INSTUDERINGSFRÅGOR:

1. Vilket system anses vara det enklaste sättet att förse motorn med vätgas?
2. Vilken av avgaserna har visat sig vara utmanande att reducera till rimliga värden?
3. Förklara varför pilotinsprutning används i en vätgasmotor.

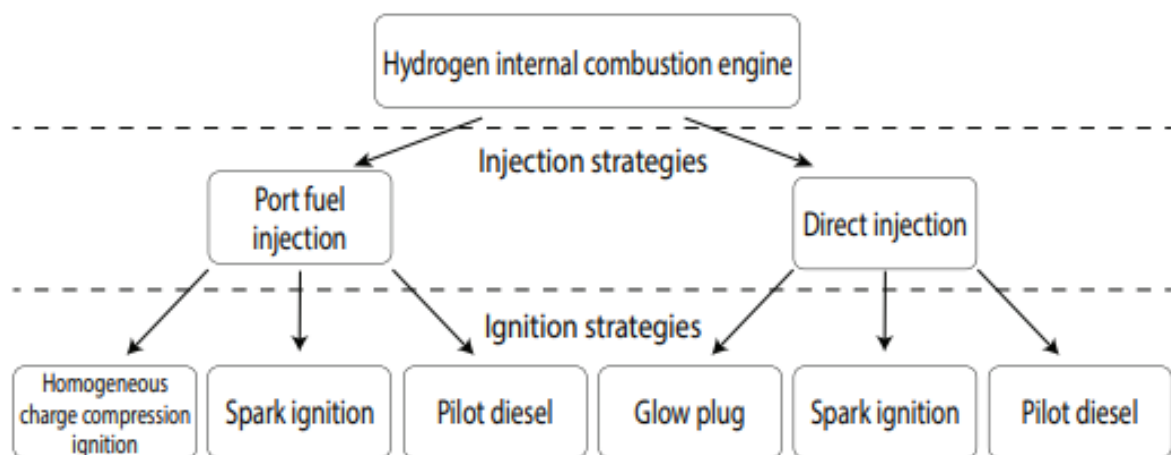
6.1.1 VÄTGAS PORT FUEL INJECTION, PFI

Insprutning i inloppsporten i inloppsröret. Vilket innebär att bränslet sprutas in utanför inloppsventilen, d.v.s. inte direkt in i förbränningskammaren. Först när inloppsventilen öppnas och kolven rör sig nedåt sugas bränslet in i cylindern på grund av det undertryck som då skapas i inloppstakten. Denna typ av insprutning är den vanligaste på ottomotorer. Att konvertera systemet till vätgasdrift är relativt enkelt. Injektorerna behöver bytas ut för att kunna hantera vätgas istället för bensin, och tändsystemet behöver modifieras. Det finns risker med detta system, nämligen för tidig självantändning eftersom bränslet kommer in tidigt. Ett annat problem med denna typ av insprutningssystem är att när bränslet sprutas in i insugningsporten trycker det ut luften

ocmotorneffekt blir då begränsad. En enkel beskrivning av olika typer av hur förbränningen kan ske, samt några olika typer av antändning av bränslet, följer nedan.¹³

6.1.2 KOMPRESSIONSTÄNDNING MED HOMOGEN LADDNING, HCCI

HCCI står för Homogenously charged compressed ignition. Utan att gå alltför djupt in i en beskrivning av detta bygger det på att insprutningen av vätgas sker på samma sätt som vi beskrev i PFI-systemet, dvs. i inloppsporten precis bredvid inloppsventilen men på utsidan av förbränningskammaren. De



De olika insprutningssätten för förbränningsmotorer (Bild 22)

använder en homogen blandning av luft och vätgas, som också är mycket mager. Denna blandning sprutas in direkt i förbränningskammaren och på grund av sin lättantändlighet antänds den av den höga kompressionen och antänder sedan den tillförda vätgasen. Det som har visat sig vara en stor fördel med detta system är att NO_x har reducerats till riktigt låga värden som en restprodukt i avgaserna. Detta dessutom med bibehållen effekt från motorn. NO_x är nära noll. Men även detta system behöver vidareutvecklas för att fungera, bland annat krävs mycket hög kompression för att nämna några.¹⁴

6.1.3 SPARK-IGNITED PORT BRÄNSLEINSPRUTNING

Detta system beskrivs på engelska som PFI SI. SI står för Spark Ignition, d.v.s. en antändning av bränslet med gnistan från ett tändstift. PFI med SI är det mest beforskade systemet när det gäller förbränningsmotorer som skall förbränna vätgas. Detta system, om man har en bränsle/luftblandning

¹³(Yip et al., 2019, s. 7)

¹⁴Ibid. s. 7

som är extremt mager, kommer att kunna komma ner till mycket låga NOx-värden i avgaserna. Under 100 ppm utan någon extern behandling.

Det är också önskvärt att minska mängden oönskade restprodukter i samband med förbränningen. Detta kan åstadkommas genom stökiometriska förhållanden.

Stökiometriska förhållanden kan förenklat beskrivas som att exakt rätt mängd av ett ämne tillsammans med exakt rätt mängd av ett annat ämne ingår i en förbränning där allt antänds. Därmed elimineras också eventuella oönskade restprodukter. Användningen av ett EGR-system reducerar NOx ytterligare. EGR står för Exhaust Gas Recirculation. Det innebär att en liten mängd avgaser återcirkuleras tillbaka in i förbränningsprocessen för att sänka förbränningstemperaturen. Då minskar NOx-värdena som bildas vid höga temperaturer.¹⁵

Dessutom används en trevägskatalysator som ytterligare sänker NOx-värdet till värden så låga som nära noll. Istället för EGR används ibland vatteninsprutning i insugningsröret eftersom det har samma effekt som EGR, då det vid vätgasförbränning endast finns vattenånga som restprodukt. Detta system har en del problem såsom oönskad för tidig antändning av blandningen, men även baktändningar som leder till effektförluster i motorn.

6.1.4 PILOTBRÄNSLETÄNDNING MED VÄTGASINSPRUTNING I PORT

Detta system bygger på att man har direktinsprutning DI och PFI. Direktinsprutningen är till för att ge en så kallad "pilotinsprutning". Detta innebär att man sprutar in en liten mängd diesel direkt in i förbränningsrummet. Dieseln antänds av kompressionsvärmens och när vätgas senare sprutas in i denna antänds den. Men även detta system har vissa nackdelar, t.ex. oönskad självantändning. NOx-halten är också för hög för att denna metod ska kunna klassas som nollutsläpp, men ytterligare studier genomförs i laboratorierna. Men trots att PFI-system är relativt enkla att konvertera till vätgasdrift, kanske de snarare ska ses som en övergång från våra vanliga fossilbrännande motorer till mer avancerade motorer som förhoppningsvis inte ligger alltför långt bort i framtiden.¹⁶

6.1.5 FÖRBRÄNNING AV VÄTGAS MED DIREKTINSPRUTNING

¹⁵ Ibid. s. 8

¹⁶ Ibid. s. 8

Att tillsätta vätgasen direkt i cylindern under själva kompressionstakten verkar vara det mest lovande konceptet så långt som vi har kommit idag med utvecklingen av de motortyper vi har. Genom att göra det på detta sätt kan man mer eller mindre förhindra oönskade självantändningar eller återantändningar som uppstår i PFI-motorsystemet. Eftersom bränsleinsprutningstiden kan regleras efter önskemål. Man kan vänta med att spruta in det så sent att båda ventilerna är stängda, vilket minimerar exponeringen av heta delar.

Problemet man har med vätgas är att det tar mycket plats när det sprutas in via insugningsröret och då också tar plats från lufttillförseln. Detta bidrar i sin tur till effektförluster som man också blir av med. Detta beror på att endast luften redan har sugits in i cylindern via inloppsventilen, och bränslet tillförs sedan in i cylindern när inloppsventilen är stängd. När man sprutar in bränslet i kompressionstakten måste man ha ett högre insprutningstryck från insprutaren. Detta på grund av det högre tryck som råder inuti en cylinder än vad som krävs från en insprutare för PFI-systemet. I ett PFI-system finns det inget övertryck alls, utan istället är det mestadels ett undertryck. Det har visat sig att detta system, som arbetar med så höga tryck, nästan kan jämföras med dieseln höga verkningsgrad. Systemet förkortas ofta med HPDI, som står för High Pressure Direct Ignition. Det finns många fördelar med detta system: det kan göras mer flexibelt i många olika situationer och det kan finjusteras på ett helt annat sätt än ett PFI-system. Du kan justera insprutningstrycket, du kan justera insprutningstidpunkten, du kan också justera insprutningsdesignen. Allt detta för att kunna optimera motorns effekt till det optimala. Det finns några olika sätt att antända bränslet och du kan läsa mer om det längre fram.¹⁷

6.1.6 TÄNDNING MED GLÖDSTIFT

Glödstift används normalt för dieselmotorer vid kallstart. De glöder då en kort stund precis innan startögonblicket för att värma upp förbränningskammaren och slocknar sedan när motorn är igång. Men när du använder dem för att arbeta i en direktinsprutad förbränningsmotor för vätgasbränsle är det annorlunda. Här måste glödstiftet vara på hela tiden och det krävs en temperatur på ungefär 900-1100 grader Celsius. Men även denna metod har både för- och nackdelar, om man t.ex. jämför med dieselmotorn så drar vätgasmotorn mer bränsle, men en fördel som man sett i studierna är att den släpper ut betydligt mindre NO_x än dieselmotorn. Ett annat problem med denna typ är att man idag

¹⁷ Ibid. s. 9

inte har några glödstift som klarar av att vara på och glöda hela tiden, men kanske kan detta problem lösas i framtiden.¹⁸

6.1.7 GNISTTÄNDNING MED TÄNDSTIFT

Förmodligen den mest undersökta modellen och även den mest väldokumenterade, direktinsprutning med tändstiftständning.

På många sätt är den mycket lik den modell som beskrevs i föregående stycke, tändning med glödstift. Det man i stort sett har gjort är att man har bytt ut glödstiftet mot ett tändstift. Det kan finnas fler tändstift än ett. En encylindrig motor, som har ändrats för att använda direktinsprutning och tändning av vätgas med ett tändstift, har visat sig ha en termisk verkningsgrad på 40% när motorn körs vid låga till medelhöga belastningar. Denna effektivitet är bara lite sämre än vad man får med en jämförbar dieselmotor.

Vad som också har noterats med den här modellen är att insprutningstidpunkten påverkar blandningens homogenitet, vilket påverkar motoreffekt och utsläpp betydligt mer än tändningstidpunkten. Genom att senarelägga insprutningstidpunkten från 120 grader före TDC till 65 grader före TDC ökar motoreffekten ytterligare. Tyvärr resulterar detta i ökade utsläpp av NOx. De har då försökt injicera mer luft för att sänka halten. Det har fungerat men då har effekten minskat som ett resultat. Det som också har visat sig ha en stor inverkan på motorns prestanda är den vinkel i vilken insprutaren sprutar in bränslet i förbränningskammaren.¹⁹

6.1.8 DUBBELBRÄNSLEMOTOR MED HÖGTRYCKSDIREKTINSPRUTNING OCH KOMPRESSIONSTÄNDNING

Som vi nämnde tidigare är det inte helt enkelt att antända vätgasen med enbart kompressionsvärme. Här skall vi på ett relativt förenklat sätt beskriva hur man har tänkt med denna teknik.

Genom att använda en så kallad förinsprutning har man också tagit upp det i de modeller som presenterats tidigare. Man kan också kalla det för pilotinjektering. Det kan till exempel gå till på det här sättet: I förbränningsrummet finns en injektor som sprutar in en liten mängd av ett ämne som antänds med hjälp av kompressionsvärme, till exempel diesel. Det antänds och strax efteråt sprutas

¹⁸ Ibid. s. 9

¹⁹ Ibid. s. 10 f.

vätgasen in och antänds av den nu brinnande dieseln i förbränningsrummet. I denna teori har det dock inte funnits någon information som förklarar hur det fungerar i verkligheten med vätgas. Å andra sidan har studier gjorts med CNG, Compressed Natural Gas, som har en antändlighet som liknar vätgas.

Två injektorer har använts, en för diesel och en för gas. Olika vinklar på injektorerna har haft olika effekter. Även olika tryck har haft olika betydelse. Också i denna modell har man provat att spruta in gasen vid olika tidpunkter under kompressionstakten och fått olika resultat. Man har dessutom provat med kombinerade injektorer där injektorn är konstruerad så att båda bränslena finns i en och samma inje.²⁰



Här beskrivs ett exempel, denna dubbla injektor är utvecklad av företaget West port. (Bild 23)

En nackdel som har dykt upp är att pilotinsprutningen av diesel för att starta förbränningen av gasen till slut bygger upp ett sotlager trots att mängden diesel är mycket liten, men detta problem kommer förmodligen att minska när CNG ersätts med vätgas, eftersom CNG innehåller kol.

²⁰(Dimitriou and Tsujimura, 2017)

6.2 FÖR- OCH NACKDELAR MED DE OLIKA METO

Med de olika metoderna för bränsleinsprutning eller hur förbränningen sker, kan man säga att det finns för- och nackdelar med dem alla. Injektorerna har till exempel visat sig vara slitna på grund av att vätgas inte har en smörjande effekt som diesel eller bensin. Detta kommer förmodligen bli ett problem i det långa loppet. Möjligen kan detta lösas med hjälp av någon form av smörjning, eller kanske genom att behandla de delar som kommer i kontakt med föremålet med en yta som säkerställer friktionen mellan dem.²¹

6.2.1 INJEKTORNS ROLL

Injektorn har visat sig ha en stor betydelse för motorns prestanda. Injektorns egenskaper i form av hur mycket tryck den kan hantera och munstyckets storlek är direkt kopplade till hur bra insprutningen är och hur den blandar sig men också hur insprutningsmängden kontrolleras. Injektorernas utformning påverkar alltså hur stor värmeförlusten är vid cylinderväggarna och verkningsgraden med den, därmed också bränsleförbrukningen.²²

Vad som också framkommit är att vätgasen har en försprödande effekt på vissa metallegeringar, vilket kan bli ett problem vid långvarig användning. Ytterligare hinder som måste övervinnas är till exempel hur man ska hantera vätgasens höga diffusionsförmåga som gör att den kan passera genom flera olika typer av material. Injektorerna kan till exempel exponeras för vätgasen, vilket kan leda till att funktionen försämras eller kanske helt uteblir.

En förutsättning för utvecklingen av vätgas som bränsle i förbränningsmotorer är att man fokuserar på de problem man har med t.ex. olika material som kan hantera vätgasens olika egenskaper. De höga tryck som används i vissa av de system som tidigare presenterats. Utformningen av gasledningarna och att man på ett säkert sätt kan tätar i alla anslutningar mellan olika komponenter. Hur bränsletankar är utformade och en konstruktion på dem som säkerställer absolut täthet. Att injektorerna är konstruerade specifikt för vätgas, idag använder vi en hel del injektorer som egentligen är avsedda för andra typer av gaser, CNG, LPG eller BIO-gas. Men utvecklingen går ständigt framåt och det som skrivs idag kan vara historia imorgon.

²¹(Gültekin and Ciniviz, 2022)

²²(Verhelst and Wallner, 2009)

6.3 TRE OLIKA INJEKTIONSTYPER

6.3.1 ELEKTROHYDRAULISKT AKTIVERAD (NTSEL)

Denna typ av injektor kräver hydraulvätska (vanligtvis diesel) under högt tryck.

Insprutningstrycket är begränsat till 200 bar. Under själva insprutningen aktiveras solenoiden som då släpper på trycket i dieseln som finns i den övre delen av injektorn, vätskan som är under högt tryck kan då lyfta insprutningsnålen från sitt säte och insprutningen sker. I denna typ av injektor måste det finnas ett så högt tryck på dieseln att nålen tätar mot sitt säte i stängt läge. Dieseln ser också till att vissa rörliga delar i injektorn smörjs.²³

6.3.2 SOLENOIDAKTIVERAD (WESTPORT)

Företaget Westport har utvecklat denna injektor. Det är deras första generation och den är helt solenoiddriven för DI och vätgas. Den är begränsad till 150 bar. Vissa fel har rapporterats på den, inklusive vissa rörelsebegränsningar på nålen.

Hoerbiger Valve TEC GmbH har också utvecklat en liknande solenoiddriven insprutare för DI och vätgasbränsle med ett maximalt insprutningstryck på 100 bar.²⁴

6.3.3 PIEZO-AKTIVERAD (WESTPORT)

Denna är av andra generationen och klarar tryck upp till 250 bar. Här aktiveras nålen av ett piezoelement, från en analog spänning som reglerar nålens rörelse och möjliggör en mycket snabb respons. Den har en kort öppningstid på 0,5 ms. Dessutom förbättras livslängden tack vare den flexibla styrningen av nålens hastighet, vilket gör det möjligt att minska stängningshastigheten och därmed minska stängningstrycket.²⁵

²³ (Yip et al., 2019, s. 18)

²⁴ Ibid. s. 17

²⁵ Ibid. s. 17

7 SAMMANFATTNING

Detta kapitel belyser fördelarna med konvertering av befintliga motorer och framtidens transport och produktion av fordon och fartyg. Det tar också upp en mer sentimental synvinkel på framtiden för veteranfordon. I en värld där forskare ständigt hittar nya lösningar och en värld där mänskligheten ställs inför nya utmaningar med miljön, är detta perspektiv som vi måste ha i åtanke.

NYCKELORD: FÖRDELAR MED KONVERTERING, FRAMTIDEN FÖR FORDONS- OCH FARTYGSTRANSPORTER, RÄDDNING AV VETERANFORDON, TILLVERKNING AV VÄXLANDE MOTORER.

INSTUDERINGSFRÅGOR

1. Vilka framtida utmaningar kan vätgas bidra till att lösa?
2. Vilka är fördelarna med att använda vätgas i en förbränningsmotor jämfört med i en bränslecell?
3. Vilka möjliga fördelar och nackdelar med en övergång till en vätgasbaserad framtid ser du för både individen och samhället?

7.1 FÖRDELARNA MED ATT KONVERTERA BEFINTLIGA MOTORER

En fördel som man har funnit med att köra förbränningsmotorer med vätgas, istället för i bränsleceller, är att vätgasen inte behöver vara riktigt lika ren för att fungera i en förbränningsmotor som i en med bränsleceller. En annan fördel med förbränningsmotorer är möjligheten att växla mellan olika typer av bränsle. Att använda redan beprövad teknik kommer dessutom att hålla kostnaderna nere på fabrikerna.

Huruvida det kommer att finnas konverteringssatser tillgängliga i framtiden är en fråga som ingen kan svara på just nu, men det skulle vara mer miljövänligt att byta från fossila bränslen till fossilfria bränslen så snart som möjligt.

7.2 VARFÖR VÄTGAS I EN FÖRBRÄNNINGSMOTOR

Avslutningsvis, och det är kanske en berättigad fråga, varför försöker vi utveckla Ottomotorn eller Dieselmotorn till att drivas med vätgas när det verkar som om de redan är på väg ut ur samhället?

Det finns inget snabbt och enkelt svar på det. Det är absolut så att ett fordon som använder bränslecellsteknik har en högre verkningsgrad än en Otto- eller dieselmotor som har modifierats för att drivas med vätgas. Ett sätt att se på detta är att vi redan har ett stort antal ottomotorer och dieselmotorer runt om i världen. Fortfarande dominerar dessa motorer stort på marknaden jämfört med elfordon. Att kunna ersätta dessa på kort tid kommer att vara en omöjlighet, samtidigt som det är av yttersta vikt att agera mycket snart eftersom den globala miljön är hotad.

Att ställa om alla fabriker som idag tillverkar förbränningsmotorer till våra fordon till att istället producera elmotorer kommer att bli en stor utmaning eftersom det måste ske snabbt. Detsamma gäller batteritillverkningen och de ämnen som krävs för den. Vad vi vet idag är att dessa endast finns i begränsade mängder på ett fåtal platser i världen.

I vissa delar av världen är det inte ekonomiskt möjligt att ersätta sitt fordon med ett el- eller bränslecellsdrivet. Det kommer inte heller att vara det på lång sikt. Här kan lösningen att bygga om befintliga fordon vara ett bra alternativ. Detsamma gäller för sjöfart, tung trafik och flygplan, där möjligheten att bygga om befintliga motorer för vätgasdrift kan bespara företagen stora ekonomiska förluster på grund av att en väl fungerande flotta skrotas.

Ytterligare ett område som idag är helt beroende av fossila bränslen är området för entusiastfordon; på marken, i vattnet eller i luften. Inom detta område skulle det också vara välkommet med en option för att kunna fortsätta använda dessa fordon. Detsamma gäller också för alla typer av motorrelaterad racing.

Ytterligare en aspekt är mer känslomässig eller nostalgisk. Vissa människor har svårt att skrota sina gamla förbränningsmotorer och finner en viss charm i att höra ljudet av dem. Det skulle kunna vara så att man bör betrakta utvecklingen av vätgas som drivmedel för Otto- och dieselmotorer som en övergång till dess att dessa fordon har nått den punkt där de måste bytas ut. Denna ersättning av nya fordon bör åtminstone beaktas när vi talar om bilar för kommersiellt och privat bruk. Där det inte finns några ekonomiska möjligheter skulle vätgas däremot kunna vara ett bra alternativ för att kunna fortsätta att använda fordon som i dag förbränner fossila bränslen, bensin eller diesel.

Autovista SE. (n.d.). Möjlighet till att tanka vätgas finns nu i 33 länder. [online] Available at: <https://autovista.se/news/eu/mojlighet-till-att-tank-a-vatgas-finns-nu-i-33-lander/> [Accessed 19 Jan. 2023].

Billings, (2013). Hydrogen – Fueling the Future | Dr. Roger Billings. [online] Available at: <https://www.rogerebillings.com/hydrogen/>.

Dimitriou, P. and Tsujimura, T. (2017). A review of hydrogen as a compression ignition engine fuel. International Journal of Hydrogen Energy, 42(38), pp.24470–24486. doi:10.1016/j.ijhydene.2017.07.232.

Gültekin, N. and Ciniviz, M. (2022). Examination of the effect of combustion chamber geometry and mixing ratio on engine performance and emissions in a hydrogen-diesel dual-fuel compression-ignition engine. International Journal of Hydrogen Energy. doi:10.1016/j.ijhydene.2022.10.155.

Kroyan, Wojciezyk, Kaario, Larmi. (2022). Modelling the end-use performance of alternative fuel properties in flex-fuel vehicles, Energy Conversion and Management, 269, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116080>.

KSC, S.S. (n.d.). NASA - Demanding Design Boosts Shuttle Engine. [online] www.nasa.gov. Available at: https://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/flyout/ssme.html.

Kumar, A. R. (2016). Focus on Expansion of Hydrogen and Electric Fleets for Passenger and Freight Transport in United Kingdom (Doctoral dissertation, College of Physical Sciences, School of Engineering University of Aberdeen, King's College).

National Museum of American History. (n.d.). Allis-Chalmers Fuel Cell Tractor. [online] Available at: https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_687671.

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy (2019). Hydrogen Production. [online] [Energy.gov](https://www.energy.gov). Available at: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production>.

Rorimpandey, P., Lung Yip, H. Srna, A., Zhai, G., Wehrfritz, A., Kook, S., Hawkes, E.R., Chan, Q.N. (2023). Hydrogen-diesel dual-fuel direct-injection (H2DDI) combustion under compression-ignition engine conditions, International Journal of Hydrogen Energy, 48(2), pp 766-783, 0360-3199. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.09.241>.

SO-rummet. (2022). Luftskeppet Hindenburg. [online] Available at: <https://www.so-rummet.se/kategorier/luftskeppet-hindenburg#> [Accessed 19 Jan. 2023].

This Day in Aviation, (2023). Ferdinand Adolf Heinrich August Graf von Zeppelin | This Day in Aviation. [online] Available at: <https://www.thisdayinaviation.com/tag/ferdinand-adolf-heinrich-august-graf-von-zeppelin/> [Accessed 19 Jan. 2023].

Verhelst, S. and Wallner, T. (2009). Hydrogen-fueled internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science, 35(6), pp.490–527. doi:10.1016/j.pecs.2009.08.001.

Wikipedia. (2019). De Rivaz engine. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/De_Rivaz_engine.

Yip, H.L., Srna, A., Yuen, A.C.Y., Kook, S., Taylor, R.A., Yeoh, G.H., Medwell, P.R. and Chan, Q.N. (2019). A Review of Hydrogen Direct Injection for Internal Combustion Engines: Towards Carbon-Free Combustion. Applied Sciences, 9(22), p.4842. doi:10.3390/app9224842.

Image 1: The De Rivaz Engine in detail,

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:De_Rivaz_IC_Engine_detail.jpg (Retrieved: 19-01-23)

Image 2: The De Rivaz Engine, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rivaz_Engine.jpg

(Retrieved: 19-01-23)

Image 3: The 1933 Norsk Hydro hydrogen truck,

<https://www.flickr.com/photos/hydrogencarsnow/8136698514/> (Retrieved: 19-01-23)

Image 4: Harry Karls Ihring fuel cell tractor, <https://www.rogerebillings.com/hydrogen/> (Retrieved:

19-01-23)

Image 5: Roger Billings hydrogen car, <https://www.science.edu/acellus/2018/07/first-hydrogen-car/>

(Retrieved: 19-01-23)

Image 6: GM's fuel cell van, [http://www.autoconcept-reviews.com/cars_reviews/gm/GM-hydrogen-](http://www.autoconcept-reviews.com/cars_reviews/gm/GM-hydrogen-fuel-cell-ELECTROVAN-and-battery-electric-ELECTROVAIR-1966/cars_reviews-GM-hydrogen-fuel-cell-ELECTROVAN-and-battery-electric-ELECTROVAIR-1966.html)

[fuel-cell-ELECTROVAN-and-battery-electric-ELECTROVAIR-1966/cars_reviews-GM-hydrogen-fuel-](http://www.autoconcept-reviews.com/cars_reviews/gm/GM-hydrogen-fuel-cell-ELECTROVAN-and-battery-electric-ELECTROVAIR-1966/cars_reviews-GM-hydrogen-fuel-cell-ELECTROVAN-and-battery-electric-ELECTROVAIR-1966.html)

[cell-ELECTROVAN-and-battery-electric-ELECTROVAIR-1966.html](http://www.autoconcept-reviews.com/cars_reviews/gm/GM-hydrogen-fuel-cell-ELECTROVAN-and-battery-electric-ELECTROVAIR-1966/cars_reviews-GM-hydrogen-fuel-cell-ELECTROVAN-and-battery-electric-ELECTROVAIR-1966.html) (Retrieved: 19-01-23)

Image 7: Showcase of hydrogen produced by solar energy,

https://www.researchgate.net/figure/Hydrogen-production-from-solar-energy-36_fig17_324719917

(Retrieved: 19-01-23)

Image 8: Keyou's hydrogen bus, [https://www.busandcoachbuyer.com/hydrogen-bus-prototype-](https://www.busandcoachbuyer.com/hydrogen-bus-prototype-unveiling-at-iaa/)

[unveiling-at-iaa/](https://www.busandcoachbuyer.com/hydrogen-bus-prototype-unveiling-at-iaa/) (Retrieved: 19-01-23)

Image 9: Aircraft, <https://newatlas.com/energy/infinium-electrofuels-zero-carbon-fuel/> (Retrieved:

19-01-23)

Image 10: Space shuttle, https://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/flyout/ssme.html (Retrieved:

19-01-23)

Image 11: map showcasing hydrogen gas stations, [https://www.h2stations.org/press-release-2022-](https://www.h2stations.org/press-release-2022-another-record-number-of-newly-opened-hydrogen-refuelling-stations-in-2021/)

[another-record-number-of-newly-opened-hydrogen-refuelling-stations-in-2021/](https://www.h2stations.org/press-release-2022-another-record-number-of-newly-opened-hydrogen-refuelling-stations-in-2021/) (Retrieved: 19-01-

23)

Image 12: Hydrogen gas filling nozzle, [https://www.swagelok.com/en/blog/guofu-hydrogen-](https://www.swagelok.com/en/blog/guofu-hydrogen-refueling-case-study)

[refueling-case-study](https://www.swagelok.com/en/blog/guofu-hydrogen-refueling-case-study) (Retrieved: 19-01-23)

Image 13: Honda's hydrogen filling station, <https://www.hydrogencarsnow.com/index.php/home-hydrogen-fueling-stations/> (Retrieved: 19-01-23)

Image 14: Traffic in early 1900's, <https://blog.greenprojectmanagement.org/index.php/2019/05/13/pollution-why-we-replaced-horses-with-automobiles/> (Retrieved: 19-01-23)

Image 15: The Hindenburg airship accident, <https://www.history.com/news/the-hindenburg-disaster-9-surprising-facts> (Retrieved: 19-01-23)

Image 16: An Otto engine shown in a cut away drawing, <https://haynes.com/en-us/tips-tutorials/beginners-guide-what-four-stroke-engine> (Retrieved: 19-01-23)

Image 17: A Diesel engine shown in a cut away drawing, <https://www.hardwarezone.com.sg/feature-why-you-should-consider-diesel-your-next-car/diesel-vs-petrol-engines> (Retrieved: 19-01-23)

Image 18: Doosan's hydrogen tank, <https://www.doosanmobility.com/en/products/hydrogen-tank/> (Retrieved: 19-01-23)

Image 19: Fittings for hydrogen fuel lines, <https://www.nvfcl.com/hydrogen-powered-fuel-cell-vehicles/> (Retrieved: 19-01-23)

Image 20: Ignited spark plug, <https://www.mycar.com.au/car-advice/spark-plugs-in-a-car> (Retrieved: 19-01-23)

Image 21: Drawing showing timing settings, <http://www.carnewscafe.com/2015/03/what-are-timing-marks/> (Retrieved: 19-01-23)

Image 22: Figure showcasing different injection methods, <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/22/4842>, s. 7 (Retrieved: 19-01-23)

Image 23: Private image of dual fuel injector from West port.

10 FÖRKORTNINGAR

BDC Bottom Dead Center

BIO Biological

CNG	Compressed Natural Gas
DI	Direct Injection
EGR	Exhaust Gas Recirculation
HCCI	Homogeneous Charge Compression Ignition
HPDI	High Pressure Direct Ignition
H ₂	Hydrogen
ICE	Internal Combustion Engine
LNG	Liquified Natural Gas