



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



PROVOZ MOTORU NA VODÍK V LABORATOŘI POHONNÝCH JEDNOTEK

Bakalářská práce

Studijní program: B2341 – Strojírenství
Studijní obor: 2302R022 – Stroje a zařízení
Autor práce: **Daniel Slabý**
Vedoucí práce: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

THE HYDROGEN ENGINE OPERATION IN LABORATORY OF ENGINES

Bachelor thesis

Study programme: B2341 – Engineering
Study branch: 2302R022 – Machine and Equipment
Author: **Daniel Slabý**
Supervisor: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.



Tento list nahradte
originálem zadání.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Provoz motoru na vodík v laboratoři pohonných jednotek

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá řešením různých možností alternativního zdroje vodíku pro laboratoř pohonných jednotek a popisuje současný stav.

Práce v první části pojednává o vlastnostech vodíku, současném stavu infrastruktury a bezpečnostních opatřeních.

V druhé části je navrženo alternativní řešení zdroje vodíku.

Klíčová slova: vodík, výroba vodíku

The hydrogen engine operation in laboratory of engines

Annotation

This bachelor thesis deals with solving different options for alternative sources of hydrogen for laboratory power units and describes the current status.

The first part of the thesis deals with the characteristic of hydrogen, the current state of infrastructure and safety measures.

In the second part is designed alternative source of hydrogen.

Key words: hydrogen, hydrogen production

Desetinné třídění: (621.43.01 - Teorie spalovacích motorů)
Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
Dokončeno : 2014
Archivní označení zprávy:

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce, prof. Ing. Celestýnu Scholzovi, Ph.D., a konzultantovi, Ing. Josefu Popelkovi, za ochotu a vstřícný přístup.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	VODÍK	9
2.1	OBECNÁ CHARAKTERISTIKA PLYNU	9
2.2	METODY ZÍSKÁVÁNÍ VODÍKU.....	9
3	MOŽNOSTI VÝROBY VODÍKU.....	9
3.1	PARNÍ REFORMACE ZEMNÍHO PLYNU	10
3.2	ELEKTROLÝZA VODY.....	12
3.2.1	VYSOKOTEPLTNÍ ELEKTROLÝZA VODY.....	14
4	SOUČASNÝ STAV	14
4.1	ZDROJ A PŘÍVOD VODÍKU.....	14
4.2	BEZPEČNOSTNÍ RIZIKA.....	17
4.3	BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ	20
5	MOŽNOSTI VÝROBY VODÍKU V MÍSTNÍCH PODMÍNKÁCH	21
5.1	PARNÍ REFORMÁTOR ZEMNÍHO PLYNU.....	21
5.2	VODNÍ ELEKTROLYZÉR.....	23
5.3	USKLADNĚNÍ PLYNU.....	25
5.4	KALKULACE NÁKLADŮ	28
6	ZÁVĚR	30
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	31
	SEZNAM PŘÍLOH	32

1 Úvod

V posledních několika desetiletích se v oboru automobilismu projevuje značná snaha o minimalizaci nákladů na provoz a s tím i snížení emisí produkovaných vozidly. Vývojáři automobilových pohonů mají několik možností jak toto provést, jednou z nich je mimo jiné záměna standardních fosilních paliv za jiná.

Po celou dobu historie tepelných motorů můžeme zaznamenávat změny vývoje vlastních technologií, od parních lokomotiv spalující dřevo nebo uhlí až po motory spalující vodík s mnoha rekuperačními prvky.

Vodík má v současné době největší potenciál jako náhrada fosilních paliv, a to nejen protože se v současné době stále snižují zásoby ropy a zemního plynu, ale také že spalováním vodíku, případně využívání jako paliva v palivových článcích, nevznikají žádné škodlivé sloučeniny jako u konvenčních paliv spalovacích motorů, jako je oxid uhelnatý CO, oxidy dusíku NO_x a oxid uhličitý CO₂, nýbrž vzniká pouze vodní pára.

Vodík je ve vesmíru nejvíce rozšířený prvek a na Zemi třetí nejrozšířenější, přičemž největší množství je vázáno ve vodě, ale ve značné míře i ve fosilních palivech. Z obou těchto zdrojů v současné době není problém vodík získat. V čisté formě se vodík na Zemi běžně nenachází.

Ve své bakalářské práci se zaměřím na možnosti výroby vodíku pro laboratoř spalovacích motorů a jeho uskladnění a následný finančně ekonomický propočet vůči stávajícímu zdroji vodíku, kterým je dodávka již stlačeného plynu v tlakových lahvích.

2 VODÍK

2.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA PLYNU

Vodík je za běžných podmínek bezbarvý plyn a bez zápachu, současně je i nejjednodušším a nejllehčím známým prvkem s hustotou $\rho = 0,088\ 95\ \text{kgm}^{-3}$, který tvoří značnou část veškeré hmoty ve vesmíru, na Zemi se však vyskytuje pouze ve vázané formě, proto abychom ho mohli využít jako palivo ve spalovacích motorech, musíme ho nějakým způsobem odseparovat. Jelikož je vodík vázán v mnoha sloučeninách, máme proto mnoho možností.

2.2 METODY ZÍSKÁVÁNÍ VODÍKU

Jednou z nabízených možností je elektrolýza vody, nejen pro ohromné zásoby vody na Zemi, která zaujímá zhruba dvě třetiny zemského povrchu, ale také i pro vysokou čistotu výstupního plynu.

Další z možností výroby vodíku je parní reformace zemního plynu, tento způsob má však jistá úskalí. Jedním z nich jsou ztenčující se zásoby zemního plynu, značná produkce oxidu uhličitého jako odpadní látky při výrobě vodíku a v poslední řadě nutnost použití dočišťovacích přístrojů pro dosažení optimální čistoty plynu, jelikož produktem parní reformace zemního plynu je tzv. syngas, neboli syntetický plyn, který obsahuje pouze tři čtvrtiny vodíku, zbývající část zaujímá oxid uhličitý a oxid uhelnatý, které je však potřeba odseparovat.

Dalšími, nejméně používanými, metodami získávání vodíku jsou rozklad vody, rozklad metanolu, rozklad vodní páry železem, rozklad amoniaku a termochemické cykly.

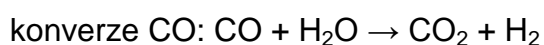
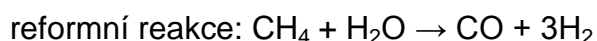
3 MOŽNOSTI VÝROBY VODÍKU

V lokálních podmínkách je možno vyrábět vodík mnoha různými způsoby, přičemž mnoho z nich je velice nákladných a komplikovaných na vlastní konstrukci i

zástavbu. Pro požadovaný objem a podmínky nastavené pro lokální výrobu, se jako nejvhodnější nabízí parní reformace zemního plynu a elektrolýza vody.

3.1 PARNÍ REFORMACE ZEMNÍHO PLYNU

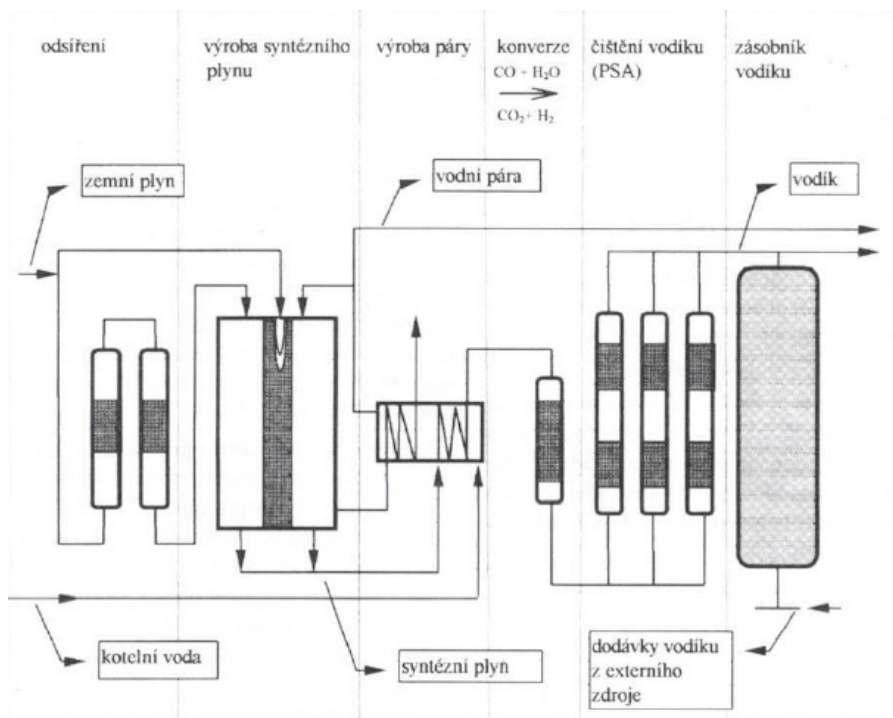
Parní reformace je v současné době nejlevnějším a nejrozšířenějším způsobem výroby vodíku. Teplo pro reformní reakci i následnou konverzi oxidu uhelnatého je dodáváno z přímého spalování části zemního plynu. Proces se skládá ze dvou fází; v první se za přítomnosti katalyzátoru do vodní páry (o teplotě 500 – 950°C a tlaku 0,3 - 2,5 MPa) přivádí metan (majoritní část zemního plynu). Směs metanu a páry reaguje za vzniku vodíku a oxidu uhelnatého a menšího podílu oxidu uhličitého. Reakce probíhá za výše zmíněných teplot a tlaků v reformátoru. Poté následuje navyšování množství produkovaného vodíku konverzí CO z reformace s další přidanou párou. Reakce probíhá již za nižších teplot.



Účinnost parní reformace se pohybuje v rozmezí 70-85% (závisí na čistotě vyprodukovaného vodíku a poměru páry a uhlíku ve směsi), proto parní reformace ve výrobě vodíku dominuje. I přes vysoké investiční náklady jsou dalším důvodem rozšířenosti reformace poměrně nízké energetické nároky, na výrobu 1m³ vodíku je potřeba zhruba 1,5 kWh. Co se týče dopadu na životní prostředí, je parní reformace velice nešetrná metoda. Na jeden kilogram vyprodukovaného vodíku připadá 7,05kg CO₂. I přes své nízké energetické nároky a vysokou účinnost se lidé snaží o nalezení vhodnějšího způsobu výroby vodíku. A to díky ztenčujícím se zásobám dostupných fosilních paliv a velkému znečišťování prostředí. Proto má parní reformace nízký potenciál využití v budoucnosti.

Parní reformace zemního plynu vyžaduje přívod zemního plynu a vody. Z těchto podmínek by se jako nejzávažnější mohl zdát přívod zemního plynu, avšak v dnešní době je zemní plyn přiveden do většiny domácností, taktéž i voda. Pro

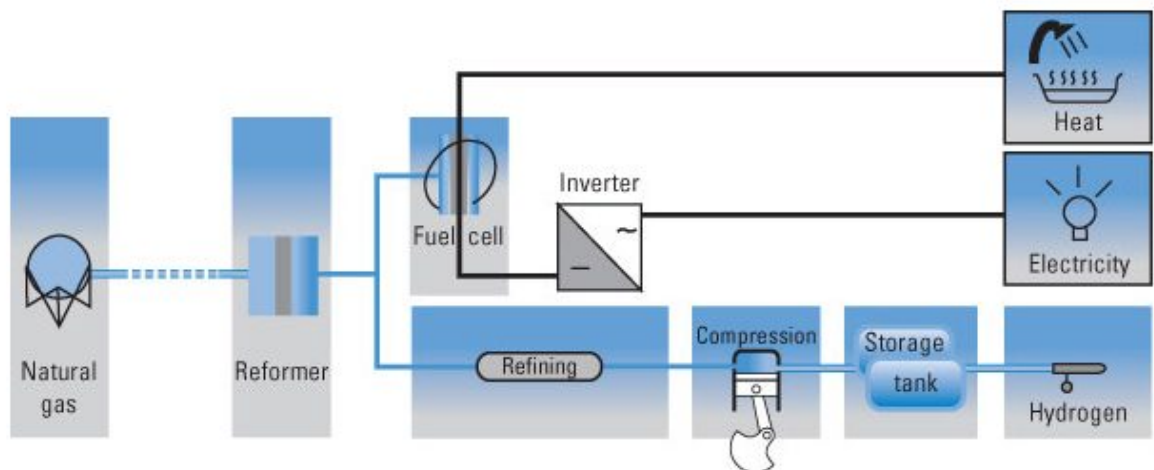
domácí použití se jako nejlepší možnost jeví domácí čerpací stanice vyvinutá firmou Honda s pro koncept FCX, která obsahuje parní reformátor s dočišťovacím zařízením, ale také palivový článek, který je schopen zásobovat domácnost elektrickou energií po čas naplněné nádrže s vodíkem nebo při odpojeném vozidle. Toto zařízení však zatím není určeno pro trh. Na trhu ale není problém nalézt mnoho obdobných výrobků, bohužel mizivá většina z nich není osazena dočišťovacím zařízením a ani kompresorem pro možné stlačení vodíku do zásobních láhví.



Obr. 1 Schéma parního reformování zemního plynu



Obr. 2 Domácí energetická stanice Honda [7]

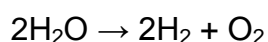


Obr. 3 Schéma domácí energetické stanice Honda [7]

3.2 ELEKTROLÝZA VODY

Elektrolýzou se v dnešní době vyrábí pouze 4% veškerého objemu vyrobeného vodíku, tato metoda není průmyslově využívána pro svoji náročnost na elektrickou energii, pro lokální výrobu není však tento faktor tolik limitující, vzhledem k malým objemům vyrobeného plynu.

Elektrolýza je proces, při kterém stejnosměrný proud při průchodu vodným roztokem štěpí chemickou vazbu mezi vodíkem a kyslíkem:



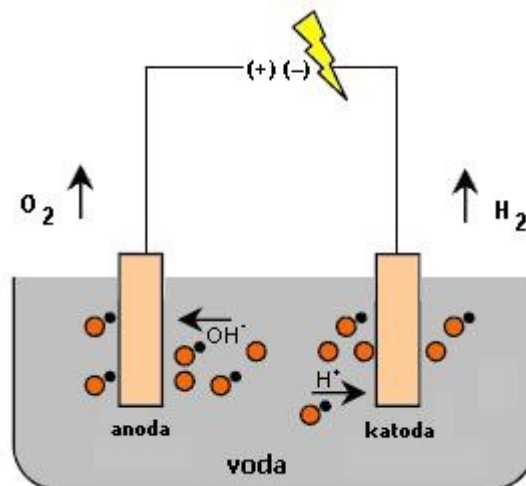
H^+ poté reaguje na katodě za vzniku plynu, který je jímán a následně skladován. Proces elektrolýzy probíhá za pokojových teplot a pro jeho chod je nutná pouze elektrická energie. Ideální napětí pro rozklad vody je 1,229 V, ale v reálném provozu se napětí pohybuje v rozmezí 1,85 - 2,05 V. Účinnost procesu se potom pohybuje v rozmezí 80 - 92 %. Výstupem elektrolýzy je kyslík a vysoce čistý vodíkový plyn, pro většinu aplikací bez nutnosti dodatečného dočišťování. [3]

Konvenční elektrolýza je výhodná zejména tam, kde je levná elektřina a dostatek vody. Elektrolytické zařízení je modulární, může být navrženo jako velká centrální jednotka či jako malé zařízení pro lokální použití se stejnou účinností. K výhodám elektrolýzy patří vysoká čistota elektrolytického vodíku. Nevýhodou jsou vysoké náklady na membránu v elektrolýzáru a vysoké ceny elektrické energie.

Na celkové účinnosti elektrolytické výroby vodíku se podílí především účinnost výroby elektrické energie (30 - 40 % pro konvenční zdroje). Celková účinnost elektrolýzy se tedy pohybuje přibližně v rozmezí 25 - 35 %.



Obr. 4 Modulární elektrolýzátor [3]



Obr. 5 Schéma elektrolýzy vody [3]

3.2.1 VYSOKOTEPLTNÍ ELEKTROLÝZA VODY

Někdy též nazývaná parní elektrolyza je velice podobná klasické elektrolyze s tím rozdílem, že část dodávané energie tvoří elektrická energie a část je přivedena ve formě tepla, čímž je zvýšena celková účinnost procesu.

Do elektrolyzéro vstupuje pára a vodík. Vystupuje z něj směs obsahující 75% vodíku a 25% páry. Vodík je pak z páry oddělen v kondenzační jednotce. Reakce probíhající ve vysokoteplotním elektrolyzéro je reverzní k reakci probíhající v palivových článcích s pevnými oxidy.

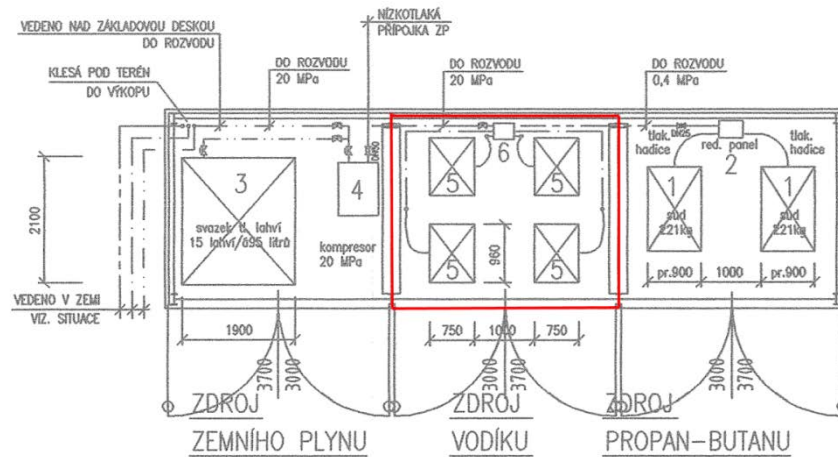
Provozní podmínky procesu vyžadují teploty v rozmezí 600 – 1000°C. Výhodou je zvýšení účinnosti díky snížené spotřebě elektrické energie a snadnějšímu překonání aktivační bariéry na povrchu elektrody. Celková účinnost vysokoteplotní elektrolyzy může dosahovat 45-50%. Energetické nároky jsou tedy menší než u běžné elektrolyzy, při růstu teploty vstupní páry klesá spotřeba elektrické energie. Stejně jako u běžné elektrolyzy se jedná o velice čistou metodu. Neustále probíhá zdokonalování této metody. Díky svému velkému potenciálu je vysokoteplotní elektrolyza slibným kandidátem na výrobu vodíku ve velkém měřítku. V praxi se používá výhradně energie z jaderných elektráren.

4 SOUČASNÝ STAV

4.1 ZDROJ A PŘÍVOD VODÍKU

V současné době je na rozvod vodíku, který je instalovaný v laboratořích Cxl, napojen svazek dvanácti tlakových lahví s vodíkem od firmy Linde o celkovém objemu 600 dm³. Při tlaku 20 MPa pojme svazek lahví 107 Nm³ vodíku. Tento svazek je umístěn v prostřední kóji (obr. 6) venkovního přístřešku (obr. 7), určené pro zdroj vodíku a napojen vysokotlakým potrubím k uzavíracímu ventilu, odtud vedení dále pokračuje k hlavním uzavíracím ventilům na vnější straně přístřešku (obr. 9), kde se nacházejí jak mechanické ventily, tak i elektromagnetické, od těchto ventilů je

potrubí vedeno v zemi k dalším uzavíracím ventilům, tentokrát uvnitř budovy (obr. 10). Od nich pokračuje vysokotlaké vedení k redukčnímu panelu (obr. 12), odkud je plyn rozváděn na jednotlivá pracoviště (obr. 13) a to to jak ve vysokém tlaku (20 MPa), tak i v nízkém tlaku, který lze libovolně naregulovat, standardně je ale nastaven na 4 MPa.



Obr. 6 Umístění vodíkové kóje



Obr. 7 Přípojka vodíku



Obr. 8 Venkovní přístřešek



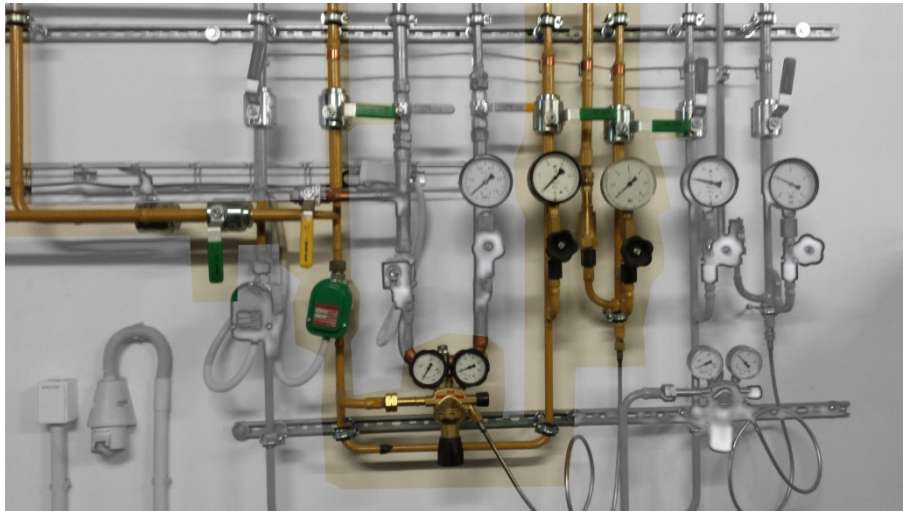
Obr. 11 Hlavní uzavírací ventily



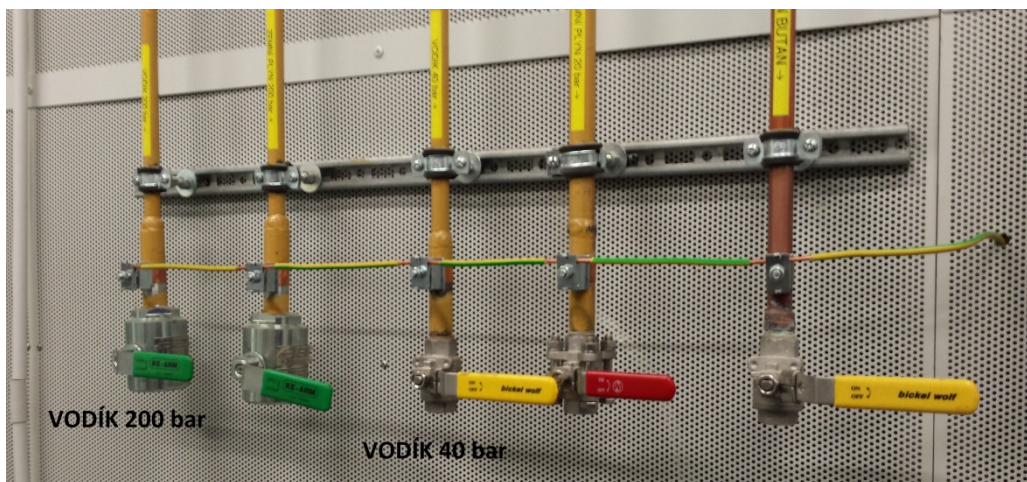
Obr. 10 Skříň hlavních uzavíracích ventilů



Obr. 9 Uzavírací ventily v budově



Obr. 12 Redukční panel



Obr. 13 Odběrné místo na stanovišti motorů

4.2 **BEZPEČNOSTNÍ RIZIKA**

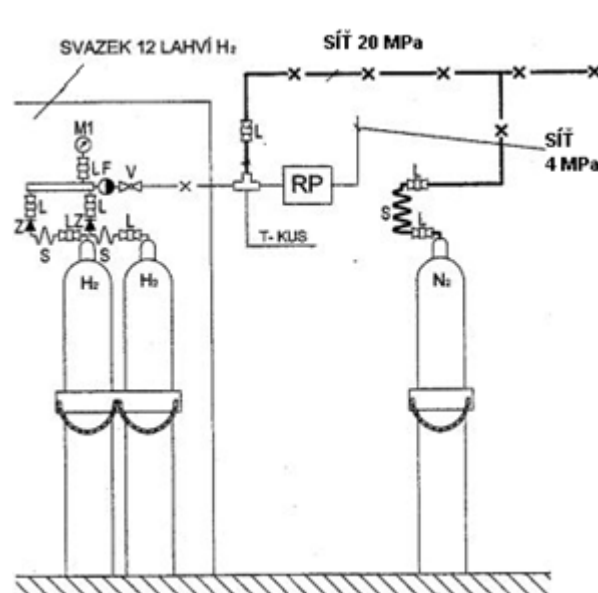
Výroba, uskladnění, a použití vodíku musí všude spolu s dodržováním bezpečnostních předpisů jít ruku v ruce.

Vysokou úroveň bezpečnosti pomáhají zabezpečit nejrůznější normy a předpisy. V USA vznikla v roce 1913 asociace pro stlačené plyny (CGA – Compressed Gas Association), která stanovuje normy a provádí dozor pro

zajištění bezpečnosti. Od roku 2004 se CGA zaměřuje na aplikace použití vodíku v oblastech alternativních zdrojů energie. Organizace působí rovněž jako složka technického dozoru ISO (International Organization for Standardization, neboli mezinárodní organizace pro standardizaci).

V naší zemi řeší problematiku rozvodů vodíku pravidla COPZ (Cech odborníků plynových zařízení) v příručce G 706 01 z roku 1993, řada technických norem a předpisů, z nichž je nejdůležitější zákon o chemických látkách č. 356/2003 Sb. Zákon určuje výrobcí nebo dovozci povinnost vyhotovit bezpečnostní list podle vyhlášky č.231/2004 Sb., v němž jsou nejdůležitější informace o vlastnostech chemické látky. Pro vodík existuje bezpečnostní list vydaný Českou asociací technických plynů z roku 1999. [1]

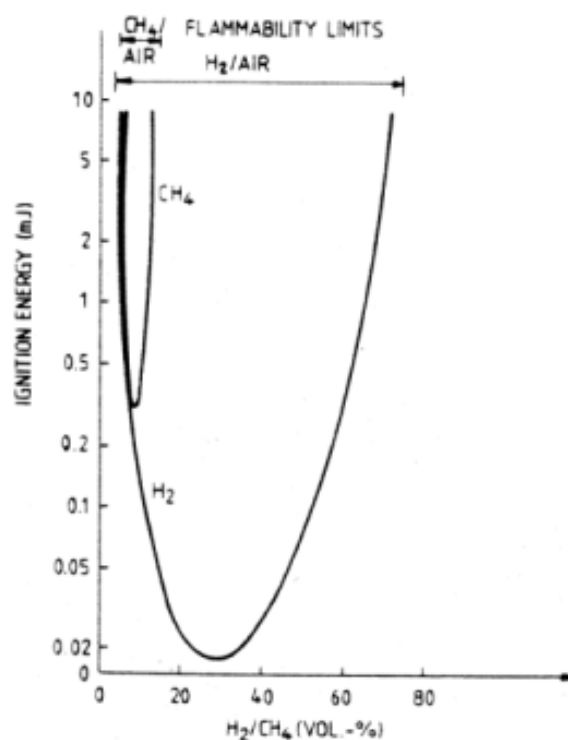
Jak je známo, vodík vytváří s kyslíkem velice výbušnou směs a to již od koncentrace 4% do 75% a vzhledem k jeho nemožnosti identifikace zrakem či čichem je nutno mít zavedena bezpečnostní opatření na maximální možné úrovni a v případě nechtěného kontaktu s kyslíkem zamezit navýšení koncentrace nad bezpečnou hodnotu. Z tohoto důvodu se při připojování zdroje vodíku do rozvodové sítě musí nejdříve provést proplach inertním plynem, zpravidla se proplachuje dusíkem. Touto operací zcela zamezíme vytvoření oné nebezpečné směsi.



Obr. 14 Schéma zapojení pro proplach inertním plynem [1]

V případě úniku vodíku netěsností na některém ze spojů, případě potrubí, je nutné, aby se únik nacházel ve velice dobře větraném prostoru, kde by došlo maximálnímu rozptýlení vodíku. V opačném případě může dojít k jeho nechtěnému zážehu, jelikož vodík má mnohem nižší iniciační energii (0,02 mJ) než ostatní plyny používané v laboratoři (např. metan, který je dominantní součástí zemního plynu), jak můžeme vidět na obr. 13. Na příklad jiskra od elektronických zařízení (relé, elektromotor), nárazu kovových součástí, nebo elektrostatického výboje obsahuje mnohem více energie, než je pro zapálení potřeba.

Pokud již dojde k zapálení vodíku, který uniká z vedení nebo zařízení, musíme se mít velmi na pozoru, jelikož vodíkový plamen je prakticky neviditelný, s minimální sálavostí kvůli absenci uhlíkových částic, hoří velkou rychlostí a je velice úzký, tudíž je těžší jej rozpoznat a zamezit kontaktu s ním. Za určitých okolností může hoření přerůst v explozi nebo v detonaci. Mezi faktory zvyšující pravděpodobnost tohoto přechodu patří dostatečná koncentrace vodíku ve vzduchu (18,3% až 59%), zdroj pro vznik turbulence se zrychlení rychlosti plamene na 100 ms^{-1} a především dostatečná intenzita zapalovacího zdroje cca 10 kJ. Vodík tedy nemůže explodovat v uzavřených nádržích nebo potrubích obsahujících jen vodík.

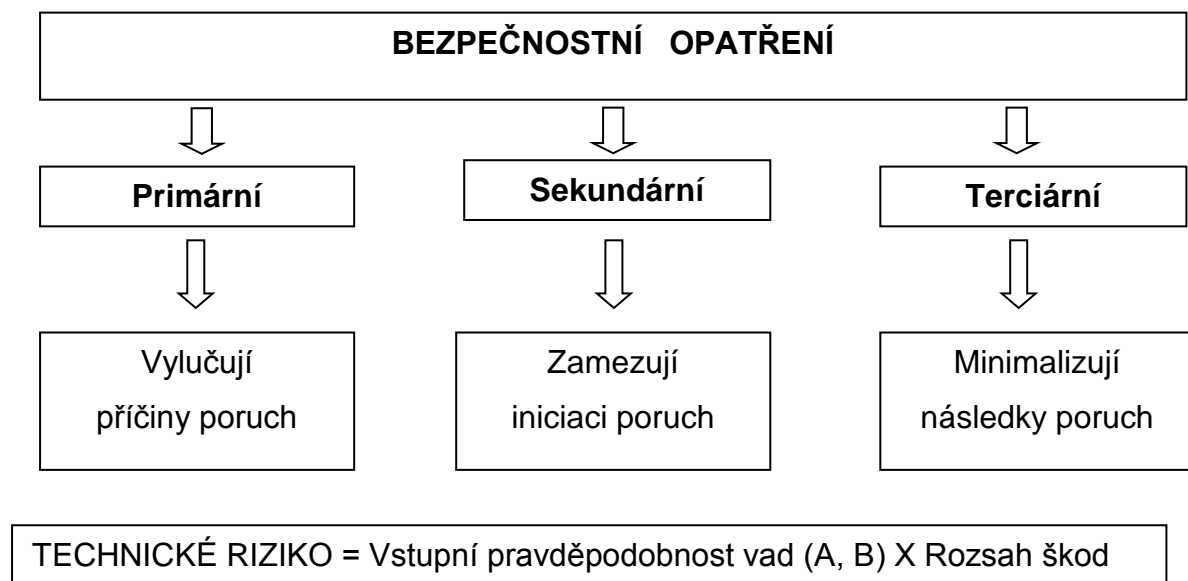


Obr. 15 Minimální energie pro vznícení [1]

Z hlediska toxicity člověka vodík nijak neohrožuje, pouze může způsobovat dýchací potíže při koncentraci nad 30%, bohužel nemožnosti rozpoznání této situace nahrává i fakt, že vodík je bez zápachu a zbarvení.

4.3 BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ

Cílem bezpečnostních systémů je maximálně vyloučit rizika spojené s používání jakéhokoliv paliva. Specifické vlastnosti paliv vyžadují bližší specifikace základních bezpečnostních opatření. Bezpečnostní opatření, která odstraňují a vylučují technická rizika poruch či nehod při používání vodíku jako paliva se mohou systematicky klasifikovat na primární, sekundární a terciární. [1]



Obr. 16 Schéma bezpečnostních opatření a jejich dopad [1]

Primární bezpečnostní opatření: vyloučení příčin poruch.

- Používání zařízení a přístrojů vyhovující vodíku.
- Potrubí spojovat svářením nebo pájením natvrdo.
- Na rozebíratelná spojení používat vhodná těsnění.
- Volit vhodné materiály odolávající křehnutí pod vlivem vodíku.
- Umísťovat vedení vodíku ve volném prostoru venku, nebo v dobře větraných prostorech.
- Při delším odstavení z provozu nahradit vodík inertním plynem.
- Zamezit vytvoření podtlaku v nádržích a potrubích naplněných vodíkem.
- Pravidelně provádět testy těsnosti systému, používat výstražné přístroje pro identifikaci unikajícího vodíku.

Sekundární bezpečnostní opatření: zamezení iniciaci poruch.

- Zamezení vzniku elektrických či mechanických jisker uzemněním.
- Zákaz kouření a používání otevřeného ohně.
- Použití nevýbušných provedení elektrických přístrojů.

Terciární bezpečnostní opatření: minimalizace následné poruchy.

- Zabezpečit rychlé odpojení vodíkového vedení.
- Nádrže dimenzovat na tlak vznikající při explozi.
- Instalace požárních zařízení.

5 MOŽNOSTI VÝROBY VODÍKU V MÍSTNÍCH PODMÍNKÁCH

Výroba vodíku pro laboratoř pohonných jednotek je velice komplexní záležitost, nezáleží pouze na požadovaném objemu výroby, ale také na energetické náročnosti, velikosti zástavby, čistotě vyrobeného vodíku a možnosti přívodu vody, zemního plynu a elektrické energie. Vzhledem k těmto aspektům, již podle hrubého odhadu, není možné do daného prostoru umístit zařízení, které je schopné vyrobit zadaný hodinový objem vodíku, proto došlo po konzultaci s vedoucím práce k úpravě zadaného množství vodíku z původních 10-50 kg/hod. na 1 Nm³/hod. což odpovídá 760 kg/rok.

5.1 PARNÍ REFORMÁTOR ZEMNÍHO PLYNU

Do daného místa ve vnějším přístřešku je vhodné umístit jeden ze dvou druhů zařízení pro výrobu vodíku, díky přítomnosti přívodu zemního plynu ve vedlejší kóji se nabízí zařízení pro parní reformaci zemního plynu, kde stačí pouze přivést přívod vody, nebo jej nahradit zásobní nádrží. Po průzkumu nabídek produktů mnoha výrobců po celém světě, jsem došel k závěru, že pro naši aplikaci nejvíce vyhovuje reformátor bez vestavěného čistícího zařízení, jelikož tato konfigurace je nabízena u

mnohem více výrobců a hlavně splňuje naše parametry na výrobu. Reformátory s vestavěným čistícím zařízením dosahují v naprosté většině mnohem větších objemů výroby, což je pro naši aplikaci zbytečné. Čistící zařízení s platinovou membránou by bylo následně externě instalováno na vývod vodíku z reformátoru. Po podrobnějším průzkumu nabídek se jevil jako nejvhodnější domácí parní reformátor FPM C1 typu FLOX od německého výrobce WS Reformer DmbH, doplněný o čistící zařízení MC 1500 od italského výrobce SIGMA Technologies srl.



Obr. 18 Parní reformátor FPM C1



Obr. 17 Čistící zařízení SIGMA

Množství vyráběného plynu	1,2 Nm ³ /hod
Prostor pro montáž	290 x 360 x 480 mm; (D x Š x V)
Hmotnost	cca 30 kg
Použitelná paliva	CNG, LPG, Metanol
Elektrický příkon	< 60 W
Účinnost	78%
Výstupní plyn	> 75 % H ₂ , < 15 % H ₂ O, < 10 % CH ₄ , < 1 % CO ₂ , 200 °C, 150 mbar
Životnost	> 15000 hod., navrženo na 80000 hod.

Tab. 1 Technické údaje reformátoru FPM C1

Maximální průtok	250 Ndm ³ /s
Nominální průtok	40 Ndm ³ /s
Maximální pracovní tlak	17.3 bar
Maximální teplota	40 °C
Možný únik plynu	1x10 ⁻⁹ cm ³ /s (zkoušeno heliem za atmosférického tlaku)
Délka	732,5 ± 2 mm (záleží na dotažení závitů ventilů)
Průměr	76,2 mm
Hmotnost	5,8 kg

Tab. 2 Technické údaje čistícího zařízení SIGMA

5.2 VODNÍ ELEKTROLYZÉR

Jako další možnost výroby vodíku pro laboratoř pohonných jednotek se naskýtá výroba běžnou elektrolýzou vody, tato možnost je podpořena i tím, že vyprodukovaný vodík bude používán jako palivo pro zkoušky motorů na dynamometrech, jejichž odpadním produktem je elektrická energie, nezbytná pro chod elektrolýzéry. Při testování motorů o výkonu 70 kW se zhruba vyprodukuje proud o velikosti $I=140$ A v každé fázi, tudíž by docházelo k jakési rekuperaci. Elektrolýza vody jako taková má několik nevýhod, jednou z nich je nutnost dodávání

demineralizované vody do elektrolytu, který se dále skládá hydroxidu draselného (KOH). Díky přítomnosti hydroxidu draselného se částečně řeší problém s nízkými teplotami, díky jeho přítomnosti se snižuje teplota tuhnutí zhruba o 7 °C, ale to bohužel pro venkovní instalaci nestačí a musela by být domontována tepelná izolace celého zařízení, aby nebyl takový únik tepla vyprodukovaného při elektrolýze. Naproti tomu má elektrolýza výhodu ve veliké čistotě produkovaného plynu (99,99%) a z ekologického hlediska je mnohem šetrnější, jelikož při vlastním procesu nedochází k emisím oxidu uhličitého (CO₂), ba naopak dochází ke zlepšování atmosféry vypouštěním kyslíku, jakožto odpadního plynu, do okolního prostředí.

Na trhu se vyskytuje mnoho výrobců elektrolyzačních jednotek, ale velká část z nich se zaměřuje pouze na výrobu pro laboratorní prostředí, která ale bohužel objemem vyrobeného plynu za čas nedostačuje. Co se týče ostatních výrobců, tak lze jmenovat průkopníka ve svém oboru a tím je americká firma Proton Energy. Tento výrobce je na tom vývojově ze všech nejlépe, ale bohužel je jeho cenová politika nastavena o několik stupňů výše než u evropských konkurentů. Po podrobném hledání mezi dostupnějšími produkty padl výběr na relativně nového výrobce v oboru, kterým je italská firma H2Nitidor srl. a její elektrolýzér VOLTANA, který je schopný vyrobit 1Nm³ (cca 0,08895 kg) velmi čistého vodíku za hodinu.

Elektrolyzační jednotka používá k řízení procesu programovatelný logický ovladač (PLC). PLC umožňuje systému pracovat bez jakýchkoliv příkazů operátora s výjimkou zapnutí a vypnutí nebo zjištění informací o zdroji případného poplachu. PLC je nastaven tak, aby upravoval a sledoval parametry procesu s cílem zajistit bezpečný a efektivní chod celého systému. Hodnoty teploty, tlaku a hladin kapalin, stejně jako hodnoty napájení jsou odesílány do ovladače, který generuje výstupní signály k řízení cílového zařízení. Pokud se hodnoty procesních veličin nachází mimo přípustné limity, PLC bezpečně vypne výrobu plynu a spustí příslušné poplachy. V mimořádných situacích jsou procesní plyny automaticky odstraněny vefouknutím inertního plynu.

Množství vyráběného plynu	1 Nm ³ /hod.
Rozsah regulace výkonu	20-100%
Čistota produkovaného vodíku	99,99%
Pracovní tlak	20 bar
Přívodní napětí	400 V AC
Elektrický příkon	5,5 kW
Spotřeba vody	1 dm ³ /hod
Elektrolyt	25% roztok KOH

Tab. 3 Technické údaje elektrolyzéry VOLTANA



Obr. 19 Elektrolyzér H2Nitidor VOLTANA

5.3 USKLADNĚNÍ PLYNU

Abychom mohli vodík využít pro spalování v laboratoři pohonných jednotek, je nutné ho před tím nějakým způsobem naakumulovat a uskladnit. Metod uskladnění vodíku jsou desítky.

Jedním z nejperspektivnějších způsobů uchování vodíku je v jeho sloučeninách s některými kovy. Tyto sloučeniny se nazývají hydridy a jsou schopny v

sobě absorbovat značná množství vodíku. Zejména hydridy na bázi lehkých kovů (Mg, Ca, Li, Na, Al) jsou v centru pozornosti výzkumných pracovišť. Tyto hydridy se obvykle vyrábějí syntézami kovů s plynným vodíkem za vysokých teplot a tlaků. Absorpce vodíku do materiálů na bázi kovů je exotermní reakce, je tedy při ní vyvíjeno teplo. Opačný děj – desorpce, tedy uvolňování vodíku z materiálu, je naopak reakce endotermní (je třeba dodat hydridu teplo, aby uvolnil vodík). Za normální teploty jsou hydridy stabilní, nerozkládají se a jsou tedy relativně bezpečnými zásobníky vodíku. K jejich rozkladu dochází až za vyšších teplot, přičemž se uvolňuje vodík.

Pro naše použití je však mnohem vhodnější uskladnění v tlakových lahvích, jelikož je možné vodík odebírat ve velkém množství a lze toto množství velmi dobře regulovat. Uskladnění v tlakových lahvích lze provést dvěma způsoby, buďto skladovat plynný, nebo kapalný vodík. Vzhledem k tomu, že předstupněm zkapalnění vodíku je jeho stlačení, nebudeme variantu kapalného vodíku uvažovat. Pro skladování stlačeného vodíku trh nabízí dvě varianty tlakových lahví kompozitní (obr. 19) a ocelové (obr. 20). Pro stacionární aplikace se obvykle používají ocelové bezešvé lahve z nízkouhlíkaté nebo legované oceli. Vyrábějí se v objemech od několika litrů až do přibližně 50 l pro běžné aplikace. V mobilních aplikacích se obvykle používá kompozitních tlakových nádob. Vyrábějí se v objemech od desítek litrů až přibližně do 300 l. Typickým provozním tlakem je 350 bar, v nejnovějších aplikacích potom 700 bar. Pro naše použití budeme uvažovat ocelové lahve, jelikož jsou značně levnější a nezáleží nám na úspoře hmotnosti, jako tomu je u automobilů. Jeden z vhodných výrobců tlakových lahví je česká firma CRYOSERVIS s.r.o., který je schopen dodat svazek tlakových šestnácti lahví o celkovém objemu 800 dm³ a maximálním provozním tlaku 200 bar za 207 600 Kč. U tlakových lahví je důležité řešit i servis a revize, obě tyto služby CRYOSERVIS s.r.o. zajišťuje. Pokud chceme skladovat vodík ve vysokotlakých nádržích, musíme jej nejprve stlačit na požadovaný tlak.



Obr. 20 Kompozitní tlakové lahve



Obr. 21 Ocelová tlaková lahev

Pro stlačování vodíku se používá zejména pístových kompresorů. Trh nabízí mnoho typů kompresorů, liší se zejména výkonem (od desítek wattů až po stovky kilowattů) a řešením pohonu. K pohánění výkonnějších kompresorů se používá hlavně hydraulický pohon, pro kompresory nižších výkonů přímý pohon. Naprostá většina nabízených kompresorů dosahuje maximálního tlaku většího než 25 MPa, proto nebylo nijak složité sehnat kompresor pro požadovaný tlak (20 MPa) i přes poměrně malou nabídku těch s nižšími výkony. Volba nakonec padla na kompresor PST40 čínského výrobce SHINEEAST. Jedná se o vysokotlaký bezolejový dvoustupňový kompresor s přímým pohonem pístů a maximálním výstupním tlakem 32 MPa.

Kompresní poměr	25:1
Minimální vstupní tlak	0.2 bar
Minimální výstupní tlak	10 bar
Maximální výstupní tlak	320 bar
Maximální průtok vzduchu	75 dm ³ /min = 4,5 m ³ /hod

Tab. 4 Technické údaje kompresoru PST40



Obr. 22 Kompresor SHINEEAST PST40

5.4 KALKULACE NÁKLADŮ

Pořizovací cena reformátoru WS Reformer FPM C1	22 538,71 EUR	618 462,20 CZK
Pořizovací cena čistícího zařízení SIGMA MC 1500	6 400 USD	128 000 CZK
Pořizovací cena kompresoru SHINEEAST PST40	1 200 USD	24 000 CZK
Pořizovací cena svazku tlakových lahví CRYOSERVIS		207 600 CZK
Celkem		978 062,20 CZK
Spotřeba CNG na 1 kg H ₂	5,428 m ³	41,79 CZK
Spotřeba elektřiny na 1 kg H ₂	0,562 kWh	0,55 CZK
Náklady na výrobu 1 kg H₂		42,34 CZK

Tab. 5 Náklady na pořízení a provoz reformátoru

Poživací cena elektrolyzéro H2Nitidor VOLTANA	24000 EUR	658 560 CZK
Poživací cena kompresoru SHINEEAST PST40	1200 UDS	24 000 CZK
Poživací cena svazku tlakových lahví CRYOSERVIS		207 600 CZK
Celkem		890 160 CZK
Spotřeba demineralizované vody na 1 kg H ₂	11,242 dm ³	20,80 CZK
Spotřeba elektřiny na 1 kg H ₂	61,832 kWh	59,98 CZK
Náklady na výrobu 1 kg H₂		80,78 CZK

Tab. 6 Náklady na pořízení a provoz elektrolyzéro

Roční pronájem tlakových lahví	14 375 CZK
Cena za náplň (9,6 kg H ₂)	17 410 CZK
Cena za 1 kg H₂	1 813,54 CZK

Tab. 7 Náklady na nájem a náplň od firmy Linde

	Elektrolyzér	Reformátor	Nákup vodíku
Poživací cena /nájem za 10 let	890 160 CZK	978 062,20 CZK	143 750 CZK
Náklady při 28,8 kg H ₂ /rok	23 264,64 CZK	12 139,92 CZK	522 300 CZK
Náklady při 48 kg H ₂ /rok	38 774,40 CZK	20 323,20 CZK	870 500 CZK
Celkem při 28,8 kg H₂/rok	913 424,64 CZK	990 202,12 CZK	666 050 CZK
Celkem při 48 kg H₂/rok	928 934,40 CZK	998 385,40 CZK	1 014 250 CZK

Tab. 8 Náklady za 10 let provozu

Všechny ceny jsou bez DPH a kurzy platné k 14.5.2014

Po ekonomickém propočtu bylo zjištěno, že pořizovací náklady obou technologií jsou zhruba 65x vyšší než nájem tlakových lahví od Linde, na druhou stranu náklady na výrobu vodíku jsou u elektrolyzéro více než 20x nižší a u reformátoru dokonce více než 40x nižší. Při výrobě 28,8 kg vodíku (odpovídá třem plným svazkům tlakových lahví od Linde) za rok by byla návratnost pořizovacích nákladů elektrolyzéro 13 let a 10 měsíců a u parního reformátoru za 14 let a 11 měsíců. S rostoucím objemem výroby vodíku by se návratnost dále snižovala.

6 ZÁVĚR

Během psaní této práce jsem zjistil, že výroba vodíku v místních podmínkách není jednoduchou záležitostí, jak je uváděno pro veřejnost jistými servery. Výroba vodíku je velice bezpečnostně a technologicky náročná záležitost, to také odpovídá pořizovacím cenám jednotlivých výrobních zařízení.

Z ekonomického hlediska je výroba vlastního vodíku velice nejednostrannou záležitostí, velice totiž záleží na vytíženosti výrobního zařízení, při větším vytížení razantně klesá návratnost a můžeme se dostat od čtyřiceti roků, při minimální výrobě, až ke čtyřem, při maximální produkci. Proto nelze jednoznačně určit, který zdroj vodíku by byl tím nejekonomičtějším. V současné době, kdy není vodík tolik využíván, je nejlepším výběrem kupování již stlačeného vodíku, ale v budoucnu, kdy určitě jeho poptávka v laboratoři pohonných jednotek stoupne, nebude tato varianta považována za nejvhodnější a bude se silně uvažovat o některém ze zařízení pro místní výrobu vodíku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SCHOLZ, C.: Safety aspect of employing hydrogen as motor fuel. In 8th International Symposium MOTOR FUELS 08. MF 2403, Slaovnaft, Inc. Bratislava. Tatranské Matliare 2008, ISBN 978-80-969710-2-2
- [2] SCHOLZ, C.: Specifika experimentálních pracovišť pro výzkum vodíkových spalovacích motorů. In: International scientific conference. New trends in construction and exploitation automobiles „VEHICLES 2008“. SPU Nitra, Nitra 2008
- [3] TriHyBus: Technologie [online]. TriHyBus: Vodíkový autobus s palivovými články. Zveřejněno dne: 25. 1. 2007. Dostupné z: <http://www.h2bus.cz/technologie>
- [4] Výroba vodíku parním reformováním. Petroleum.cz, [online], Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-43.aspx>
- [5] DeWEERDT, S. Pee power could fuel hydrogen cars [online]. Conservation Magazine. Zveřejněno dne: 9.3.2011. Dostupné z: <http://www.guardian.co.uk/environment/2011/mar/09/peepower-fuel-hydrogen-urine>
- [6] Hydrogen Storage. Metal hydrides [online]. Dostupné z: http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/storage/metal_hydrides.html
- [7] HONDA: prezentace Honda Fuel Cell Power, Autosalon Brno 2007

PŘÍLOHY

- příloha č. 1 – Kompletní cenová nabídka od výrobce WS Reformer GmbH na jednotku parního reformátoru (str. 33 – 39)
- příloha č. 2 – Kompletní cenová nabídka od výrobce H2Nitidor srl. na jednotku elektrolyzéru (str. 40 – 44)
- příloha č. 3 – Kompletní cenová nabídka od výrobce CRYOSERVIS s.r.o. na svazek šestnácti tlakových lahví o celkovém objemu 800 dm³ a pracovním tlaku 200 bar. (str. 45)
- příloha č. 4 – Výkres budovy s vyznačeným vedením vodíku (str. 46)
- příloha č. 5 – Výkres prostoru vedle budovy s vyznačeným podzemním vedením vodíku (str. 47)

TU Liberec
 Mr. Daniel Slaby
 Liberec
 CZ

Offer
Nr. WSR-A1416-14

Renningen, 13/05/2014
 page 1 von 1

Our sign: HPS

Contact: Hans-Peter Schmid
 Phone: +49 (0) 71 59 / 16 32-42
 Mail: hp.schmid@wsreformer.com

Offer | Nr: WSR-A1416-14

Dear Mr. Slaby,

we are pleased to offer a complete fuel processing module FLOX® FPM C1:

Pos	Art.No.	Item	Qty	Price / unit	Price / total
1.0	01000(LT)	Fuel Processing Module FPM-C1-LT V2.2	1	19.899,00	19.899,00 €
		consisting of:			
1.1	01001(LT)	FLOX-Reformer compact C1-LT	1		
1.2	00825(1)	Burner air supply C1	1		
		- Air blower 24V / 0-10V			
		- Blower controller			
1.3	00827(2)	Gas supply unit	1		
		- Valve block for feed and fuel gas			
		- Solenoid valve for feed gas			
		- Controller for solenoid valve			
1.4*	01012(3)	Desulfuriser unit C1	1		
1.5	00896(2)	Process water supply	1		
		- Water pump incl. controller			
2.0	00822	Burner control unit	1	1.439,71	1.439,71 €
		- CCFF automated burner control			
		- JUMO safety temperature switch			
		- Ignition transformator 220V			
3.0	00823	Operation Manual C1	1	0,00	0,00 €
5.0	00824	Training at WS facility / days	2	600,00	1.200,00 €
Total net					22.538,71 €

Technical Specifications and details see enclosure 1.

Delivery Time: 3 weeks

Validity of offer: 6 weeks

Terms of payment: 50% due with order, 50% due with delivery

**Enclosure 1 to offer
Nr. WSR-A1416-14**

Renningen, 13.05.14 | page 2 von 2
Our sign: HPS

Terms of delivery: All prices net, exW Renningen, Germany

Miscellaneous: See our "Terms of conditions and sale_compact"

We are looking forward to your order.

Yours sincerely

Dr.-Ing. Hans-Peter Schmid
WS-Reformer GmbH | 13.05.14

1. Scope of supply

Pos. 1 FLOX®-Fuel Processing Module FPM C1

designed for generation of hydrogen out of natural gas or LPG for operation in a PEM fuel cell system at 1 kW continuous electrical power. All components (1.1-1.5) completely assembled and mounted.



(**delivery might differ from picture, condenser as shown not part of supply)

Pos. 1.1 FLOX®-Compact Steam Reformer C1

Consisting of:

- cylindrical FLOX® combustion chamber, made from temperature resistant steel
- Integrated FLOX® burner for low-NOx combustion, made for continuous operation with reformat, propane or typical anode-off gas of a PEM fuel cell
- Integrated start burner for cold start and stand-by mode
- Reforming reactor including metal catalyst
- Cooled 1-stage CO-Shift reactor including catalyst
- Integrated CO-removal reactor (Selective Methanation)
- Integrated Evaporator for the process water
- Housing with integrated insulation
- Interfaces for media supply on top
- Combustion chamber



**Enclosure 1 to offer
Nr. WSR-A1416-14**

 Renningen, 13.05.14 | page 4 von 4
 Our sign: HPS

Pos. 1.2 Burner Air Supply


The burner air supply unit consists of a valve block with two solenoid valves, which switch the air path from start to FLOX combustion mode. A 24-V radial blower is fixed at the block and is equipped with a control box. Air flow is controlled by a 0-10V control voltage. Control of air flow is customer's scope of supply.

The burner and blower are well adapted and optimised. Any significant pressure loss, neither on the suction side nor in the exhaust line must be avoided.

Pos. 1.3 Gas Supply Unit

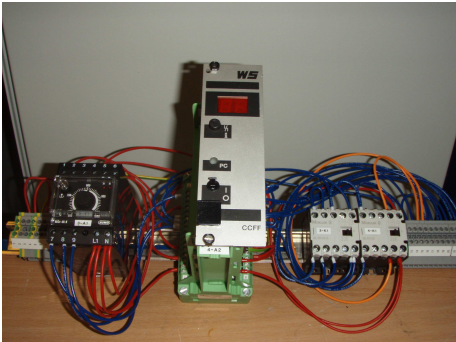

The gas supply unit consists of an integrated gas valve block with solenoid on/off valves for feed and fuel gas, as well as with a separate proportional valve for feed flow control via a digital controller. Flow rates and control of feed is customer's scope of supply.

Pos. 1.4 Desulfurisation Unit


Cartridge, made of stainless steel, filled with adsorbents for organic (natural source) and inorganic (odor source) sulfur. Designed for approx. 2000h of full load operation with typical EU-gas. Please note: the life-time depends on local gas composition and sulfur content as well as types of sulfur. Connected with feed gas line.

Pos. 1.5 Process Water Supply Unit


The unit comes along with a 24V-process membrane water pump, which supplies the demineralised process water at 5-6 bar. Expected life-time of the pump is about 10.000 h. Included is the control box, with 0-10 V control voltage. Flow control is customer's scope of supply.

**Enclosure 1 to offer
Nr. WSR-A1416-14**Renningen, 13.05.14 | page 5 von 5
Our sign: HPS**Pos. 2.0 Burner Control unit**

The burner control unit consists of an automated burner control (industrial standard), specially designed for FLAME-FLOX burners. FLOX requires fail-safe temperature control and the subsequent switch of the air path in the burner. The fail-safe procedure can be realised in the main control of the burner. A hardware wired safety control switch (JUMO) is part of the delivery. A 220V ignition transformer supplies ignition energy for the heat-up procedure in burner START-mode. Wiring and integrating the units in the main control box is customer's scope of supply. For large production quantities and for cost reasons, it is recommended to integrate the burner control in the system control unit.

2. Modes of operation and control requirements:

- The burner control unit (CBFF) controls the burner system of the start burner and the FLOX burner by measuring the temperature in the combustion chamber. Once having reached the FLOX temperature level (>850°C), the control gives signals to the relevant magnetic valves and switches from start to FLOX-mode.
- The FLOX burner can then be operated in an on/off mode according to the temperature signal (heat demand) in the combustion chamber / reformer section or at continuous fuel rate with anode-off-gas. Usually, in fuel cell systems the amount of anode-off gas does not meet the heat demand of the reformation. Additional fuel can be added in a pulsed mode.
- The reforming capacity is lead by the amount of DI-water, supplied at 5-10bar with the water pump. An injection-pump sucks the feed gas into the water vapour. The water flow has to be controlled by the pump system.
- In order to ensure a constant S/C ratio at varying loads, a mass flow controller or proportional valve is required in the feed-gas line.
- During start-up, usually the gas quality does not meet the requirements of the fuel cell from the beginning. Therefore, reforming has to be started at a specific part load, so that the heating value of the produced gas is lower than 2 kW and can then be used in the start- or flox burner for further heating up the system.

3. Scope of delivery and interfaces:

Delivery according to drawing, including Reformer unit, jet pump as mixing device for feed and water and burner control unit. Media supply and control equipment to be installed and integrated by the customer.

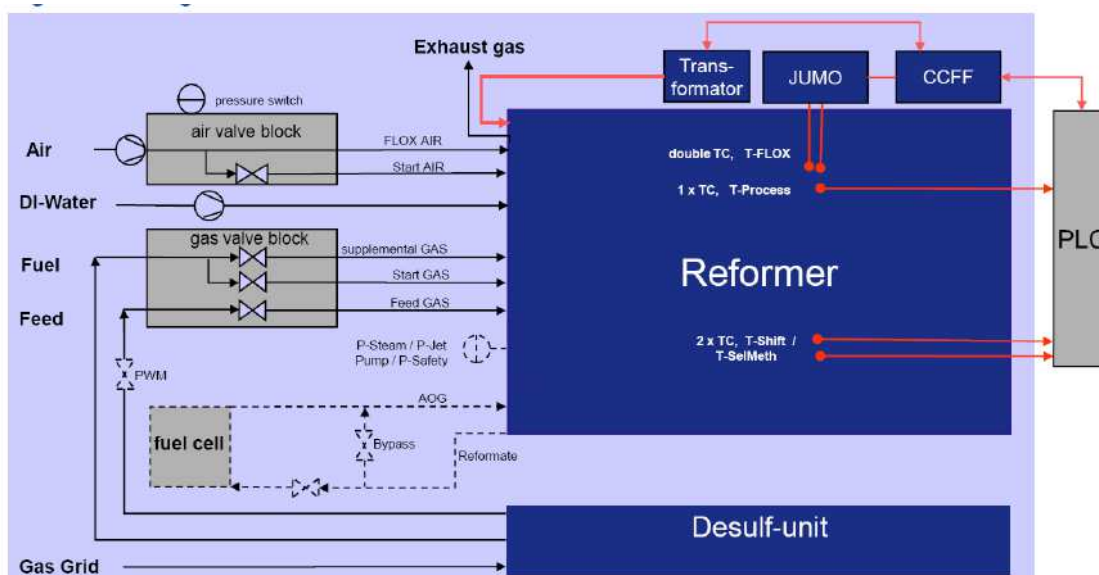


Figure 1: Interfaces to the fuel cell and media supply

3. Technical Data FLOX[®] Reformer compact C1

Reforming :

Feed Input	Natural gas / LPG (S<1ppm)	3,3 kW (10°C<T<40°C, p _{max.} 0 mbar)
	Water (DI <1μS/cm, p=6bar)	1,1-1,4l/h (1,35–1,6 Nm ³ /h) (Critical are Ca-based ions, not metallic based ions)
Reformate output		appr. 2 Nm ³ /h (dep. on S/C)
	Methane	< 3%
	Hydrogen	20 slm (1,2 Nm ³ /h)
	CO	< 10ppm
	Temperature	200-250°C
	Pressure	appr. 150 mbar
Specific heat demand	Fuel (Propane, typical Anode-off-gas)	appr. 1,7 kW

Burner System : (integrated in Reformer)

FLOX[®]- Brenner with recuperator for anode-off-gas combustion:

Power	max. 5 kW
Operation range	1,1 < λ < 1,5
Emissions (5%O ₂ , dry basis)	CO < 50 ppm NO _x < 50 ppm
Temperatur in combustion chamber	850 -1050 °C
Exhaust gas temperature @ rated load	250°C
Air pressure	ca. 50 mbar
Anode-off Gas pressure	ca. 50 mbar

Start Burner:


Power	appr. 2,7 kW
Air fuel ratio	1-1,4
Air pressure	< 40 mbar
Gas pressure	18 mbar
Additional fuel	18 mbar

Geometric Data:

Overall Size	cylindrical shape (hxd) (height without media supply connectors)	420 x 250mm
Volume		21 l
Weight		< 25 kg

Miscellaneous:

Max. external surface temperature	< 30K above ambient
Turn-down ratio	1:3
Cold start from 20°C (cold iron)	appr. 40 min **
Start from stand-by (T_Shift=200°C, T_Reactor 550°C)	appr. 10 min **

	Hydrogen Generator from Water Electrolysis	Offer : 090514 TUL Date : 09/05/14 Rev. : Sheet : 1 of 5
	0.5-1 Nm³/h - 20bar	Economical Offer



Technical University of Liberec (TUL)

Studentská 1402/2,

460 01 Liberec

Repubblica Ceca


ECONOMICAL PROPOSAL

related to

HYDROGEN GENERATOR FROM WATER ELECTROLYSIS


rated
0.5-1 Nm³/h Hydrogen 99.00%
Pressure 20bar
Hydrogen Purification Unit 99.99%
KOH Purification Unit traces

REV.	DATE	PREPARED BY	CONTROLLED BY	APPROVED BY	NOTES
/	09/05/14	MB	MD	MD	Emission

	<p style="text-align: center;">Hydrogen Generator from Water Electrolysis</p> <p style="text-align: center;">0.5-1 Nm³/h - 20bar</p>	<p>Offer : 090514 TUL Date : 09/05/14 Rev. : Sheet : 2 of 5</p> <p style="text-align: center;">ECONOMICAL OFFER</p>
---	---	---

CONTENTS

1. SUPPLY BY THE SELLER
2. PRICES
3. TERMS OF PAYMENT
4. DELIVERY TERMS
5. INDIRECT AND/OR CONSEQUENTIAL DAMAGES
6. PROPOSAL VALIDITY
7. WARRANTY AND MAINTENANCE

	<p style="text-align: center;">Hydrogen Generator from Water Electrolysis</p> <p style="text-align: center;">0.5-1 Nm³/h - 20bar</p>	<p>Offer : 090514 TUL Date : 09/05/14 Rev. : Sheet : 3 of 5</p> <p style="text-align: center;">ECONOMICAL OFFER</p>
---	---	---

1. SUPPLY BY THE SELLER

1.1 One complete VOLTIANA[®] Pressurised Water Electrolyser:


- Performing as described in the chapter 1 of technical booklet attached;
- Based on the general characteristics as from the chapter 2 of the technical booklet in Enclosure;
- Comprising the sections and featuring the functions depicted in the chapter 3 of the technical booklet attached;
- Provided with the safety measures described in the chapter 4 of the technical booklet in enclosure;
- Instruction Manual, including the detailed description of the electrolyser, the directions for the unit installation, use and maintenance.

1.2 Gas analyser LEL for the continuous determination of the concentration of oxygen in the produced hydrogen, including its integration within the electrolyser, with data monitoring, alarm raising and unit tripping by the programmable controller;

1.3 Dedicated Software for Remote Operation by PC;

1.4 KOH Purification Unit, traces;

1.5 H₂ Purification Unit, 99.99%;

	<p style="text-align: center;">Hydrogen Generator from Water Electrolysis</p> <p style="text-align: center;">0.5-1 Nm³/h - 20bar</p>	<p>Offer : 090514 TUL Date : 09/05/14 Rev. : Sheet : 4 of 5</p> <p style="text-align: center;">ECONOMICAL OFFER</p>
---	---	---

2. PRICES

- 2.1 Electrolyser **0.5 Nmc/h, 20 bar** as from §1.1 _____ **€ 17.000,00**
- 2.2 Electrolyser **1.0 Nmc/h, 20 bar** as from §1.1 _____ **€ 24.000,00**
- 2.2 Gas Analyser LEL as from §1.2 _____ **Included**
- 2.3 Dedicated Software as from §1.3 _____ **Included**
- 2.4 KOH Purification Unit as from §1.4 _____ **Included**
- 2.5 H₂ Purification Unit as from §1.5 _____ **Included**

3. TERMS OF PAYMENT

Payments shall be effected through direct bank transfer to the Seller account according to the following schedule:

- 50% within 10 days from the Contract signature as down payment;
- 50% on delivery of the equipment, guaranteed by a Credit Letter.


Any delay in any payment shall entitle the Seller to delay the delivery, in non-application of the terms foreseen in chapter 4 below.

4. DELIVERY TERMS

The equipment included in the “supply by the Seller” (refer to § 1 above) will be delivered and commissioned at Seller works within 4 months from the signature of the related contract.

Delivery : Ex Works (INCOTERMES 2010); on demand H2 Nitidor can organize the shipment.

Package : at cost

	<p style="text-align: center;">Hydrogen Generator from Water Electrolysis</p> <p style="text-align: center;">0.5-1 Nm³/h - 20bar</p>	<p>Offer : 090514 TUL Date : 09/05/14 Rev. : Sheet : 5 of 5</p> <p style="text-align: center;">ECONOMICAL OFFER</p>
---	---	---

5. INDIRECT AND/OR CONSEQUENTIAL DAMAGES

Under or in connection with this Contract, the Seller shall in no event be liable for any indirect or consequential damages such as, but not limited to loss of production and/or loss of raw materials and/or loss of profit.

6. PROPOSAL VALIDITY

This proposal is valid up to the 30th day of June, 2014.

7. WARRANTY AND MAINTENANCE

Warranty : 12Month from Positive Run Test in H2N.

Hoping in your kind acceptance of this Proposal,

Yours faithfully,

H2 NITIDOR s.r.l.
HIGH PRESSURE GENERATOR
Via Molinari, 49
26845 CODOGNO (LO)
ph. +39 0377 435192 Fax +39 0377 434284
Part. IVA 06575140964



Massimiliano Boccia
H2Nitidor srl
Via Molinari, 49
26845 Codogno (LO) – ITALY
Tel: +39.0377.435.192 Fax: +39.0377.434.284 Mob: +39.366.6292635
Massimiliano.boccia@h2nitidor.com

NABÍDKA č. OV-0500011
ze dne 14. května 2014

Technická univerzita v Liberci

p. Daniel Slabý

Studentská 1402/2

Liberec

tel.: 605 016 467

AKCE: **Dodávka svazku tlakových lahví vodíku**

Vážený pane,

předkládáme Vám nabídku na dodávku svazku tlakových lahví vodíku:

1. Dodávka svazku tlakových lahví:**207 600,- Kč**

Svazek tlakových lahví 16x 50 l, 200 bar, vodík, vč. Dokumentace

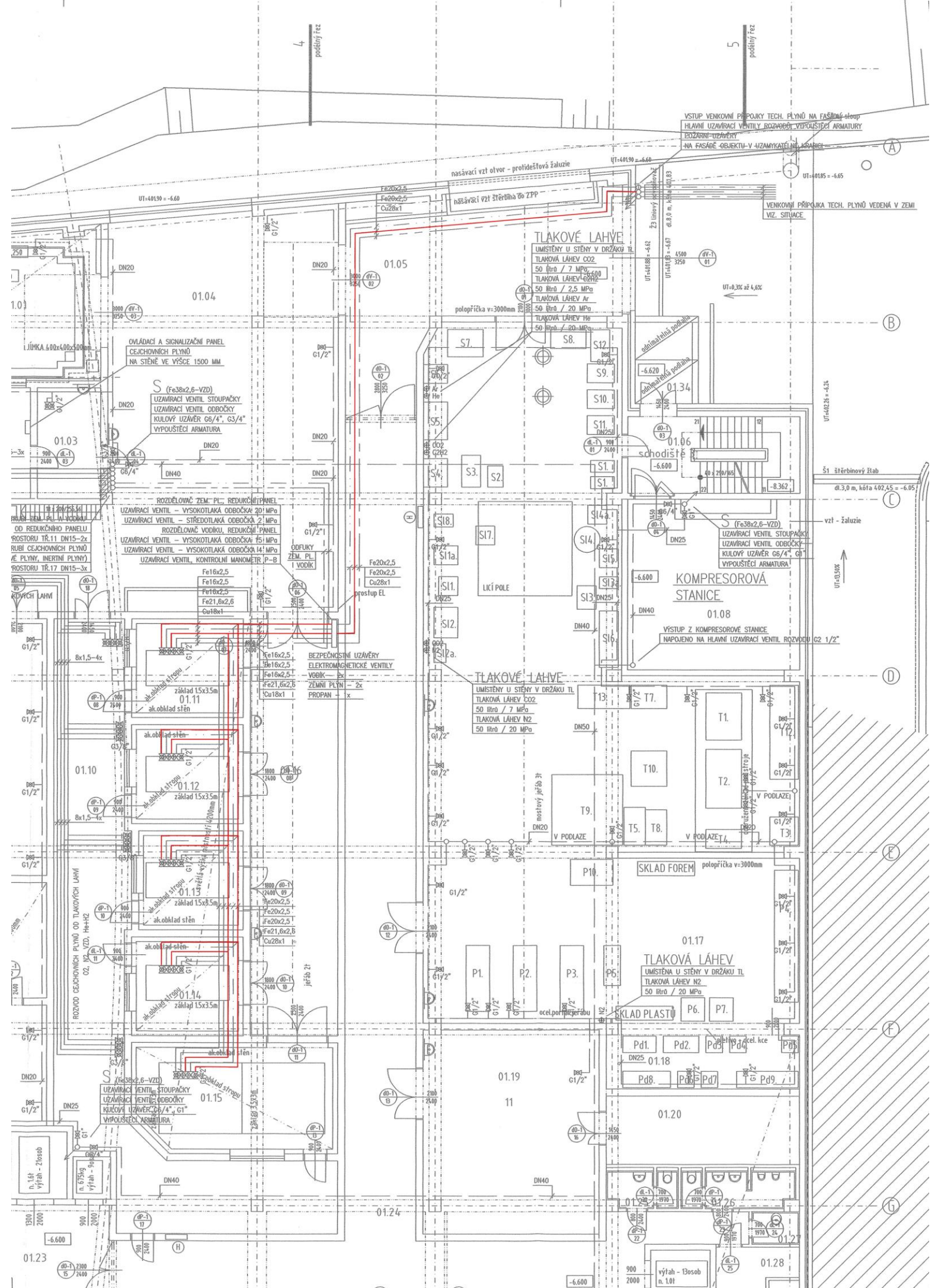
**2. Doprava svazku Děčín - Liberec:****6 000,- Kč****CELKEM bez DPH:****213 600,- Kč****Nabídka neobsahuje: instalace svazku v Liberci**

Platnost nabídky: do 20.6. 2014
Záruka: 24 měsíců
Termín dodání: cca do 4 měsíců od objednání (dle dodání lahví)
Platební podmínky: 65% zálohová platba při vystavení objednávky
Doplatek po předání, do 14 dní od data faktury
(případně dle dohody je možná i záloha 100%)

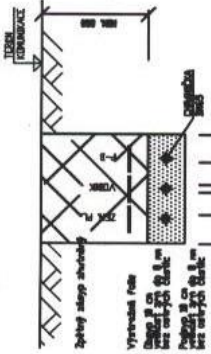
Doufáme, že nabídku shledáte zajímavou a obrátíte se na naši firmu i v budoucnu.

Zpracoval:

Radim Příbil



ULožENí POTRUBí V ZEMí
 03/2007



Plán zakládání zemních arád za štítu stavbu, užitých v odvětvích rekonová.
 měřítko 1:100

STOPÁNÍ, KLESÁNÍ
CHRANIČKA POTRUBÍ
POTRUBÍ VODNÍHO
POTRUBÍ ZEMNÍHO PLYNU
POTRUBÍ PROPAN-BUTANU

projekt BUDOVA L TUL
 stavební objekt SO 01- BUDOVA L

klíent TECHNICKÁ UNIVERZITA
 V LIBERCI

Hlavní projektant AR TUL
 architektura kancelář bytové architektury
 Ing. Zdeněk Kvačil
 Ing. Jiří Štáhl
 Ing. Petr Štáhl
 Ing. Petr Štáhl
 Ing. Petr Štáhl

architekt ING. ARCH. MARTIN ŠAML
 projektant TK PROJEKT
 Ing. Zdeněk Kvačil
 Autorizovaný inženýr pro technickou zprávu stavb
 Lelečák 431, 480 01 Liberec 12
 tel. +420 485 121 032
 e-mail: tk.projekt@volny.cz

část projektu SO 27 - TECHNICKÉ PLYNY
 název výkresu SITUACE
 PŘÍPOJKA TECH. PLYNŮ
 vypracoval ING. ZDENEK KVAČIL

stupeň projektu DOKUMENTACE KE STAVEBNÍM
 POVOLENÍ
 měřítko 1:100
 číslo výkresu TP-27-02
 datum 03/2007
 paré

