

# OBSAH

<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
1.1 Energetika v ČR.....	10
1.2 Přechod světové energetiky z ropy na vodík.....	11
1.3 Energetika v rozvojových zemích.....	13
1.4 Omezené zdroje a stoupající spotřeba energie.....	14
1.5 Budoucnost ropy.....	16
1.5.1 Spotřeba ropy.....	17
1.5.2 Cena ropy.....	19
1.5.3 Rezervy ropy.....	20
1.5.4 Ropná krize.....	21
1.5.5 Nekonvenční ropa.....	24
1.6 Klima.....	26
1.7 Program Kalifornie (ZEV).....	29
1.8 Protokol Kyoto.....	30
1.9 Biogenní paliva.....	34
1.10 Bioplyn.....	35
1.11 Zemní plyn.....	36
1.12 Alternativní pohonné systémy.....	39
1.12.1 Plynový pohon.....	39
1.12.2 Elektrický pohon.....	39
1.12.3 Hybridní pohon.....	40
1.12.4 Vodíkový pohon.....	40
1.12.5 Palivový článek.....	41
<b>Souhrn .....</b>	<b>43</b>
<b>2 VÝROBA VODÍKU .....</b>	<b>45</b>
2.1 Výroba vodíku z fosilních paliv.....	46
2.1.1 Konvenční alkalická elektrolýza vody.....	47
2.2 Výroba vodíku z nefosilních paliv.....	48
2.3 Elektrolytický rozklad vody.....	49
2.4 Výroba vodíku Linde Gas.....	51
2.4.1 Průběh a výkon zkapalňování.....	53
2.4.2 Hlavní komponenty zkapalňování.....	56
2.5 Termochemické štěpení vody.....	57
2.5.1 Solární termochemický cyklus.....	59
2.6 Solární výroba vodíku.....	60
2.7 Další vývoj vyspělých systémů elektrolýzy.....	62
2.7.1 Přímá solárně tepelná produkce vodíku.....	62
2.8 Zlepšování techniky elektrolýzy.....	64

2.8.1 Fytobiologická výroba vodíku.....	65
<b>Souhrn .....</b>	<b>65</b>
<b>3 SKLADOVÁNÍ VODÍKU .....</b>	<b>67</b>
3.1 Velkokapacitní skladování .....	69
3.1.1. Skladování plynného vodíku .....	70
3.1.2. Skladování kapalného vodíku.....	72
3.1.3 Skladování vodíku u uživatele.....	74
3.2 Nádrže vodíku vozidel .....	75
3.3 Významnější typy nádrží pro vozidla.....	77
3.4 Skladování vodíku formou hybridů a jiných chemických sloučenin.....	84
3.4.1 Mechanismus tvorby hybridů.....	85
3.4.2 Technologie skladování vodíku formou hybridů .....	86
3.5 Nanotechnologie.....	90
<b>Souhrn .....</b>	<b>91</b>
<b>4 PALIVOVÝ ČLÁNEK .....</b>	<b>93</b>
4.1 Historie.....	93
4.2 Stavba palivového článku.....	94
4.2.1 Typy a použití palivových článků .....	96
4.3 Stručný popis elektrolytů palivových článků .....	98
4.3.1 Palivový článek polymer - elektrolyt (PEFC).....	98
4.3.2 Alkalický palivový článek (AFC) .....	99
4.3.3 Palivový článek s kyselinou fosforečnou (PAFC) .....	99
4.3.4 Palivový článek s roztavenými uhlíčitany (MCFC).....	99
4.3.5 Palivový článek s tuhými oxidy (ITSOFC).....	99
4.3.6 Palivový článek s tuhými oxidy – trubkový (TSOFC) .....	100
4.4 Systémy palivových článků.....	100
4.4.1 Svazek článků.....	101
4.4.2 Membrána.....	103
4.4.3 Elektrody .....	104
4.4.4 Anoda .....	105
4.4.5 Elektrolyt.....	105
4.4.6 Katalyzátor .....	106
4.5 Technologie palivových článků .....	106
4.5.1 Požadavky na obsah síry .....	108
4.5.2 Požadavky na oxid uhelnatý.....	108
4.5.3 Požadavky na karbonové usazeniny.....	109
4.6 Příprava paliva.....	109
4.6.1 Procesor paliva .....	110

4.6.2	Reformace .....	111
4.6.3	Předčištění plynu .....	114
4.6.4	Jemné čištění plynu .....	114
4.6.5	Zpětné vedení paliva .....	115
4.6.6	Tepelný management .....	116
4.6.7	Oběh vody .....	117
4.6.8	Odezva systému palivového článku .....	118
4.7	Jednotlivé palivové články .....	120
4.7.1	Palivový článek polymer - elektrolyt PEFC.....	120
4.7.2	Alkalický palivový článek (Alkaline Fuel Cell ) AFC.....	124
4.7.3	Palivový článek s kyselinou fosforečnou PAFC.....	127
4.7.4	Palivový článek s roztavenými uhličitany (Molten Carbonate Fuel Cell) MCFC.....	131
4.7.5	Palivový článek s tuhými oxidy (Solid Oxide Fuel Cell) SOFC .....	134
4.7.6	Palivový článek ITSOFC .....	137
4.7.7	Palivový článek TSOFC.....	137
4.7.8	Přímometanolový palivový článek (Direct Methanol Fuel Cells) DMFC .....	139
4.7.9	Regenerativní palivový článek (Regenerative Fuel Cells) RFC .....	142
4.7.10	Palivový článek zinek-vzduch (Zinc-Air Fuel Cells) ZAFC .....	144
4.7.11	Keramický palivový článek (Protonic Ceramic Fuel Cells) PCFC.....	145
4.8	Palivové články pro mobilní aplikace .....	145
4.9	Výkon palivového článku.....	148
4.9.1	Zvýšení výkonu palivového článku.....	152
4.10	Účinnost .....	155
4.11	Reakční entalpie a potenciál článku.....	157
4.12	Spotřeba paliva .....	158
<b>Souhrn</b> .....	<b>159</b>	

## **5 STABILNÍ POUŽITÍ VODÍKU.....162**

5.1	Palivové články v přenosných, drobných zařízeních .....	163
5.2	Sloučení mobilního a stabilního energetického systému .....	166
5.3	Vytápění domů .....	168
5.3.1	Palivový článek jako kogenerační jednotka .....	169
5.3.2	Dodávky tepla a elektřiny domácnostem .....	170
5.3.3	Aspekty projektu .....	171
5.4	Účinnost .....	172
5.5	Palivový článek pro průmysl.....	174
<b>Souhrn</b> .....	<b>176</b>	

## **6 MOBILNÍ POUŽITÍ VODÍKU ..... 177**

6.1	světové systémy palivových článků pro motorová vozidla.....	179
6.2	Mezinárodní spolupráce výrobců automobilů.....	180
6.3	Motorová vozidla s palivovými články (dvou až tříkolová) .....	183

6.4 Osobní automobily .....	186
6.4.1 DaimlerChrysler .....	186
6.4.2 BMW .....	189
6.4.3 Volkswagen .....	191
6.4.4 Opel a General Motor .....	193
6.4.5 Peugeot .....	195
6.4.6 Ford Focus FCV .....	197
6.4.7 Chrysler .....	199
6.4.8 Honda .....	200
6.4.9 Toyota .....	201
6.4.10 Mazda .....	203
6.4.11 Indie .....	203
6.4.12 Čína .....	204
6.5 Příloha .....	204
6.6 Užitková vozidla .....	207
6.6.1 IVECO .....	207
6.6.2 Sériový nízkopodlažní autobus MAN .....	208
6.6.3 ECTOS .....	208
6.6.4 DaimlerChrysler NEBUS .....	209
6.6.5 DaimlerChrysler CITARO .....	210
6.6.6 DaimlerChrysler MB Sprinter .....	210
6.6.7 SCANIA .....	211
6.6.8 Toyota .....	211
6.6.9 Autobus VTA Utilite .....	212
6.6.10 Autobus HICKAM AFB .....	213
6.6.11 Tsingua University .....	214
6.6.12 Celosvětový program aktivních demonstrací autobusů s palivovými články .....	215
6.7 Příloha .....	216
6.8 Vlaková souprava .....	217
6.9 Letadla .....	218
6.9.1 TU 155 .....	219
6.9.2 CRYOPLAN – AIRBUS .....	220
6.9.3 Emise leteckého provozu .....	221
6.9.4 Zavedení vodíku do leteckého provozu .....	223
6.9.5 Přechod z leteckého petroleje na vodík .....	225
6.10. Lodě .....	227
6.10.1 Ponorky .....	228
<b>Souhrn .....</b>	<b>230</b>

## **7 DISTRIBUCE VODÍKU..... 232**

7.1 Plánované sítě čerpacích stanic USA .....	233
7.2 Kalifornie .....	237
7.3 Počátek přechodu k vodíkovému dopravnímu palivu v USA .....	238
7.3.1 Technologický vývoj a příslušenství čerpání vodíkového paliva .....	241
7.3.2 Systémová analýza .....	243
7.3.3 Čerpací stanice vodíku v USA .....	244

7.4	Japonsko .....	246
7.5	Čína .....	247
7.6	Evropa .....	249
7.7	Velké projekty vedou k přechodu na vodík .....	250
7.8	Vodíková dálniční mapa Evropy .....	252
7.9	Německo .....	256
7.10	Norsko .....	259
7.11	Itálie .....	260
7.12	Francie .....	261
7.13	Česká republika .....	261
7.14	Transport vodíku .....	262
	7.14.1 Přeprava plynového vodíku v Evropě .....	265
	7.14.2 Mezikontinentální přeprava kapalného vodíku .....	265
7.15	Příloha .....	268
	<b>Souhrn .....</b>	<b>269</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>271</b>
<b>9</b>	<b>ODBORNÉ POJMY A ZKRATKY .....</b>	<b>275</b>
	<b>REJSTŘÍK .....</b>	<b>279</b>