



**Slovenska tehnološka platforma  
za vodik in gorivne celice**

**Slovenian Hydrogen and Fuel Cell  
Technology Platform**

---

**OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE**

VODIK IN GORIVNE CELICE

**IZHODIŠČA ZA STRATEŠKE USMERITVE REPUBLIKE SLOVENIJE  
NA PODROČJU TEHNOLOGIJ VODIKA IN GORIVNIH CELIC**

GRADIVO ZA PROJEKT  
"PRIMERJALNA ANALIZA TRENDOV VLAGANJ V RAZISKAVE IN RAZVOJ V  
TEHNOLOGIJE NA PODROČJU ENERGIJE"

---

Datum: 14. september 2007

Namen: Predstaviti izhodišča, na podlagi katerih bi lahko temeljile usmeritve vlade Republike Slovenije na področju tehnologij vodika in gorivnih celic - priprava slovenskega SET plana

Pri izdelavi dokumenta sodelovali:

**IZVRŠILNI ODBOR SIHFC:**

- |                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| - dr. Tomaž KMECL, predsednik | Domel, d.d.               |
| - Robert ŽERJAL, član         | Iskra Avtoelektrika, d.d. |
| - Mirko PETROVIČ, član        | Rotomatika, d.o.o.        |
| - dr. Stanko HOČEVAR, član    | Kemijski inštitut         |
| - dr. Dušan FLORJANČIČ, član  | JEKO-IN, d.o.o.           |
| - mag. Matej GAJZER, član     | TECES                     |

**DRUGI:**

- |                      |                              |
|----------------------|------------------------------|
| - Gorazd LAMPIČ      | Sinteza d.o.o.               |
| - dr. Miha SEKAVČNIK | UL, Fakulteta za strojništvo |
| - Janez RENKO        | GZS                          |

## KAZALO VSEBINE

1	IZHODIŠČA ZA STRATEŠKE USMERITVE REPUBLIKE SLOVENIJE NA PODROČJU TEHNOLOGIJ VODIKA IN GORIVNIH CELIC .....	3
1.1	Splošni trendi uveljavljanja tehnologije gorivnih celic na globalnem trgu (TRENUTNO STANJE) .....	3
1.2	PROJEKCIJE PRODORA NA TRG .....	3
1.2.1	Slovenski razvojni potenciali in razvojna partnerstva .....	3
1.3	Multiplikativni učinki (zastavljeni cilji in vloga tehnološke platforme) .....	4
1.4	Vrzeli pri realizaciji in takojšnje potrebe razvojnih partnerstev ter pričakovanja (priporočila za oblikovanje politik) .....	4
1.5	kratek Pregled vlaganj v področje vodika in gorivnih celic v Sloveniji .....	5
2	PRILOGA 1: PREDSTAVITEV PARTNERJEV SIHFC .....	7
3	PRILOGA 2: STATISTIČNI PODATKI ZA PRIPRAVO IZHODIŠČ .....	13
3.1	Podatki o poslovanju panog predelovalne industrije Slovenije za leto 2004 .....	13
3.2	Indeksi rasti posameznih kategorij prihodkov in dodane vrednosti v posameznih dejavnostih predelovalne industrije v letu 2004 glede na leto 2003 .....	15
4	PRILOGA 3: STRATEŠKI RAZVOJNI PROGRAM SIHFC .....	19



**Slovenska tehnološka platforma za vodik in gorivne celice  
Slovenian Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform**

Pobreška cesta 20, SI-2000 Maribor

☎ +386 2 333 13 50

☎ +386 2 333 13 51

✉ [info@sihfc.si](mailto:info@sihfc.si)

<http://www.sihfc.si>

## 1 IZHODIŠČA ZA STRATEŠKE USMERITVE REPUBLIKE SLOVENIJE NA PODROČJU TEHNOLOGIJ VODIKA IN GORIVNIH CELIC

### 1.1 SPLOŠNI TRENDI UVELJAVLJANJA TEHNOLOGIJE GORIVNIH CELIC NA GLOBALNEM TRGU (TRENUTNO STANJE)

Nova odkritja, razvoj sodobnih materialov in različni zunanji dejavniki (cena nafte, ekološki problemi, pričakovano pomanjkanje energije...) so v zadnjih desetletjih gorivne celice pripeljali do uporabe v:

- pogonskih sistemih električnih in hibridnih vozil (osebni avtomobili, avtobusi, tovornjaki, motorji, invalidski vozički...),
- prenosnih napravah (prenosni računalniki in druga elektronska oprema),
- stacionarnih sistemih pri decentralizirani oskrbi z električno in toplotno energijo...

V razvoj gorivnih celic in ostalih pripadajočih komponent veliko vlagajo vlade ZDA (v letu 2005 preko 250 milijonov EUR<sup>1</sup>), Japonske (v letu 2005 več kot 260 milijonov EUR<sup>2</sup>), EU (okoli 400 milijonov EUR na leto v naslednjih 7 letih<sup>3</sup>) in večina drugih držav ter skoraj vsa svetovna energetska in avtomobilska industrija.

Uveljavljata se predvsem dva tipa gorivnih celic:

- PEM (Proton Exchange Membrane) - mobilni sistemi (gorivo je vodik)
- SOFC (Solid Oxide Fuel Cells) - stacionarni sistemi (delujejo pri visoki temperaturi in uporabljajo plinaste ter tekoče ogljikovodike)

Glavne prednosti gorivnih celic v primerjavi s klasičnimi energijskimi pretvorniki so predvsem:

- bistveno boljši energijski izkoristek,
- ekološko neoporečno delovanje, brez škodljivih emisij plinov in toplote,
- manjša masa in volumen,
- delovanje brez hrupa in vibracij,
- hitrejša odzivnost,
- večja kompatibilnost v hibridnih sistemih...

### 1.2 PROJEKCIJE PRODORA NA TRG

Gorivne celice bodo v prehodnem obdobju dopolnjevale in postopoma zamenjevale klasične energijske pretvornike. V kasnejšem obdobju pa se bodo v največji meri obdržale v mobilnih sistemih (vozila...). Na vodiku temelječa tehnologija namreč poleg energijske pretvorbe omogoča tudi učinkovito shranjevanje energije. V stacionarnih sistemih bodo imele gorivne celice verjetno primerljiv delež s fuzijo in sončno energijo.

Vojaška industrija uporablja tehnologijo vodika in gorivnih celic za energijsko oskrbo vojaških vozil, komunikacijskih in računalniških sistemov ter za energijsko oskrbo vojakov. Prednosti v primerjavi z drugimi viri energije sta tudi možnost neprekinjenega delovanja in termična nevidnost.

Gonilna sila razvoja je trenutno avtomobilska industrija, kjer nekatera podjetja že v dveh do štirih letih načrtujejo masovno proizvodnjo. Sočasno z razvojem gorivnih celic poteka tudi izgradnja infrastrukture za pridobivanje, prenos in skladiščenje vodika.

#### 1.2.1 SLOVENSKI RAZVOJNI POTENCIALI IN RAZVOJNA PARTNERSTVA

V okviru slovenske industrije, raziskovalnih in izobraževalnih institucij smo se že povezali in v sodelovanju z gospodarsko zbornico ustanovili Slovensko tehnološko platformo za vodik in gorivne celice (SIHFC)<sup>4</sup>.

Razvojne aktivnosti usmerjamo na tri glavna področja:

<sup>1</sup> Vir: [www.fuelcellmarkets.com](http://www.fuelcellmarkets.com)

<sup>2</sup> vir: METI – Ministry of Economy, Trade and Industry

<sup>3</sup> vir: HFP-JTI 2005 in IEA/EET

<sup>4</sup> Podrobnosti v poglavju 2 – »Priloga 1: Predstavitev partnerjev SIHFC« na strani 7

- gorivne celice za stacionarne sisteme,
- gorivne celice za mobilne sisteme in
- pridobivanje in shranjevanje vodika.

Celoten razvoj gorivnih celic je prevelik zalogaj zato se usmerjamo predvsem v

- razvoj nekaterih ključnih komponent gorivnih celic,
- razvoj nekaterih pripadajočih komponent in
- razvoj ostalih delov sodobnih pogonskih sistemov.

Razlogi za tovrstne usmeritve:

- Naše raziskovalne institucije so močne na področju bazičnih raziskav, kjer je že vpeljan razvoj nekaterih osrednjih komponent kot so npr. membrane za prenos protonov...
- Naša industrija je fleksibilna in je že vpletena v razvoj sistemov gorivnih celic (Domel – sodelovanje s Hydrogenics (Kanada)) in podsistemov (Iskra Avtoelektrika).
- Ena izmed najmočnejših vej slovenskega gospodarstva je proizvodnja elektromotorjev (Iskra Avtoelektrika, Domel, Rotomatika, Kolektor...)<sup>5</sup>. Močni smo na področju elektronskih krmilnikov in ostalih elektronskih komponent. Eden izmed ključnih elementov pa so tudi inovacije na področju naj sodobnejših elektromotorjev za direktni pogon vozil.
- Naše gospodarstvo je sposobno s testiranjem obeh sistemov gorivnih celic (PEM in SOFC) preveriti podsisteme, ki skupaj z gorivno celico, kot srcem, omogočajo delovanje celote.
- Testiranje omenjenih podsistemov na trgu že obstoječih produktov, bo omogočilo slovenski industriji spoznati tehnične zahteve teh podsistemov ter ji omogočiti izdelavo ostalih komponent ter prodreti na najzahtevnejše trge avtomobilske industrije.

### 1.3 MULTIPLIKATIVNI UČINKI (ZASTAVLJENI CILJI IN VLOGA TEHNOLOŠKE PLATFORME)

Širša uporaba gorivnih celic bo za seboj potegnila celo vrsto dodatnih dejavnosti:

- pridobivanje, skladiščenje in distribucija vodika,
- reciklaža surovin (platina...),
- nove komponente za avtomobilsko in energetske industrije...

Poleg novih visoko-kvalitetnih delovnih mest, potreb po bazičnih in aplikativnih raziskavah in konkretni proizvodnji izdelkov z visoko dodano vrednostjo je razvoj gorivnih celic tudi interdisciplinarni mednarodni projekt s katerim se odpirajo nove možnosti za strateške povezave slovenske industrije.

Odpirajo se nove možnosti učinkovite izrabe alternativnih virov energije, kot sta fotovoltaika in vetrna energija. Prav tako Slovenija s svojo več kot 57 % pokritostjo z gozdom ponuja pomemben vir obnovljive energije, ki ga je mogoče učinkovito pretvoriti v vodik. Enako velja tudi za lignit kot možen in vir za učinkovito pridobivanje vodika. Tehnologije, ki temeljijo na uporabi vodika bodo postopno zmanjšala odvisnost od naftne industrije. V Sloveniji imamo odlične pogoje za pridobivanje vodika s pirolizo lesne biomase.

Pridobivanje vodika z elektrolizo v času manjše porabe energije bo povečalo konkurenčnost slovenskega energetskega gospodarstva ter omogočilo povezovanja sektorjev energetike in pometa.

Gorivne celice bodo vplivale na večji del slovenskega in seveda tudi svetovnega gospodarstva, saj bodo prisotne v vseh panogah, kjer se trenutno uporabljajo drugi viri in pretvorniki energije<sup>5</sup>.

Bistveno se bo tudi zmanjšalo obremenjevanje okolja, kar se bo posledično odražalo na boljšem zdravju ljudi in vsemu kar iz tega sledi.

### 1.4 VRZELI PRI REALIZACIJI IN TAKOJŠNJE POTREBE RAZVOJNIH PARTNERSTEV TER PRIČAKOVANJA (PRIPOROČILA ZA OBLIKOVANJE POLITIK)

V okviru SIHFC smo zadovoljni z nacionalnimi usmeritvami dolgoročnega NRRP, Lizbonske strategije, ter drugih mednarodno sprejetih dokumentov, ki jasno favorizirata vlaganja v razvoj tehnologije obnovljivih energijskih virov, kjer gorivne celice predstavljajo največji del. Pričakujemo da bo

<sup>5</sup> Podrobnosti v poglavju 3 – »Priloga 2: Statistični podatki za pripravo izhodišč« na strani 13

financiranje razvojnih aplikativnih projektov in naslednjih infrastrukturnih vlaganj sledilo tem zgledom tudi na izvršilni ravni.

Razširjen seznam enajstih konkretnih predlaganih razvojnih usmeritev je zbran v temeljnem dokumentu »Strateško razvojni program SIHFC – SRA« (Strategic Research Agenda - Priloga 3) na strani 29. Gre za tipičen primer sinergijskih učinkov med bazičnimi in aplikativnimi raziskavami.

Obenem pričakujemo da bo vlada nadaljevala s podporo nastajajočim visoko-tehnološkim podjetjem, ki so ključna za preboj novih tehnologij v slovensko in svetovno industrijo.

Spreminjanje temeljnih tehnologij je potrebno vpeljati tudi v nove dolgoročne učne programe na vseh stopnjah izobraževanja.

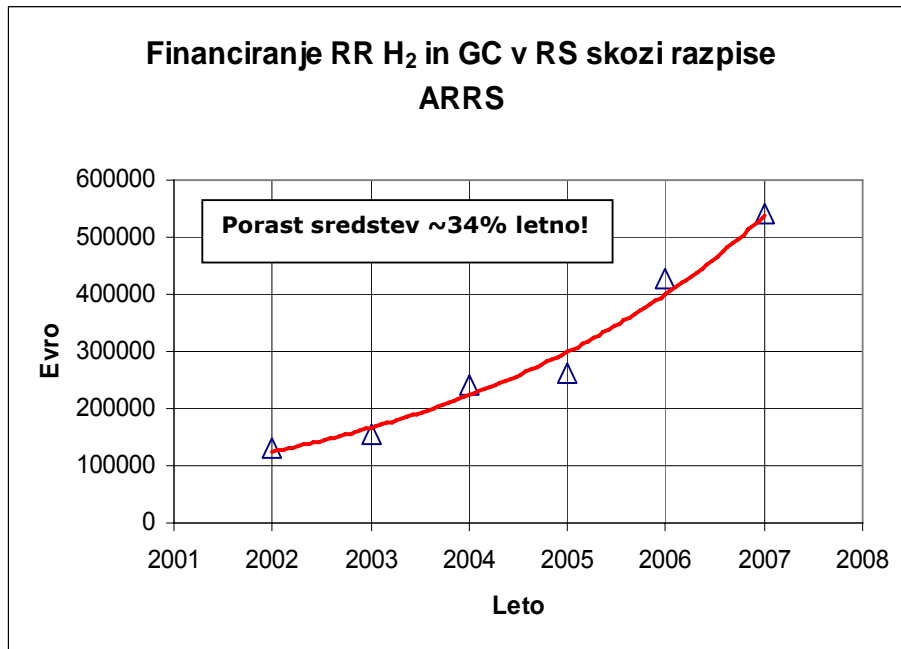
Zaradi velikega pomena tehnologij vodika in gorivnih celic ter odličnih možnosti za aktivno vključevanje slovenske industrije v globalni trg si od vlade Republike Slovenije želimo razumevanje in podporo pri tovrstnih projektih. Zavedati se je potrebno da gre za visoko tehnologijo, kjer so potrebni veliki vložki, ki jih slovenska industrija ne bo zmogla sama, obenem pa se obetajo tudi veliki dobički s širokim spektrom multiplikativnih učinkov. Vpeljava tehnologij vodika in gorivnih celic je globalno dejstvo, od vseh nas pa je odvisna vloga Slovenije na tem področju.

## 1.5 KRATEK PREGLED VLAGANJ V PODROČJE VODIKA IN GORIVNIH CELIC V SLOVENIJI

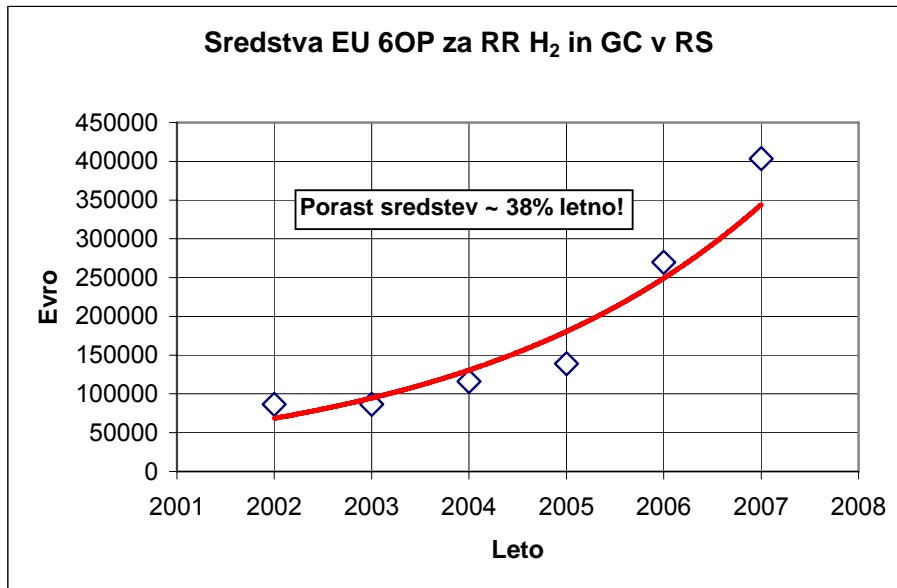
Začetki resnejših organiziranih naporov za uveljavitev raziskovalno-razvojnega dela na področju vodikovih tehnologij segajo v leto 1996, ko so se začeli financirati prvi raziskovalni projekti s strani slovenske države. Temu je sledilo praktično sočasno vključevanje vrhunskih slovenskih raziskovalnih ustanov v projekte Evropske skupnosti in sicer že v njenem 4. Okvirnem programu. Vendar se je raziskovalno-razvojno delo na tem področju v Sloveniji resneje razmahnilo šele po letu 2000. Zato prilagam dva diagrama, ki prikazujeta oceno dinamike vlaganj v obdobju 2002 do 2007 in sicer na ravni programov in projektov, ki jih financira Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) ter projektov, ki so jih slovenske raziskovalno-razvojne ustanove in podjetja pridobila v 6. Okvirnem programu Evropske zveze.

Iz obeh diagramov je razvidno, da bomo v letu 2007 v Sloveniji namenili skoraj 1.000.000,00 Evrov za raziskave in razvoj na področju proizvodnje, čiščenja in shranjevanja vodika ter gorivnih celic. To pomeni financiranje okoli 15 FTE (po ceni ure, ki jo določa ARRS za raziskovalni program D kategorije). Z letno rastjo okoli 35% nudi to področje možnosti za zaposlitev petih raziskovalcev v letu 2008 s povprečno bruto plačo 3051 Evrov na mesec. S tako eksponentno rastjo bi se število zaposlenih FTE do leta 2011 (torej v 4. letih) več kot potrojilo. V teh zneskih niso všteta sredstva, ki jih Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo namenja programu Mladih raziskovalcev, pa tudi ne sredstva, ki jih za raziskave in razvoj neposredno namenjajo podjetja.

Tako hitra rast potreb po najvišje kvalificiranem kadru nas je pripeljala tudi do sklepa, da je potrebno takojšnje ukrepanje za odpiranje študijskih programov ustreznih profilov na drugi in tretji stopnji sedanjih visokošolskih programov oziroma na drugi in tretji stopnji bodočih prenovljenih visokošolskih programov (t.im. bolonjskih programov).



Slika 1: Ocena o financiranju RR dela na področju proizvodnje, čiščenja in shranjevanja vodika ter gorivnih celic skozi programe in projekte na razpisih ARRS v letih 2002-2007 (iz podatkovne baze SICRIS)




Slika 1: Ocena o financiranju RR dela na področju proizvodnje, čiščenja in shranjevanja vodika ter gorivnih celic skozi programe 6OP EU v RS v letih 2002-2007 (iz podatkovne baze CORDIS)

## 2 PRILOGA 1: PREDSTAVITEV PARTNERJEV SIHFC

Predstavitev partnerjev SIHFC na dan 14.09.2007.

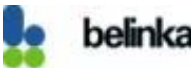
### SLOVENSKA PODJETJA

LINDE PLIN D.O.O., CELJE.	
	Bukovžlak 65b, 3000 Celje
☎	+386 3 426 07 54
📠	+386 3 426 07 82
✉	<a href="mailto:prodaja@si.linde-gas.com">prodaja@si.linde-gas.com</a>
	<a href="http://www.lindeplin.si">http://www.lindeplin.si</a> , <a href="http://www.linde.com">www.linde.com</a>




Linde plin d.o.o. je hčerinsko podjetje podjetja LINDE GROUP, največja distributerja tehničnih plinov na svetu. Skupaj z zelo veliko paleto tehničnih plinov za uporabo v predelovalni industriji, medicini, varovanju okolja, raziskavah in razvoju, oskrbuje stranke tudi z ustreznim znanjem, servisom in opremo za uporabo teh plinov

BELINKA PERKEMIJA D.O.O.	
	Zasavska 95, 1000 Ljubljana
☎	+386 1 588 62 99
📠	+386 1 588 63 03
✉	<a href="mailto:perkemijs@belinka.si">perkemijs@belinka.si</a>
	<a href="http://www.belinka.si">http://www.belinka.si</a>




Belinka Perkemija, d.o.o. je ena večjih proizvajalk peroksidnih spojin v Srednji Evropi. Njeni nosilni izdelki so vodikov peroksid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), natrijev perborat tetrahidrat, natrijev perborat monohidrat in peroksiocetna kislina (Persan-S). Poleg njih pri proizvodnji H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kot stranski izdelek nastaja tehnični plin ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>). Glavna surovina za proizvodnjo vodikovega peroksida je vodik, ki ga pridobivamo iz zemeljskega plina s postopkom parnega reforminga.

DOMEL, ELEKTROMOTORJI IN GOSPODINJSKI APARATI, D.D.	
	Otoki 21, 4228 Železniki
☎	+386 4 511 71 00
📠	+386 4 511 71 06
✉	<a href="mailto:info@domel.si">info@domel.si</a>
	<a href="http://www.domel.si">http://www.domel.si</a>



Domel, ustanovljen 1946 v Železnikih, je mednarodno podjetje, ki proizvaja univerzalne kolektorske motorje in motorje s trajnimi magneti za široko paleto proizvodov, vključno z glavnim – sesalno enoto za suho in mokro sesanje. Poslanstvo Domela je povečati vrednost kupcem, sodelavcem in delničarjem. Naša vizija je biti tržno orientirano, mednarodno uspešno podjetje, ki ga kupci prepoznajo kot izkušenega, vodilnega in razvojno naravnane partnerja. Naša strategija je obdržati visoki nivo kompetentnosti, jasnosti, hitrosti, učenja, inovativnosti, odgovornosti in samozaupanja, ki so najbolj pomembne vrednote za doseganje naših standardov kakovosti in poslovanja.

ISKRA AVTOELEKTRIKA, D.D.	
	Polje 15, 5290 Šempeter pri Gorici
☎	+386 5 339 30 00
📠	+386 5 339 38 01
✉	<a href="mailto:info@iskra-ae.com">info@iskra-ae.com</a>
	<a href="http://www.iskra-ae.com">http://www.iskra-ae.com</a>



Iskra Avtoelektrika je globalni dobavitelj zaganjalnikov in generatorjev za motorje z notranjim zgorevanjem, avtonomno napajanih enosmernih električnih pogonskih sistemov in drugih zahtevnejših komponent za avtomobilsko industrijo in industrijo transportnih sredstev. Te programe dopolnjujeta še tehnološki razvoj ter proizvodnja posebne opreme in orodij.

Iskra Avtoelektrika razvija, proizvaja in trži globalno z lastno proizvodno in prodajno-logistično mrežo, ki poleg podpore industrijskim odjemalcem, trži tudi širok izbor proizvodov za drugo vgradnjo. Prepoznavna je po inovativnosti, trajnostnem razvoju, visoki kakovosti ter veliki tržni in razvojni podpori svojim odjemalcem. Prepoznavnost temelji na kompetentnih ljudeh in fleksibilnih procesih. Družba sodi med inovativna podjetja, saj delež izdelkov starih do treh let v prodaji leta 2004 presega 25%. Podjetje želi postati na znanju temelječa, h kupcu usmerjena organizacija s proizvodi in sistemi z visoko dodano vrednostjo. Pri zasnovi proizvodov in procesov podjetje zadovoljuje vse okoljevarstvene in zdravstvene direktive in standarde.


Iskra Avtoelektrika d.d. si prizadeva za krepitev inovativnega okolja in prenos znanstvenih dosežkov v podjetniško izkoriščanje. Povezuje se s svojimi dobavitelji v grozde, tehnološke centre in tehnološke parke. Že od leta 1986 je družba registrirana kot raziskovalna organizacija ter tesno sodeluje s slovenskimi tehničnimi fakultetami in inštituti. Razvojno – raziskovalno dejavnost v Iskri Avtoelektriki d.d. izvajajo visoko strokovni kadri v Razvojnem centru in področjih razvoja v SPE s pomočjo sodobne opreme za načrtovanje hitro izdelavo modelov in prototipov ter ustrezne laboratorijske opreme, ki omogoča meritve in preizkuse tudi po najstrožjih zahtevah kupcev. Za raziskovalno razvojno dejavnost podjetje vlaga okrog 4% od svoje prodaje. Podjetje v katerem je zaposlenih nad 1500 ljudi je s svojimi trgovskimi in proizvodnimi podjetji ter predstavništvu prisotno na vseh celinah sveta.

#### ISKRA KONDENZATORJI, INDUSTRIJA KONDENZATORJEV IN OPREME, D.D.

Vajdova ulica 71, 8333 Semič	
+386 7 384 92 00	
+386 7 384 71 10	
<a href="mailto:iskra.semic@iskra-semic.si">iskra.semic@iskra-semic.si</a>	
<a href="http://www.iskra-semic.si">http://www.iskra-semic.si</a>	


Podjetje Iskra Kondenzatorji d.d. je priznani svetovni proizvajalec navitih folijskih kondenzatorjev, ki na razvitih trgih trži kondenzatorje in filtre za odpravo radio-frekvenčnih motenj, elektronske in motorske kondenzatorje, kondenzatorje za kompenzacijo jalove energije in specialne izvedbe kondenzatorjev, prav tako proizvaja in trži orodja, stroje in naprave za proizvodnjo kondenzatorjev in po posebnih zahtevah odjemalcev. Naše značilnosti so velika tržna in razvojna podpora odjemalcem, hitra prilagodljivost proizvodnje in odzivnost z dobavami na zahteve strank za poljubne velikosti serij. Odjemalcem hočemo biti prednostni dobavitelj, ki je razpoznaven po zadovoljevanju in preseganju njihovih zahtev.

#### MAGNETI LJUBLJANA D.D.





Stegne 37, 1000 Ljubljana	
+386 1 511 13 04	
+386 1 511 12 95	
<a href="mailto:info@magneti.si">info@magneti.si</a>	
<a href="http://www.magneti.si">http://www.magneti.si</a>	





Podjetje Magneti Ljubljana d.d. je delniška družba, specializirana za proizvodnjo trajnih magnetov na osnovi kovinskih zlitin AlNiCo, SmCo in NdFeB, magnetnih sistemov ter za proizvodnjo nemagnetnih sintranih delov. Podjetje je pretežno prisotno na najzahtevnejših tujih trgih in v avtomobilski industriji, v Sloveniji prodamo manj kot petino proizvodnje. Magneti so največji proizvajalec AlNiCo magnetov za senzorske aplikacije v Evropi ter pri številnih renomiranih kupcih tudi edini dobavitelj. Odjemalci sodijo med najuglednejše proizvajalce v avtomobilski industriji (ABS in ostali senzori) ter proizvodnji električnih merilnih instrumentov in motorjev. Naši najpomembnejši kupci v tujini so R. Bosch Fahrzeugelektrik, AB Elektronik, Siemens VDO Automotive (Nemčija, Francija, avtomobilska industrija), Maxon Interelectric, API Portescap (Švica, mali motorji in tahogeneratorji), Prefag (Nemčija, merilni instrumenti), Elsa, Esem in Köhler (Turčija, števeci električne energije) ter številna druga uspešna podjetja. Največja domača kupca sta Iskraemeco (števeci električne energije) in Iskra MIS (merilni instrumenti).





#### PIKTRONIK, PROIZVODNJA, TRGOVINA, STORITVE IN NAJEM, D.O.O.





Cesta k Tamu, 2000 Maribor	
+386 2 460 22 50	
+386 2 460 22 55	
<a href="mailto:info@piktronik.com">info@piktronik.com</a>	
<a href="http://www.piktronik.com">http://www.piktronik.com</a>	





Piktronik d.o.o. je raziskovalno-razvojno in proizvodno podjetje na področju komponent močnostne elektornike za baterijsko napajane sisteme. Proizvodna paleta obsega standardne izdelke in izdelke načrtovane po specifikacijah strank. Glavna področja uporabe naših izdelkov so električna in hibridna vozila ter električni čolni in jahte. Glavna aktivnost raziskovalno-razvojne skupine je na področju brezsenzorskega vodenja za izmenične motorje (asinhronske in sinhronske s permanentnimi magneti) in na področju prostoprogramirljivih polnilnikov akumulatorjev. Naša vrhunska brezsenzorska tehnologija je primerna tudi za pogon vozil, medtem ko inteligentni pomnilniki poleg polnjenja opravljajo tudi funkcijo nadzora baterij. Veliko pozornosti posvečamo zanesljivosti, integraciji in izkoristku sistemov.





HIDRIA ROTOMATIKA, INDUSTRIJA ROTACIJSKIH SISTEMOV, D.O.O.	
Spodnja Kanomlja 23, 5281 Spodnja Idrija	
	+386 5 375 60 00
	+386 5 375 64 71
	<a href="mailto:info@rotomatika.si">info@rotomatika.si</a>
	<a href="http://www.rotomatika.si">http://www.rotomatika.si</a>
	
<p>Hidria Rotomatika, kot del korporacije Hidria, se v Evropi in svetu uvršča med najpomembnejše proizvajalce elektromotorjev in njihovih komponent to je lamel, paketov in rotorjev. Poleg tega se vse bolj uveljavlja kot proizvajalec fino štancanih in tlačno litih delov za avtomobilsko industrijo. Predvsem se usmerja v dva strateška segmenta: avtomobilsko industrijo ter industrijo klimatizacije, gretja in hlajenja. Vrsta referenčnih kupcev z obeh področij potrjuje odličnost in inovativnost podjetja. Kakovost poslovanja potrjujejo certifikati ISO 9001, ISO 14000 ter ISO TS 16949.</p>	

ELAPHE, PODJETJE ZA RAZVOJ IN PRODAJO ELEKTRIČNIH VOZIL TER ENERGIJSKIH VIROV, D.O.O.	
Teslova 30, 1000 Ljubljana	
	+386 40 731 742
	
	<a href="mailto:gorazd@elaphe.si">gorazd@elaphe.si</a>
	<a href="http://www.elaphe.si">http://www.elaphe.si</a> <a href="http://www.in-wheel.com">www.in-wheel.com</a>
	
<p>Podjetje Elaphe d.o.o. je spinoff IJS in Sinteza d.o.o. ter član TP Ljubljana. Glavni razvojni projekti so povezani z elektromotorji za direktni pogon električnih vozil in sodobnimi energijskimi viri. V okviru Elaphe dela približno 10 strokovnjakov različnih področij ter več raziskovalnih in izobraževalnih institucij ter partnerjev iz industrije, pri čemer je največji Iskra Avtoelektrika. Podjetje je globalno razvojno, tržno in proizvodno usmerjeno, vodi pa ga mlada in ambiciozna ekipa.</p>	

SINTEZA D.O.O.	
Ložarjeva 14, 1231 Ljubljana	
	+386 41 974 716, +386 40 731 742
	
	<a href="mailto:info@sinteza.com">info@sinteza.com</a>
	<a href="http://www.sinteza.com">http://www.sinteza.com</a>
	
<p>V podjetju Sinteza se ukvarjajo s pogonskimi sistemi za električna in hibridna vozila ter s trajnostnimi viri energije. Njihova temeljna dejavnost je razvoj, ki pa ga s partnerji nadgrajujejo v smislu proizvodnje in prodaje.</p>	

JEKO-IN, JAVNO KOMUNALNO PODJETJE, D.O.O.	
Cesta maršala Tita, 4270 Jesenice	
	+386 4 581 04 00
	+ 386 4 581 04 20
	<a href="mailto:info@jeko-in.si">info@jeko-in.si</a>
	<a href="http://www.jeko-in.si">http://www.jeko-in.si</a>
	
<p>Javno podjetje za izvajanje vseh vrst komunalnih in energetskih storitev v občini Jesenice in delno v občini Žirovnica.</p>	

HOLDING SLOVENSKE ELEKTRARNE, D.O.O.	
Koprska ulica 92, 1000 Ljubljana	
	+386 1 470 41 00
	+386 1 470 41 01
	<a href="mailto:info@hse.si">info@hse.si</a>
	<a href="http://www.hse.si">http://www.hse.si</a>
	

HIDRIA INŠTITUT KLIMA - KLIMATIZACIJA, GRETJE IN HLAJENJE D.O.O.	
Godovič 150, 5275 Godovič	
	+386 5 377 44 00
	+386 5 377 44 26
	<a href="mailto:info@hidria-institut-klima.si">info@hidria-institut-klima.si</a>
	<a href="http://www.hidria-institut-klima.si">http://www.hidria-institut-klima.si</a>
	

Hidria Inštitut Klima je eden od treh razvojno raziskovalnih centrov korporacije Hidria. Poslanstvo Hidria Inštituta Klima je postati renomiran evropski center, usmerjen v raziskave in razvoj na področju sistemov, pod-sistemov in komponent za klimatizacijo, gretje in hlajenje. Usposobljeno osebje specializiranih laboratorijev z novo testno in merilno opremo zagotavlja podporo raziskavam in razvoju na omenjenih področjih. Novi izdelki narekujejo tudi razvoj novih tehnologij, katere implementiramo v proizvodnih podjetjih korporacije Hidria. Hidria Inštitut Klima izvaja svoje aktivnosti v novi stavbi, katere izgradnja je bila sofinancirana s sredstvi Evropskih skladov za regionalni razvoj.

**INEA – INFORMATIZACIJA, ENERGETIKA, AVTOMATIZACIJA D.O.O..**

Stegne 11, 1000 Ljubljana		
☎	+386 1 513 81 00	
📠	+386 1 513 81 70	
✉	<a href="mailto:inea@inea.si">inea@inea.si</a>	
	<a href="http://www.inea.si">http://www.inea.si</a>	


Podjetje INEA je ustanovil februarja 1987 Institut Jožef Stefan (IJS). Od junija 1991 je podjetje v zasebni lasti. INEA je vodilno podjetje v Sloveniji na področju industrijske avtomatizacije, računalniškega vodenja procesov in proizvodne informatike. Ima tudi vodilno pozicijo na področju industrijske energetike.

**KOLEKTOR GROUP, VODENJE IN UPRAVLJANJE DRUŽB D.O.O.**

Vojkova ulica 10, 5280 Idrija		
☎	+386 5 375 01 00	
📠	+386 5 375 01 50	
✉	<a href="mailto:kolektor@kolektor.si">kolektor@kolektor.si</a>	
	<a href="http://www.kolektorgroup.com/">http://www.kolektorgroup.com/</a>	


Kolektor GROUP je vodilni svetovni proizvajalec komutatorjev. Z diverzifikacijo širimo proizvodni program na področje elektronike, mehatronike, feritnih jeder in navitij ter plastičnih komponent. Pri tem koristimo znanje in izkušnje zaposlenih, poudarek pa je na vlaganju v znanje in razvoj inovativnih izdelkov. V razvoj novih izdelkov in tehnologij v skupini letno investiramo 5% prometa. Z lastnim razvojem izdelkov, visoke tehnologije in kakovostnih materialov soustvarjamo svetovne tehnične trende in s tem ohranjamo svoje visoko mesto na svetovnem tržišču.

**TEHNOLOŠKE MREŽE**
**TEHNOLOŠKA MREŽA TEHNOLOGIJA VODENJA PROCESOV**

Stegne 11, 1000 Ljubljana		
☎	+386 1 513 81 00	
📠	+386 1 513 81 70	
✉	<a href="mailto:info@tvp.si">info@tvp.si</a>	
	<a href="http://www.tvp.si">http://www.tvp.si</a>	





Tehnologija vodenja procesov združuje avtomatizacijo, kibernetizacijo in informatizacijo procesov

**TEHNOLOŠKI CENTRI**
**TECES, TEHNOLOŠKI CENTER ZA ELEKTRIČNE STROJE**





Pobreška cesta 20, 2000 Maribor		
☎	+386 2 333 13 50	
📠	+386 2 333 13 51	
✉	<a href="mailto:info@teces.si">info@teces.si</a>	
	<a href="http://www.teces.si">http://www.teces.si</a>	

TECES je bil ustanovljen z namenom vzpostavitve stične točke izobraževalno-raziskovalnih ustanov in slovenskih podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo in razvojem električnih strojev ali komponent za njihovo proizvodnjo. Osnovni cilj spada v sklop prizadevanj vzpodbujanja povezovanja slovenskih podjetij in izobraževalno-raziskovalnih ustanov v okviru skupnih raziskovalno-razvojnih aktivnosti, vzpodbujanja koncentracije specifičnih znanj, ki predstavljajo temelj kadrovske krepitve razvojnih oddelkov v podjetjih, omogočanja stalnega razpolaganja z najsodobnejšo raziskovalno-razvojno infrastrukturo, ter s tem posledično omogočiti koncentracijo in večanje števila strokovno in tehnično usposobljenega kadra v okolju proizvajalcev, kar bi dolgoročno dvignilo konkurenčnost slovenskih proizvajalcev električnih strojev v okviru skupnega evropskega ali svetovnega trga ter jim ponudilo realnejšo možnost, da posegajo po vodilni vlogi v tej vrste industrijski panogi





## IZOBRAŽEVALNO-RAZISKOVALNE USTANOVE IN INŠTITUTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO	
Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana	
	+386 1 477 12 00
	+386 1 251 85 67
	<a href="mailto:dekanat@fs.uni-lj.si">dekanat@fs.uni-lj.si</a>
	<a href="http://www.fs.uni-lj.si">http://www.fs.uni-lj.si</a>
	





Na Fakulteti za strojništvo ustvarjamo in prenašamo znanje, ki našim študentom in partnerjem na raziskovalnem področju omogoča konkurenčno vključevanje v mednarodno okolje. Vizija: Postati najpomembnejša izobraževalno raziskovalna fakulteta z najvišjimi mednarodnimi izobraževalnimi in raziskovalnimi standardi na področju strojništva v Sloveniji in jugovzhodni Evropi, zaradi česar bomo s svojimi diplomanti in raziskovalnim delom privlačni tako za slovensko kot mednarodno gospodarstvo ter raziskovalno razvojne institucije.

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO	
Tržaška 25, 1000 Ljubljana	
	+386 1 476 84 11
	+386 1 426 46 30
	<a href="mailto:fe.dekanat@fe.uni-lj.si">fe.dekanat@fe.uni-lj.si</a>
	<a href="http://www.fe.uni-lj.si">http://www.fe.uni-lj.si</a>
	

Fakulteta za elektrotehniko (FE) je izobraževalni in znanstvenoraziskovalni zavod ter redna članica Univerze v Ljubljani. FE izvaja nacionalni program visokega šolstva in nacionalni program raziskovalnega in razvojnega dela ter opravlja druge dejavnosti, določene s statutom Univerze v Ljubljani in Pravili o organizaciji in delovanju FE. Dodiplotsko in podiplomsko izobraževanje, strokovno izpopolnjevanje in usposabljanje, ki ga organizira in izvaja FE, je skladno s klasifikacijo ISCED 1997 (Strokovna izhodišča za nacionalni program visokega šolstva v RS, MŠŠ, 1997) razvrščeno v študijsko področje (52) tehniške vede (elektrotehnika). Svoje dosežke na področju znanosti izmenjuje z drugimi fakultetami, univerzami, znanstvenoraziskovalnimi ustanovami in industrijo. Intenzivno sodeluje z gospodarstvom in storitvenimi dejavnostmi in javnem in zasebnem sektorju, z vlado in lokalnimi skupnostmi ter z drugimi ustanovami civilne družbe. FE si prizadeva za uveljavitev zavoda in njenih pedagogov, raziskovalcev, študentov in drugih sodelavcev doma in v svetu.

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO, RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO	
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor	
	+386 2 220 70 00
	+386 2 251 11 78
	<a href="mailto:feri@uni-mb.si">feri@uni-mb.si</a>
	<a href="http://www.feri.uni-mb.si">http://www.feri.uni-mb.si</a>
	


Fakulteta za elektrotehniko računalništvo in informatiko (FERI) je znanstvena institucija z izraženim regionalnim nacionalnim in internacionalnim pomenom. Regionalnost se odraža v tesni povezanosti z industrijo v mestu Maribor in okolici, v kateri se tudi zaposli pretežni del diplomantov in podiplomskih študentov. Nacionalnega pomena so predvsem inštituti kot sestavni deli FERI ter centri znanja, ki opravljajo diseminacijo temeljnih in aplikativnih znanj v celoten prostor Republike Slovenije. Internacionalni pomen izkazuje fakulteta z vpetostjo v mednarodne raziskovalne tokove s številnimi mednarodnimi projekti, izmenjavo študentov in profesorjev, objavami v uglednih znanstvenih revijah, nastopih na mednarodnih konferencah in organizaciji le-teh.


UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA KEMIJO IN KEMIJSKO TEHNOLOGIJO	
Aškerčeva cesta 5, 1000 Ljubljana	
	+386 1 241 91 00
	+386 1 241 92 20
	<a href="mailto:info@fkkt.uni-lj.si">info@fkkt.uni-lj.si</a>
	<a href="http://www.fkkt.uni-lj.si">http://www.fkkt.uni-lj.si</a>
	

Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani goji temeljno, aplikativno in razvojno raziskovanje na področjih kemije, biokemije, kemijskega inženirstva in požarne ter varnosti pri delu pri čemer si prizadeva dosežati odličnost in najvišjo kakovost.

Na osnovi lastnega raziskovanja ter lastnih in tujih raziskovalnih dosežkov izobražuje vodilne znanstvenike in strokovnjake, ki so usposobljeni za vodenje trajnostnega razvoja, ob upoštevanju izročila evropskega razsvetljenstva in humanizma ter ob upoštevanju človekovih pravic. Pri tem spodbuja interdisciplinarni in multidisciplinarni študij.

Izmenjuje svoje dosežke na področju znanosti in umetnosti z drugimi univerzami in znanstvenoraziskovalnimi ustanovami. Tako prispeva svoj delež v svetovno zakladnico znanja in iz nje prenaša znanje v slovenski prostor. Sodeluje z gospodarstvom in s tem pospešuje uporabo svojih raziskovalnih in izobraževalnih dosežkov ter prispeva k družbenemu razvoju. Fakulteta utrjuje akademsko skupnost profesorjev, raziskovalcev, študentov in drugih sodelavcev ter si prizadeva za svojo uveljavitev doma in v svetu.

INSTITUT JOZEF STEFAN	
Jamova 39, 1000 Ljubljana	
+386 1 477 39 00	
+386 1 251 93 85	
info@ijs.si	
<a href="http://www.ijs.si">http://www.ijs.si</a>	
<p>Inštitut Jožef Stefan (IJS) je javni raziskovalni zavod, ki je bil ustanovljen leta 1949. Ukvarja se z raziskavami, razvojem in izobraževanjem na področju naravoslovja in tehnologije. Na IJS je zaposlenih okoli 700 ljudi, od tega 400 raziskovalcev.</p> <p>S tematiko gorivnih celic se na Inštitutu Jožef Stefan ukvarjata dva odseka:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• K5 - Odsek za elektronsko keramiko</li> <li>• E2 - Odsek za sisteme in vodenje</li> </ul>	

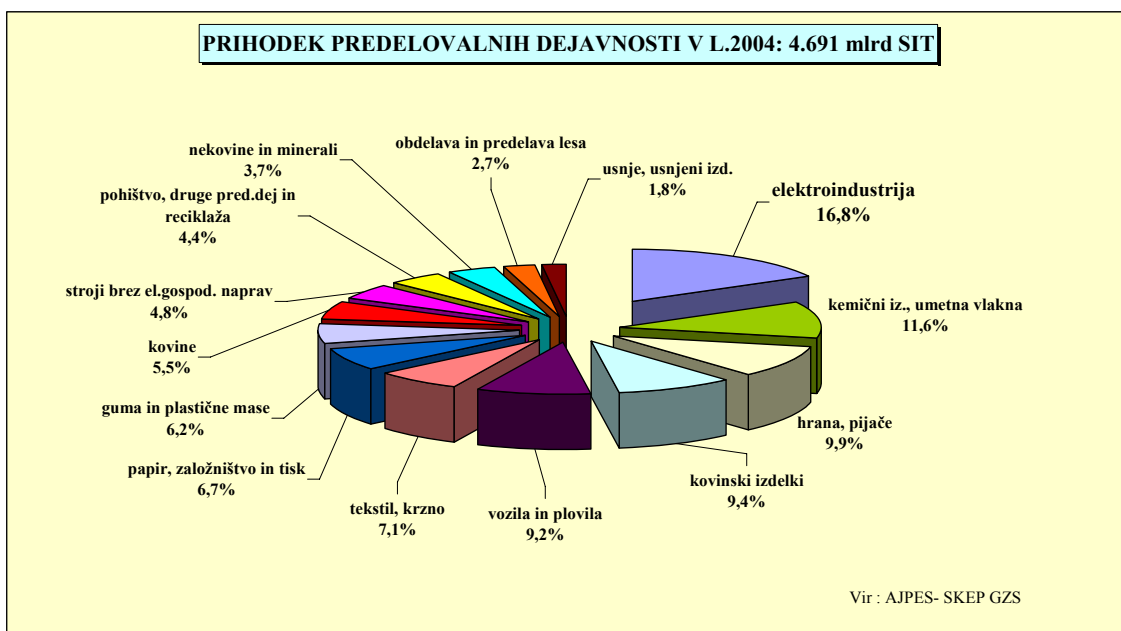
KEMIJSKI INŠTITUT LJUBLJANA	
Hajdrihova 19, 1001 Ljubljana	
+386 1 476 02 00	
+386 1 476 03 00	
info@ki.si	
<a href="http://www.ki.si">http://www.ki.si</a>	
<p>Kemijski inštitut je javni raziskovalni zavod, ki deluje na področju kemije in sorodnih disciplin. Ima okoli 210 zaposlenih, od tega jih okoli 180 opravlja raziskovalno delo v 14 laboratorijih in dveh infrastrukturnih centrih. Več kot polovica zaposlenih v raziskavah in razvoju je doktorjev znanosti. Raziskave so usmerjene v razvoj novih tehnologij in izdelkov, ki bodo pomagali zagotavljati trajnostni razvoj Slovenije in so hkrati tudi mednarodno aktualni. Sodelovanje z domačo in tujo industrijo predstavlja okoli 20% prihodkov Kemijskega inštituta. V izobraževalnem procesu inštitut sodeluje s slovenskimi univerzami in tudi mednarodnimi izobraževalnimi institucijami. Vpetost inštituta v evropski prostor zagotavlja stik z vrhunskimi raziskovalnimi skupinami, z evropsko industrijo in ustrezen pretok znanja in ljudi. Nacionalni center za NMR spektroskopijo visoke ločljivosti na Kemijskem inštitutu je leta 2000 pridobil naziv Evropski center odličnosti. Inštitut uresničuje del svojih raziskovalno-razvojnih ciljev tudi preko svojega podjetja na Nizozemskem - Virtualnega inštituta - za ustanovitev katerega je z dobrimi argumenti pridobil soglasje vlade konec leta 2004. Kemijski inštitut je kot prvi raziskovalni inštitut v Sloveniji decembra 2003 pridobil standard ISO 9001, s ciljem izboljšati pogoje ter urejenost in učinkovitost dela.</p>	

### 3 PRILOGA 2: STATISTIČNI PODATKI ZA PRIPRAVO IZHODIŠČ

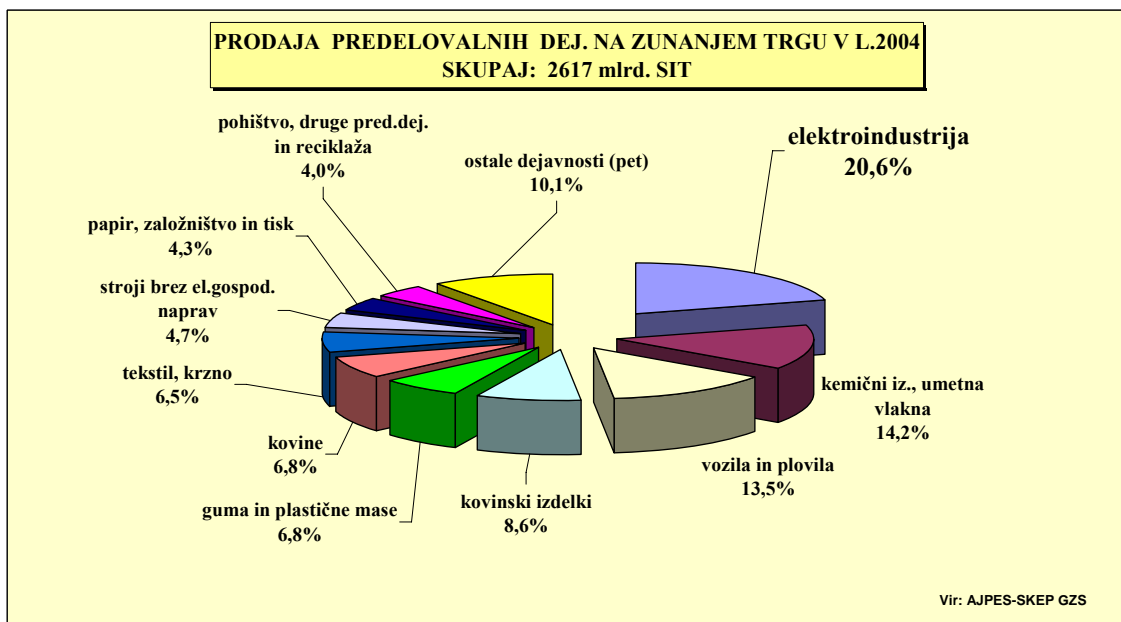
#### 3.1 PODATKI O POSLOVANJU PANOG PREDELOVALNE INDUSTRIJE SLOVENIJE ZA LETO 2004

Predelevalne dejavnosti v Republiki Sloveniji so v letu 2004 ustvarile 4.691 milijard SIT prihodka. Prodaja izdelkov in storitev teh dejavnosti je znašala 4.471 milijard SIT od tega je prodaja na domačem trgu je znašala 1.854,4 milijard SIT, prodaja v tujih trgih pa 2.616,7 milijard SIT. Kovinska in elektroindustrija ustvarita skupaj 40,8% prihodka in kar 47,6% celotne prodaj v izvozu od vseh predelevalnih dejavnosti v Republiki Sloveniji.

Deleži posameznih dejavnosti v prihodku so podane na sliki 1, deleži v izvozu pa na sliki 2.

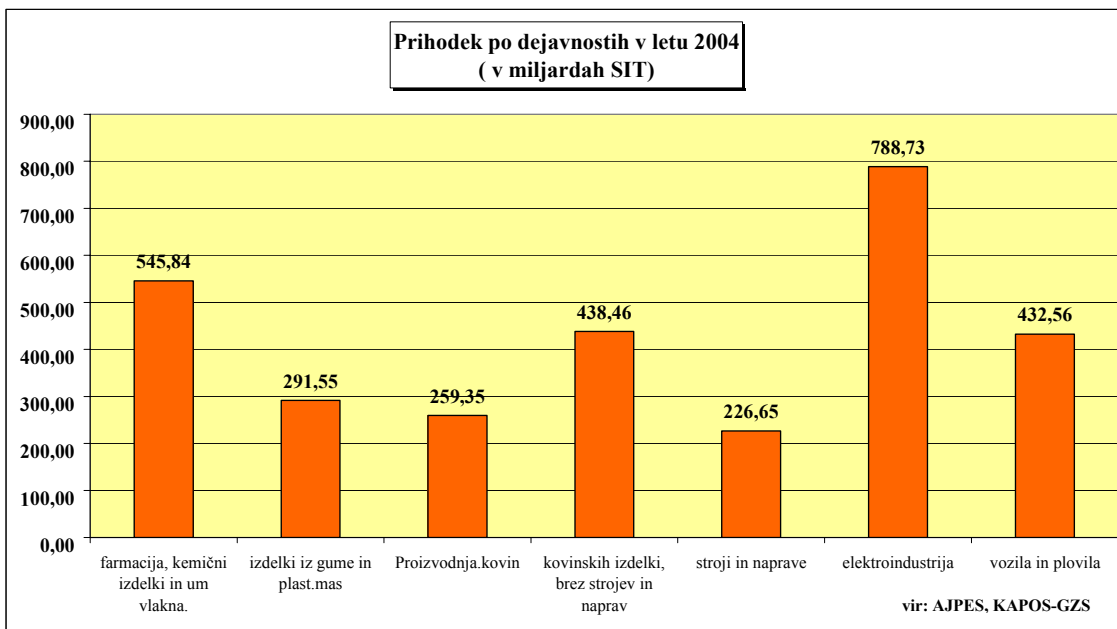


Slika 1: Prihodek predelevalnih dejavnosti v letu 2004

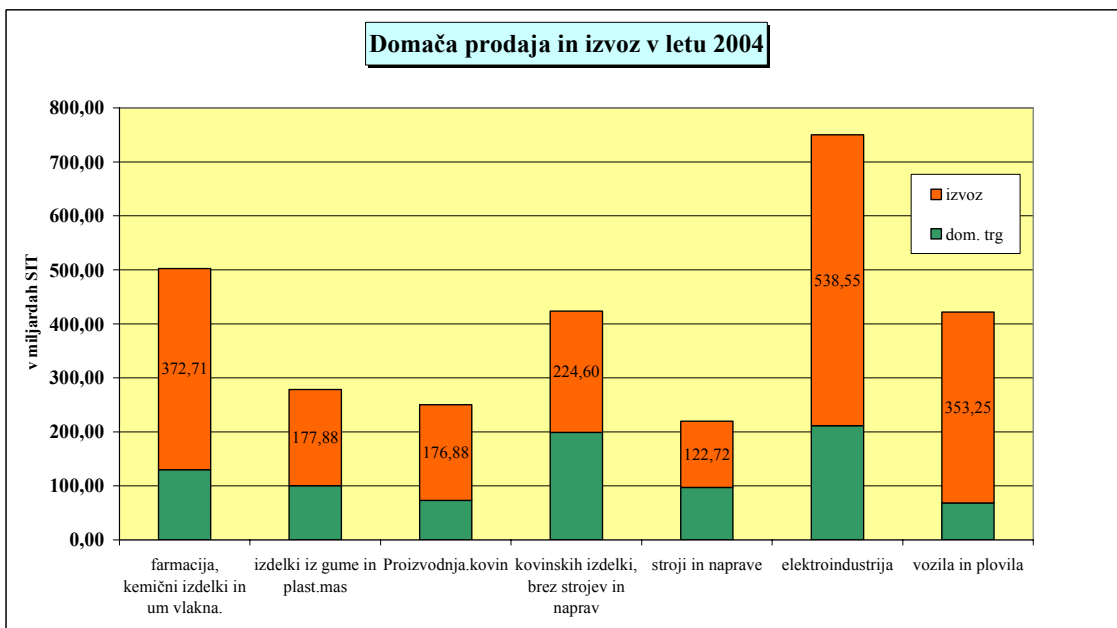


Slika 2: Izvoz predelevalnih dejavnosti v letu 2004

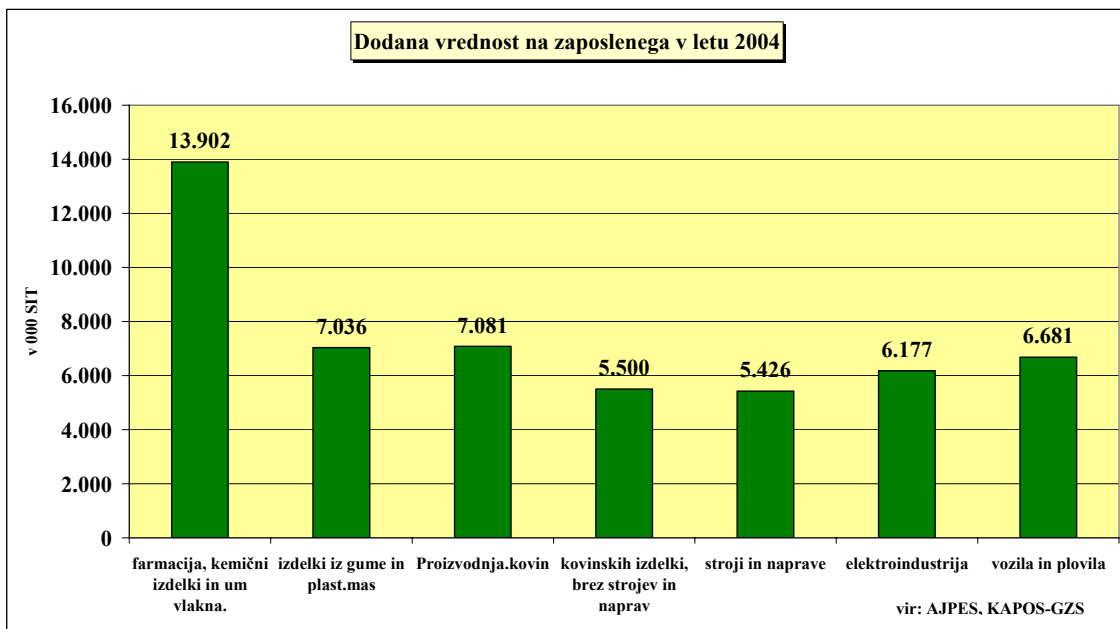
Grafi doseženih rezultatov po dejavnostih v letu 2004 v prihodku, skupnih prodaji in prodaji na zunanjih trgih ter dodani vrednosti na zaposlenega so podani na slikah od 3 do 5.



Slika 3: Prihodek po dejavnostih v letu 2004



Slika 4: Domača prodaja in izvoz v letu 2004

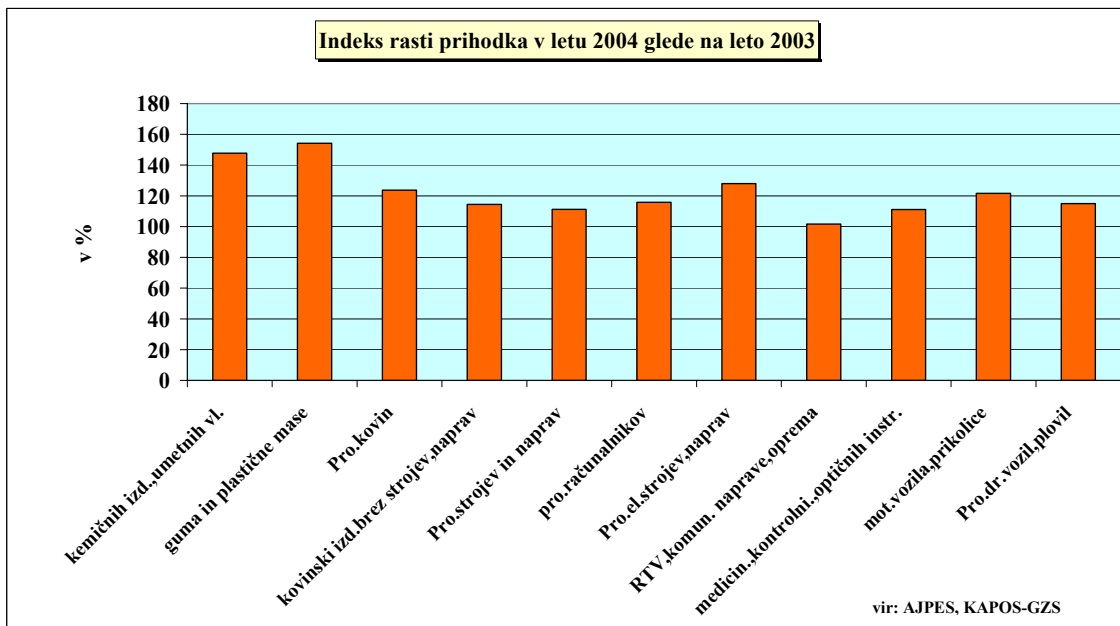


Slika 5: Dodana vrednost na zaposlenega v letu 2004

### 3.2 INDEKSI RASTI POSAMEZNIH KATEGORIJ PRIHODKOV IN DODANE VREDNOSTI V POSAMEZNIH DEJAVNOSTIH PREDELOVALNE INDUSTRIJE V LETU 2004 GLEDE NA LETO 2003

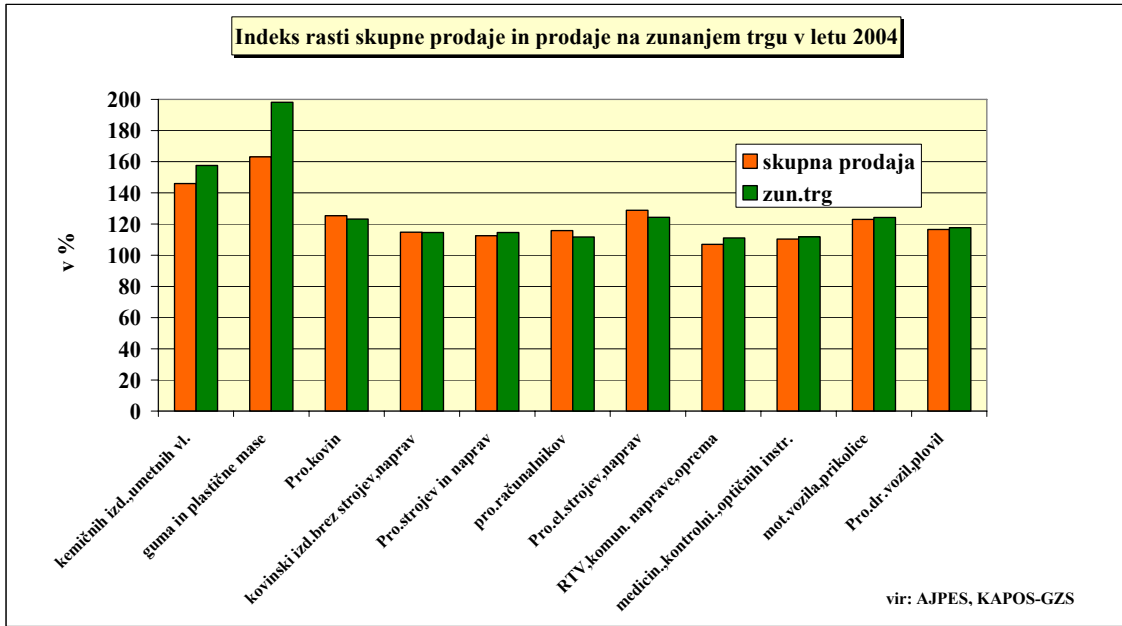
Rasti so podane na slikah od 6 do 8. Na teh grafih so dejavnosti elektroindustrije porazdeljene: del jih je znotraj dejavnosti proizvodnje strojev DK 29 (DK 29.71 - električni gospodinjiski aparati), medtem ko spadajo: proizvodnja računalnikov; proizvodnja električnih strojev in naprav; RTV in komunikacijske opreme ter medicinske, kontrolne in optične opreme v dejavnost proizvodnje električne in optične opreme - DL.

Rast prihodka v letu 2004 glede na leto 2003 je bila z indeksom od 101,6 % do 128 % na področju električnih strojev in naprav, pri čemer je bila rast 147 % pri kemičnih izdelkih in kemikalijah ter 157 % na področju gume in plastičnih mas .



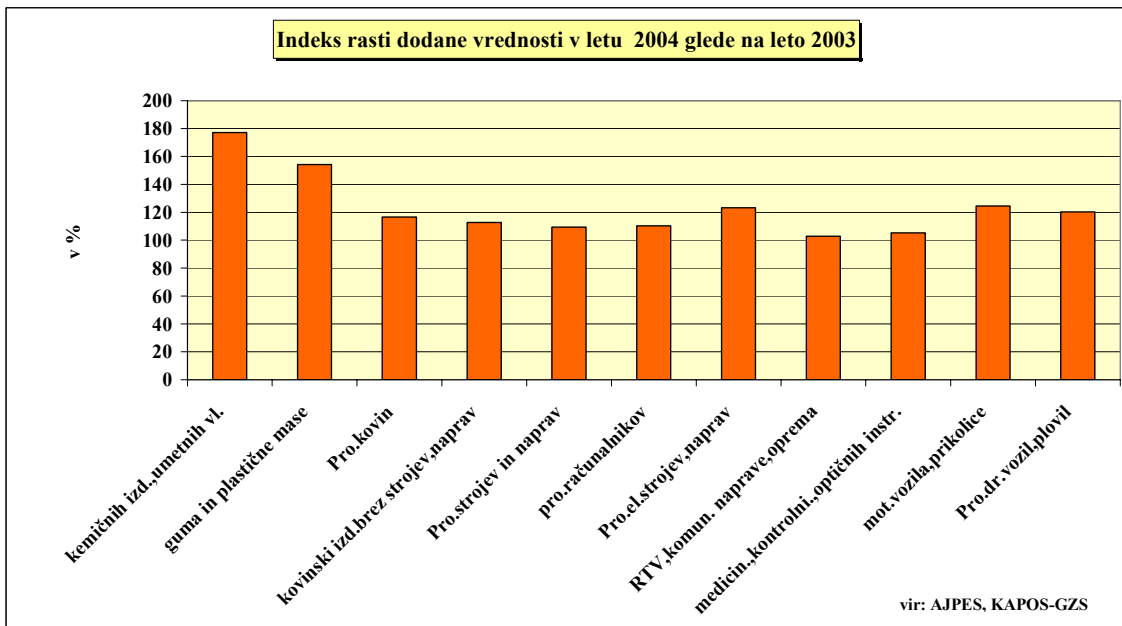
Slika 6: Indeks rasti prihodka v letu 2004 glede na leto 2003

Rasti prodaje na zunanjem trgu so bile z indeksi med 111 % in 124 % , če ne upoštevamo kemijske industrije (s farmacijo) in proizvodov iz gume in plastičnih mas, kjer je rast večja.

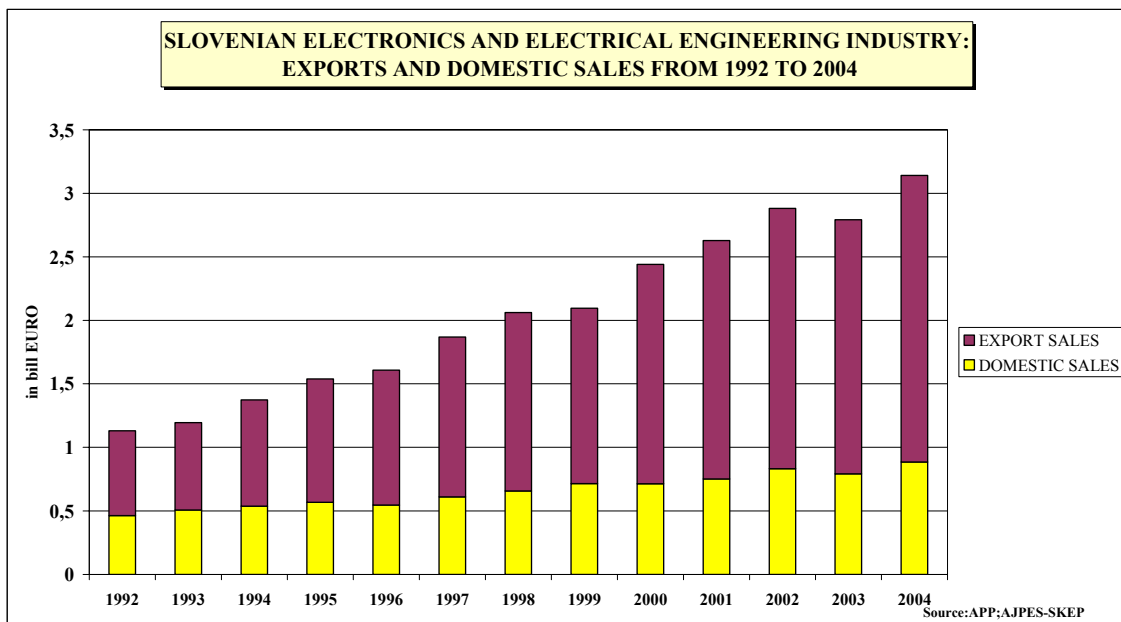


Slika 7: Indeks rasti skupne prodaje in prodaje na zunanjem trgu v letu 2004

Rasti dodane vrednosti v kovinski in elektroindustriji so bile v območju od 102,9% do 123% glede na leto 2003.



Slika 8: Indeks rasti dodane vrednosti v letu 2004 glede na leto 2003



Slika 9: Rast prodaje elektroindustrije v letih 1992 do 2004

Prodaja elektroindustrije, ki obsega dejavnosti proizvodnje električnih gospodinjskih aparatov (DK 29.71) in proizvodnjo električne in optične opreme (DL) je v letu 2002 in 2004 preseгла 2 milijardi EUR pri prodaji v izvozu, kar kaže pomen in potencial te industrije v Sloveniji, saj več kot 2/3 izvoza realizira na trgih v EU.



#### **4 PRILOGA 3: STRATEŠKI RAZVOJNI PROGRAM SIHFC**



**Slovenska tehnološka platforma  
za vodik in gorivne celice**

**Slovenian Hydrogen and Fuel Cell  
Technology Platform**

---

**SRA**

**STRATEŠKI RAZVOJNI PROGRAM  
STRATEGIC RESEARCH AGENDA**

---

Dokument: SIHFC\_SRA\_v01\_20051115.doc

Status: VERZIJA 1

Ustvarjen: 15. november 2005

Namen: Predstaviti osnovne strateške razvojne usmeritve Slovenske tehnološke platforma za vodik in gorivne celice

## ZGODOVINA SPREMEMB DOKUMENTA

Datum tega popravka: 15.11.2005

Različica tega popravka: ...\_v01

Datum popravka	Različica	Avtor popravka	Opombe
15.11.2005	v01	SIHFC	Osnovni dokument



**Slovenska tehnološka platforma za vodik in gorivne celice**  
**Slovenian Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform**

Pobreška cesta 20, SI-2000 Maribor

☎ +386 2 333 13 50

📠 +386 2 333 13 51

✉ [info@sihfc.si](mailto:info@sihfc.si)

<http://www.sihfc.si>

## KAZALO

<b>1</b>	<b>PREDSTAVITEV .....</b>	<b>5</b>
1.1	<b>UVOD .....</b>	<b>5</b>
1.2	<b>PEM GORIVNE CELICE .....</b>	<b>5</b>
1.2.1	Princip delovanja .....	5
1.2.2	PEM gorivna celica in sklop gorivnih celic .....	6
1.2.3	Zakaj PEM gorivne celice? .....	7
1.2.4	Možna logistična goriva za nizkotemperaturne PEM gorivne celice .....	8
1.3	<b>SOFC GORIVNE CELICE .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>IZZIVI .....</b>	<b>10</b>
2.1	<b>TEHNOLOŠKO POZICIONIRANJE .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>VIZIJA .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>STRATEŠKE RAZVOJNE USMERITVE .....</b>	<b>12</b>
4.1	<b>GORIVNE CELICE ZA STACIONARNE SISTEME .....</b>	<b>12</b>
4.1.1	Predstavitev .....	12
4.1.2	Decentralizirana proizvodnja elektrike in toplote .....	13
4.1.3	Gospodinjski agregati z močjo od 1 do 10 kW .....	13
4.1.4	Neprekinljivi napajalni sistemi (UPS) in pomožni napajalni sistemi .....	14
4.1.5	Kvalitetna električna moč .....	14
4.1.6	Prosti čas .....	14
4.1.7	Obramba .....	14
4.1.8	Podsistemi in komponente .....	14
4.2	<b>GORIVNE CELICE ZA MOBILNE SISTEME .....</b>	<b>15</b>
4.2.1	Predstavitev .....	15
4.2.2	Tehnološko pozicioniranje gorivnih celic za mobilne sisteme .....	16
4.2.3	Razvojne usmeritve področja gorivnih celic za mobilne sisteme .....	16
4.2.3.1	Razvojne strategije za obdobja 2005 to 2015 .....	16
4.2.3.2	Srednjeročni pregled področja mobilni sistemi do leta 2030 .....	17
4.2.3.3	Dolgoročni pregled področja mobilni sistemi do leta 2050 .....	17
4.2.4	Pogonski sistemi s pem gorivnimi celicami .....	17
4.2.4.1	Pogonski sistemi s PEM gorivnimi celicami .....	17
	Osebna vozila .....	17
	Transport v industriji .....	17
	Ostale aplikacije v mobilnih sistemih .....	18
	Primerjava s konvencionalnimi in drugimi novimi sistemi .....	18
4.2.4.2	Pomožni napajalni sistemi (APU) .....	18
4.2.5	Ključni podsistemi in komponente .....	19
4.2.5.1	Ključni podsistemi in komponente .....	19
	Podsystem s sklopom PEM gorivnih celic .....	19
	Sklop PEM gorivnih celic (»PEMFC stack«) .....	20
	Druge komponente podsistema PEM gorivnih celic .....	21
	Podsystem z reformerjem goriva .....	23
	Integracija sistema z PEM gorivnimi celicami .....	24
4.3	<b>PRIDOBIVANJE IN SHRANJEVANJE VODIKA .....</b>	<b>24</b>
4.3.1	Predstavitev .....	24
4.3.2	Osnovna, aplikativna in splošna področja raziskav materialov in sklopov PEM elektrolizerjev .....	25
4.3.3	Osnovna, aplikativna in splošna področja raziskav materialov in načinov shranjevanja vodika .....	25
4.3.4	Znana izhodišča materialov in metod za shranjevanje vodika .....	26
4.3.4.1	Shranjevanje plinskega vodika v visokotlačnih rezervoarjih .....	26
4.3.4.2	Shranjevanje utekočinjenega vodika v kriogenih rezervoarjih .....	26
4.3.4.3	Adsorbiranje vodika (fizikalna adsorpcija na/v ogljikovih nanostrukturah) .....	27
4.3.4.4	Intersticijska adsorpcija v kovinah in kovinskih zlitinah .....	27
4.3.4.5	Kompleksni kovinski hidridi (alanati) .....	27
4.3.4.6	Kemični hidridi (z vodo) .....	28
4.3.5	Strateški cilji v okviru SIHFC – shranjevanje vodika (skladno z EU HFC) .....	28
<b>5</b>	<b>URESNIČEVANJE VIZIJE .....</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>NAČRTOVANE AKTIVNOSTI V PRIHODNOSTI .....</b>	<b>30</b>
6.1	<b>POVZETEK .....</b>	<b>30</b>

## KAZALO SLIK

Sl. 1-1: Shematski prikaz strukture in delovanja PEM gorivne celice. ....	6
Sl. 1-2: Sklop PEM gorivnih celic z osnovnimi elementi. ....	7
Sl. 1-3: Dosedaj zgrajeni sistemi z gorivnimi celicami (Vir: K.-A. Adamson et al., Fuel Cell Systems: A survey of worldwide activity, Fuel Cell Today, Dec. 2004) .....	7
Sl. 1-4: Področja uporabe sistemov in njihov delež (Vir: K.-A. Adamson et al., Fuel Cell Systems: A survey of worldwide activity, Fuel Cell Today, Dec. 2004).....	7
Sl. 1-5: Cenovni prag za trženje sistemov s PEM gorivnimi celicami na posameznih področjih uporabe.....	8
Sl. 1-6: Shematski prikaz delovanja SOFC gorivne celice .....	9
Sl. 4-1: Shema kogeneracijskega sistema s sklopom SOFC gorivnih celic.....	15
Sl. 4-2: Cenovni prag za trženje mobilnih sistemov s PEM gorivnimi celicami na posameznih področjih uporabe (Vir: Domel, interni vir, 2004) .....	16
Sl. 4-3: Shema običajnega sistema s sklopom PEM gorivnih celic.....	19
Sl. 4-4: Razrez stroškov podsistema s sklopom PEM gorivnih celic (Vir: James Wilkie, Johnson Matthey Fuel Cells, NEC, 31st March 2004) .....	20
Sl. 4-5: Razrez stroškov sklopa PEM gorivnih celic (Vir: James Wilkie, Johnson Matthey Fuel Cells, NEC, 31st March 2004).....	20
Sl. 4-6: Energetske poti za pridobivanje vodika.....	23
Sl. 4-7: Splošna shema za pridobivanje vodika iz fosilnih ali trajnostnih primarnih energetskih virov. ....	24

## KAZALO TABEL

Tabela 1-1: Vsebnost vodika v fosilnih gorivih, njihova kalorična vrednost in emisije pri zgorevanju .....	5
Tabela 1-2: Tipi gorivnih celic .....	5
Tabela 4-1: Predlagana delitev proračuna glede R&R aktivnosti .....	12
Tabela 4-2: Tehnični kriteriji za majhne stacionarne sisteme.....	15
Tabela 4-3: Učinkovitost sistema od »rezervoarja do kolesa« (TTW) v NEDC (Vir: EU HFP SRA) .....	18

# 1 PREDSTAVITEV

## 1.1 UVOD

Človeštvo je doslej poleg sončne in jedrske uporabljalo kemične in biokemične vire energij. Če vzamemo ogljikovodike, smo uporabljali na zgodovinski časovni skali najprej les, nato pa premog, nafto in zemeljski plin, se pravi vire, v katerih delež vodika narašča, tabela 1. Če se gibljemo po tej logični poti naprej, pridemo do čistega vodika, ki je najmočnejše in na srečo tudi najčistejše kemično gorivo in ki ga je mogoče pridobiti iz različnih obnovljivih virov, zlasti iz vode in biomase. Zato vodik ni le gorivo temveč predvsem energetski prenosnik (vektor).

Tabela 1-1: Vsebnost vodika v fosilnih gorivih, njihova kalorična vrednost in emisije pri zgorevanju

Gorivo	Vsebnost H <sub>2</sub> (%)	Kalorična vrednost (MJ/kg)	Emisija delcev (g/MJ)	Relativna emisija CO <sub>2</sub>
Les (suh)	5	16,0	2,25	100
Premog	50	23,2	2,15	31
Nafta	67	44,2	0,08	21
Zemeljski plin	80	52,3	<10-5	15
<b>Vodik</b>	<b>100</b>	<b>141,8</b>	<b>0,0</b>	<b>0</b>

Za pretvorbo kemične energije vodika v druge oblike energije obstaja več poti. Ena najbolj učinkovitih je direktna pretvorba kemične energije goriva v električno in toploto z elektrokemičnimi členi na gorivo, t. i. **gorivnimi celicami**.

Poznanih je več tipov gorivnih celic. V tabela 1-2 so razvrščeni po vrsti elektrolita, ki ga uporabljajo in po temperaturi, pri kateri obratujejo. V tem zapisu privzemamo kratice iz angleškega poimenovanja tipov gorivnih celic in sicer:

- AFC – Alkaline Fuel Cell (alkalna gorivna celica);
- PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell (gorivna celica s protonsko prevodno membrano);
- PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell (gorivna celica s fosforno kislino);
- MCFC – Molten Carbonates Fuel Cell (gorivna celica s taljenimi karbonati);
- SOFC – Solid Oxide Fuel Cell (oksidna gorivna celica);
- DMFC – Direct Methanol Fuel Cell (metanolna gorivna celica).

V oklepaju smo navedli najpogostejše poimenovanje v slovenskem jeziku, ki pa še ni formalno potrjeno.

Tabela 1-2: Tipi gorivnih celic

Tip	Elektrolit	Nosilec naboja	Delovna temperatura (°C)
AFC	Raztopina KOH	OH <sup>-</sup>	50-90
PEMFC	Polimerna membrana	H <sup>+</sup>	50-95
PAFC	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sup>+</sup>	190-210
MCFC	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	630-700
<b>SOFC</b>	<b>ZrO<sub>2</sub> stab. z Y</b>	<b>O<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>900-1000</b>

## 1.2 PEM GORIVNE CELICE

Med vsemi tipi gorivnih celic najpogosteje srečamo PEM gorivne celice, verjetno zato ker jih je relativno enostavno narediti in so tudi najpogosteje uporabljene za različne namene. Te nizkotemperaturne celice delujejo pri temperaturah med 4 in 90 °C, pri tlaku med 3 in 5 bar. Gorivo je čist vodik oksidant pa kisik ali zrak. Celica deluje le, če membrana vsebuje dovolj vode, ki ji zagotavlja protonsko prevodnost.

### 1.2.1 PRINCIP DELOVANJA

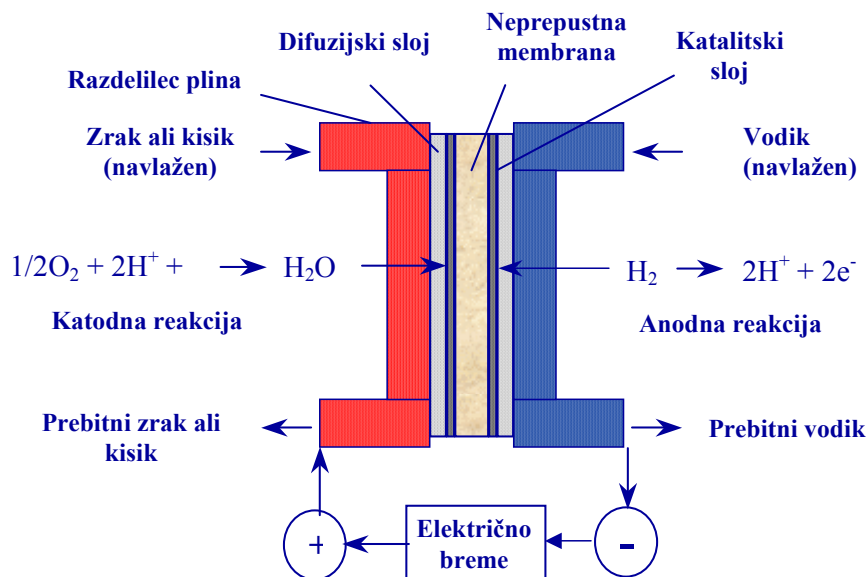
Osnovna enota gorivne celice je sestavljena iz pozitivne elektrode (katode) in negativne elektrode (anode), med katerima je umeščen ionski prevodnik (elektrolit). Plinsko-difuzijski elektrodi sta običajno sestavljeni iz difuzijskega sloja in iz katalitskega sloja. Difuzijski sloj je tanek porozni material

(blago iz ogljikovih vlaken ali ogljikov papir), ki zagotavlja enakomerno porazdelitev plinskih reaktantov (vodika ali kisika) po površini katalitskega sloja elektrode. Ta je sestavljen iz mikroporoznega sloja, v katerem je glavna komponenta katalizator, močno dispergirana kovina na nosilcu (običajno Pt na aktivnem oglju).

Na stiku treh faz v katalitskem sloju (plina, elektrolita in katalizatorja) potekajo osnovne elektrokemične reakcije, ki omogočajo pretvorbo spremembe proste entalpije<sup>1</sup> reakcije med gorivom in oksidantom v električni tok. Za pline neprepustna protonsko prevodna membrana omogoča transport protonov od anode h katodi, električno prevodne komponente v katalitskem sloju in difuzijskem sloju (aktivno oglje in ogljikova vlakna) pa omogočajo transport elektronov po zunanem tokokrogu preko električnega bremena. Če so izpolnjeni pogoji reverzibilnosti, obstaja med spremembo proste entalpije  $\Delta G$  in reverzibilnim potencialom elektrokemijske celice  $E_r$  naslednja zveza:

$$\Delta G = -nFE_r \quad (0.1)$$

kjer je  $n$  število elektronov, ki sodeluje v elektrokemijski reakciji,  $F$  pa Faradayeva konstanta (96 500 As/mol). Pri standardnih pogojih (tlak = 1 atm, temperatura = 25 °C, aktivnosti reaktantov in produktov so enake 1) je reverzibilni potencial, ki ga v tem posebnem primeru imenujemo standardni potencial  $E_r^0$ , torej odvisen izključno od narave kemijske reakcije. Če je gorivo vodik, je standardni potencial 1,229 V.



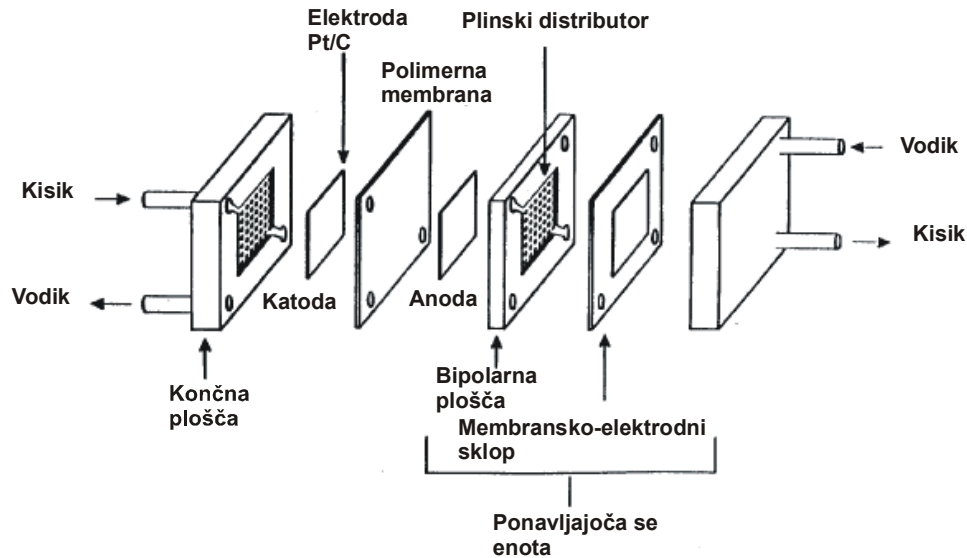
Sl. 1-1: Shematski prikaz strukture in delovanja PEM gorivne celice.

### 1.2.2 PEM GORIVNA CELICA IN SKLOP GORIVNIH CELIC

Sklop PEM gorivnih celic je sestavljen iz zaporedno vezanih posameznih PEM gorivnih celic, t.j. elektrodno-membranskih sklopov, ki jih povezujejo bipolarne plošče. Te so narejene iz električno prevodnega, za pline neprepustnega materiala, v katerega so vtisnjeni kanali za dovod plinov: z ene strani vodika in z druge strani kisika (zraka).

Na sl. 1-1 so prikazani osnovni ponavljajoči se elementi sklopa gorivnih celic. Zaradi sproščanja toplote med reakcijo je potrebno sklop hladiti. To je običajno izvedeno tako, da se na vsakih nekaj zaporedno vezanih gorivnih celic umesti hladilni element. Poleg tega se sklop in drugi sestavni deli sistema hladijo še kot celota. Sklop PEM gorivnih celic je kompleksen sistem, ki zahteva natančno regulacijo pretoka reaktantov (vodika, kisika oziroma zraka), regulacijo dovoda vode za vlaženje vstopajočih plinov in odvoda na katodi nastale vode kot reakcijskega produkta, regulacijo temperature posameznih gorivnih celic in celotnega sklopa. Sklop mora imeti kratek zagonski čas in hiter odziv na zahtevane spremembe moči.

<sup>1</sup> Entalpija – termodinamski potencial (Gibbsova funkcija), definiran kot razlika med entalpijo in produktom temperature in entropije

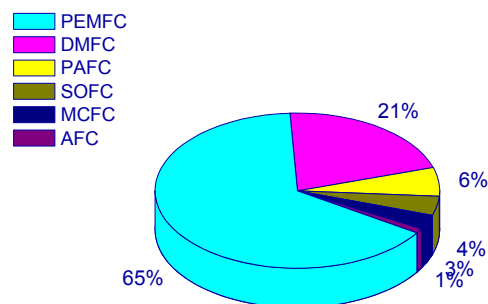


Sl. 1-2: Sklop PEM gorivnih celic z osnovnimi elementi.

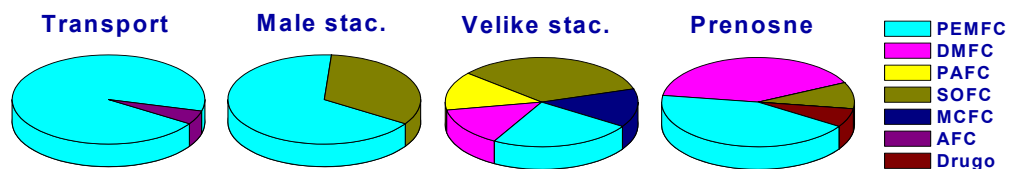
### 1.2.3 ZAKAJ PEM GORIVNE CELICE?

Izmed vseh do leta 2004 zgrajenih sistemov z gorivnimi celicami jih kar 86 % odpade na nizkotemperaturne gorivne celice s protonsko prevodnimi membranami (sl. 1-3). Sem spadajo PEM gorivne celice in metanolne gorivne celice (DMFC). Pri tem moramo upoštevati, da je število sistemov s tovrstnimi celicami resda veliko, vendar pa po inštalirani moči pomenijo le okoli 5% vseh zgrajenih sistemov.

PEM gorivne celice se večinoma uporabljajo v prenosnih, malih stacionarnih in transportnih napravah. V teh področjih uporabe se njihova moč giblje med približno 20 W in 50 kW. Njihov delež na teh področjih pa je zelo visok – med 40 in 95 % (sl. 1-4). Prav zaradi vsestranske uporabnosti imajo PEM gorivne celice največ možnosti za hiter prodor na trg.

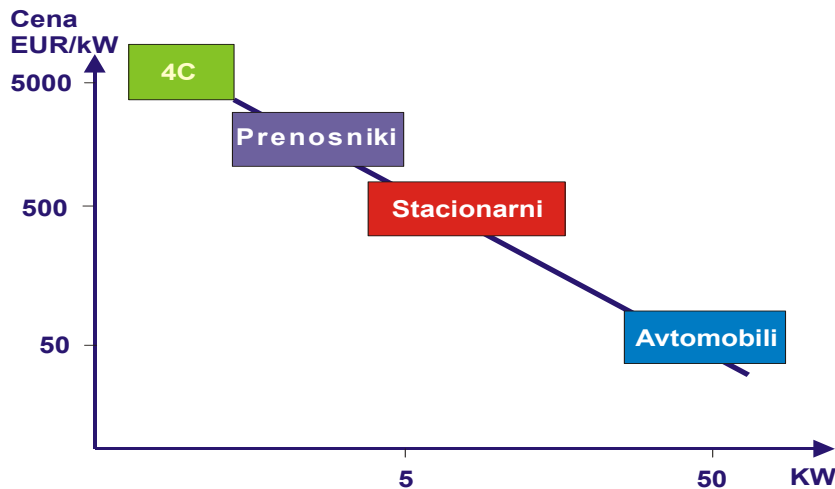


Sl. 1-3: Dosedaj zgrajeni sistemi z gorivnimi celicami (Vir: K.-A. Adamson et al., Fuel Cell Systems: A survey of worldwide activity, Fuel Cell Today, Dec. 2004)



Sl. 1-4: Področja uporabe sistemov in njihov delež (Vir: K.-A. Adamson et al., Fuel Cell Systems: A survey of worldwide activity, Fuel Cell Today, Dec. 2004) Z ozirom na to, da so cene nekaterih vstopnih materialov pri proizvodnji gorivnih celic zelo visoke (npr. cene membrane in elektrokatalizatorjev) ter, da še ni velikoserijske proizvodnje gorivnih celic, ki bi z ekonomijo obsega znižala proizvodne stroške, bo prodor na trg verjetno diktiral cenovni prag za trženje. Sl. 1-5 prikazuje odvisnost cenovnega praga od električne moči sistemov s PEM gorivnimi celicami na različnih področjih uporabe.

Po tej logiki je pričakovati, da se bodo na trgu uveljavile najprej izvedenke metanolnih PEM gorivnih celic z majhno močjo na področju »4C« (camcorders, cellular phones, computers, cordless tools) nato pa vodikove PEM gorivne celice na področju prenosnikov. Vendar so zahteve po kompaktnosti sistemov in njihovi miniaturizaciji tako velike, da bo verjetno prodor na trg najprej dosežen pri stacionarnih sistemih z majhno močjo (1 do 10 kW) in pri mobilnih sistemih z majhno močjo (prav tako 1 do 10 kW). V prvem primeru bodo področja uporabe najverjetneje neodvisni sistemi za sproizvodnjo električne energije in toplote iz obstoječih logističnih goriv, zlasti zemeljskega plina. V drugem primeru pa bodo področja uporabe električna vozila za specialne namene (viličarji, majhni transporterji, itd.) ter majhna mestna osebna vozila.



Sl. 1-5: Cenovni prag za trženje sistemov s PEM gorivnimi celicami na posameznih področjih uporabe.

#### 1.2.4 MOŽNA LOGISTIČNA GORIVA ZA NIZKOTEMPERATURNE PEM GORIVNE CELICE

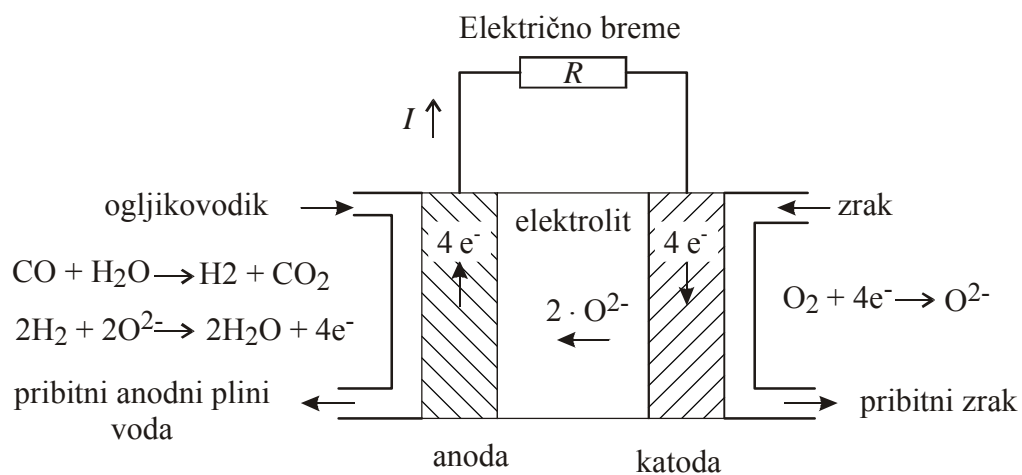
Vodikova ekonomija se v obdobju o katerem govorimo v tej strategiji (2005-2013) ne bo še razvila do te stopnje, da bi lahko sisteme s PEM gorivnimi celicami na vseh področjih uporabe napajali z vodikom. Zato bo za prodor na trg potrebno uporabljati obstoječa logistična goriva in infrastrukturo za njihovo proizvodnjo, skladiščenje in distribucijo ter proizvodnjo vodika iz teh goriv znotraj sistemov z gorivnimi celicami (t.im. »on-board« proizvodnja). Pri tem pa bodo igrale ključno vlogo raziskave in razvoj kompaktnih procesorjev za proizvodnjo vodika iz logističnih goriv (premoga, naftnih derivatov, zemeljskega plina, itd) ter trajnostnih (biomasa, organski odpadki, itd.) in obnovljivih virov (elektroliza vode z električno energijo pridobljeno iz hidrocentral, vetrnih central, fotovoltaičnih sistemov, itd.). Čim bolj diverzificirani bodo uporabljeni primarni energetske viri in prilagojeni lokalnim razmeram (obstoječim zalogam teh virov, socio-geografskim, klimatskim, ekološkim, itd.) tembolj uspešna bo njihova uporaba in lažji bo prodor sistemov z gorivnimi celicami na trg.

### 1.3 SOFC GORIVNE CELICE

Princip delovanja oksidnih gorivnih celic je zelo podoben delovanju PEM gorivnih celic, le da imamo drugačen ionski tok, zaradi česar se razlikujejo reakcije na elektrodah. Delujejo pri bistveno višjih temperaturah (900-1000 °C). Pri tako visokih temperaturah ne potrebujemo dragih katalizatorjev za sprožitev elektrokemičnih reakcij. Kot gorivo lahko uporabljamo kar ogljikovodike, saj se dekompozicija goriva izvaja neposredno na anodi pri visoki temperaturi (t.im. »internal reforming«), brez ločenega reformerja (procesorja za gorivo). Izkoristek pretvorbe je zaradi direktne dekompozicije goriva na anodi dober tudi pri uporabi fosilnih goriv ali goriv pridobljenih iz biomase. Ogljikov monoksid pri reakciji ne nastopa kot element, ki zastruplja celico, ampak kot gorivo.

Podobno kot pri PEM gorivnih celicah tudi SOFC gorivne celice povezujemo v različno velike sklope, ki kot kompleksen sistem zahteva natančno regulacijo pretokov goriva, zraka in produktov. Izvedbe sklopov so v obliki planarnih (ploščatih) elementov (manjše moči), ali cevni elementov (večje moči).

Presežna toplota elektrokemične reakcije je na razpolago pri dovolj visoki temperaturi, da je lahko na voljo kot ogrevalna ali procesna toplota, zato je ta tip gorivnih celic primeren predvsem za stacionarne kogeneracijske sisteme.



Sl. 1-6: Shematski prikaz delovanja SOFC gorivne celice

## 2 IZZIVI

### 2.1 TEHNOLOŠKO POZICIONIRANJE

Na ravni evropske tehnološke platforme za vodik in gorivne celice (HFP) se tematika obravnava v sedmih ožjih vsebinskih področjih:

1. pridobivanje vodika,
2. skladiščenje in distribucija vodika,
3. stacionarni sistemi,
4. mobilni sistemi,
5. prenosni sistemi,
6. socio-ekonomski vidiki in
7. interdisciplinarni vidiki.

Glede na sedanje razmere v Sloveniji na področju proizvodnje, raziskav, kadrov in izobraževalnega sistema v slovenski tehnološki platformi za vodik in gorivne celice (SIHFC) pokrivamo tri od zgoraj naštetih vsebinskih področij evropskega Strateškega raziskovalnega programa (SRA) in sicer:

1. gorivne celice za stacionarne sisteme;
2. gorivne celice za mobilne sisteme in
3. pridobivanje in shranjevanje vodika.

Posamezna vsebinska področja bodo podrobno predstavljena v nadaljevanju.

Na področju tehnologij gorivnih celic se podrobneje usmerimo na dve vrsti gorivnih celic:

- **PEMFC**: nizekotemperaturne (< 80 °C) in visokotemperaturne (< 200 °C) gorivne celice s protonsko prevodno membrano;
- **SOFC**: visokotemperaturne (850-1000 °C) oksidne gorivne celice.

Tehnologijo pridobivanja, skladiščenja in distribucije vodika je možno reševati na dva načina: centralno ali decentralno (dislocirano).

Vodik je podobno kot električna energija energetski prenosnik (vektor), saj predstavlja vez med končnim uporabnikom in poljubnim virom, iz katerega pridobivamo vodik.

V Sloveniji so še posebej zanimivi sistemi za ekstrakcijo vodika iz virov, ki omogočajo povečanje izkoristka pretvorbe kemično vezane energije goriv, s katerimi Slovenija razpolaga. Zato so pomembne tudi raziskave in razvoj pridobivanja vodika iz premoga in biomase. Predvideti je potrebno tudi pridobivanje vodika iz obstoječih virov električne energije v času manjšega povpraševanja, npr. iz jedrske elektrarne v Krškem ali vodnih elektrarn. V kontekstu omenjenih možnosti pridobivanja vodika je potrebno odgovoriti tudi na vprašanje ekonomije razvoja in raziskav za čiščenje in skladiščenje vodika.

Shranjevanje vodika v okviru tehnološke platforme spremljamo z vidika:

- fizikalne ali kemične vezave na različne nosilce (kovinski hidridi, nanoporozni material, adsorpcija, kemisorpcija) in
- shranjevanje v tlačnih posodah.

### 3 VIZIJA

Tehnološka platforma za vodik in gorivne celice predstavlja infrastrukturno platformo, ker posega v vse segmente delovanja družbe in to večplastno od individuuma do družbe na regionalni, nacionalni in nadnacionalni ravni (od mobilnega telefona do lokomotive).

Ker vizija platforme tehnološko tako korenito posega v infrastrukturo, pomeni tudi na sociološki ravni enak učinek, kot predhodno vpeljava prelomnih tehnologij, npr. parnega batnega stroja v drugi polovici 18. ali motorja z notranjim zgorevanjem na začetku prejšnjega stoletja (industrijske revolucije). Še posebej pomemben je vidik umestitve človeka v odnosu do narave: od antropocentrične k ekocentrični paradigmi delovanja človeka.

Z iniciativami v tehnološki platformi želimo, da:

- je javnost širše seznanjena z gorivnimi celicami in komplementarnimi sistemi, njihovim delovanjem, konceptom uporabe v obstoječih sistemih in s kreativnim potencialom pri širšem prodoru tehnologije gorivnih celic na vseh ravneh družbenega delovanja;
- se izobraževalni sistem na strokovnih usmeritvah, ki interdisciplinarno vstopajo v to področje, nadgradi za pridobivanje strokovno usposobljenih in kompetentnih kadrov;
- se potencialni uporabniki tehnologij vodika in gorivnih celic preko demonstracijskih projektov seznanijo s prednostmi in pomanjkljivostmi gorivnih celic in spremljajoče infrastrukture na vseh treh vsebinskih področjih (mobilni sistemi, stacionarni sistemi in shranjevanje vodika);
- se znotraj sistemov gorivnih celic stroke udeležijo za preizkus lastnih postopkov na ravni jedrnih, perifernih in infrastrukturnih tehnologij.

V ta namen želimo organizirati t. i. kompetenčni center, ki igra ključno vlogo pri vzpostavljanju zasebnega in javnega partnerstva pri udejanjanju konkretnih projektov. Center pripravlja za posamezne končne uporabnike demonstracijske projekte, hkrati pa je baza znanja in opreme za razvojno-raziskovalno in izobraževalno delo.

## 4 STRATEŠKE RAZVOJNE USMERITVE

Vodik kot energent je ne le najbolj čist ampak tudi najučinkovitejši nosilec energije, zato bo le ta nedvomno prevladal v energetske strukturi nad fosilnimi gorivi najkasneje po letu 2050. Prehod na vodik je lahko zvezen, saj že z reformingom iz fosilnih goriv bistveno izboljšamo izkoristek, s pridobivanjem vodika iz obnovljivih virov pa zagotovimo še zmanjšanje vplivov na okolje. Glavni gonilniki vodika in gorivnih celic so torej:

- klimatske spremembe – zmanjšanje CO<sub>2</sub>,
- zanesljivost energetske oskrbe; manj odvisnosti od uvoza oz. nahajališč nafte in zemeljskega plina,
- krepitev ekonomske moči EU in
- lokalne emisije.

V nadaljevanju ta dokument v skladu s »Strategic Research Agenda« preučuje ključna področja strateških usmeritev. Dokument definira ključne aktivnosti in določa prednostne razvojne naloge.

V dokumentu je opredeljena kot ključna tehnologija - PEM tehnologija gorivnih celic za uporabo v transportu kakor tudi v stacionarnih aplikacijah. Delitev aktivnosti je razdeljena na tri vsebinska področja, ki so skladna z vsebinskimi področji evropskega SRA, tabela 4-1:

- 1) gorivne celice za stacionarne sisteme
- 2) gorivne celice za mobilne sisteme
- 3) pridobivanje in shranjevanje vodika

Mobilni sistemi so orientirani na PEM sistem gorivnih celic, ki pokriva aplikacije v transportu, na področju pomožnih napajalnih sistemov pa se tehnološko dopolnjuje z vsebinskim področjem stacionarni sistemi.

Tabela 4-1: Predlagana delitev proračuna glede R&R aktivnosti

Research Area	Budget Share	Key Considerations
Transport applications	27 %	Technologically crucial for environmentally friendly transport solutions and the driving force for fuel cell development
Hydrogen production	22 %	Essential for the technological development of the entire sector. Increase of CO <sub>2</sub> -lean production is targeted. Carbon capture and sequestration are of the essence, but expected to be covered within other European R&D programmes
Stationary applications	20 %	Important for CO <sub>2</sub> reduction via highly efficient cogeneration. Provides an opportunity for early markets
Hydrogen storage & Distribution	18 %	Storage density is crucial for effective storage – particularly for transport and portable applications
Portable applications	10 %	Important for early markets. Fit ever increasing market needs to fuel gadgets and small transport applications
Socio-economics	3 %	Long-term guidance for technological development
<b>Total Hydrogen &amp; Fuel Cells</b>	<b>100 %</b>	

### 4.1 GORIVNE CELICE ZA STACIONARNE SISTEME

#### 4.1.1 PREDSTAVITEV

Stacionarne sisteme z gorivnimi celicami lahko razdelimo glede na njihovo moč v grobem na dve skupini: na velike stacionarne sisteme z močjo nad 10 kW in na majhne stacionarne sisteme z močjo pod 10 kW. Druga delitev je na otočne in omrežne sisteme. Prednost stacionarnih sistemov z gorivnimi celicami je predvsem v tem, da omogočajo takojšnje zmanjšanje emisij CO<sub>2</sub> zato ker delujejo z bistveno višjim izkoristkom. Omogočajo postopen prehod od fosilnih logističnih goriv kot sta zemeljski plin in tekoči naftni derivati k trajnostnim virom kot sta bioplina in vodik pridobljen iz biomase in v končni fazi k obnovljivim virom kot je vodik pridobljen s sončno energijo. Osnovni cilj uporabe v stacionarnih sistemih je decentralizirana soproizvodnja elektrike in toplote, vendar bodo

gorivne celice prodrle na trg najprej v tržnih nišah z višjim cenovnim razredom kot so na primer stacionarni pomožni napajalni sistemi. Za manjše stacionarne sisteme so predvsem zanimive PEM gorivne celice z visokotemperaturnimi polimernimi membranami (do 200 °C), ki omogočajo večjo toleranco onesnaženj v gorivu (na primer višjo mejno koncentracijo CO v vodiku, tja do 3 vol.%) in kogeneracijo oziroma trigeneracijo (elektrika-ogrevanje-hlajenje). Razen PEM gorivnih celic je zlasti na področju kogeneracijskih in trigeneracijskih stacionarnih sistemov zanimiva tudi uporaba SOFC gorivnih celic in sicer ploščatih (planarnih) za manjše do 5 kW in cevnih (tubularnih) za večje moči 250 kW in več.

V tem segmentu bo potrebno v letih med 2005 in 2013-2015 predvsem znižati ceno in dvigniti proizvodnjo PEM gorivnih celic na industrijsko raven. Posebno pozornost je treba nameniti rešitvi naslednjih problemov:

- znižanju materialnih stroškov z manjšo porabo plemenitih kovin ali z zamenjavo plemenitih kovin s cenejšimi materiali ter z recikliranjem le-teh;
- razvoju sklopov gorivnih celic z zmanjšanimi elektrokemijskimi in uporovnimi izgubami ter s povečanim izkoristkom goriva;
- povečanju razpona uporabe različnih goriv;
- povečanju trajnosti, zanesljivosti, robustnosti in življenjske dobe;

Pri SOFC gorivnih celicah v letih 2005 in 2013-2015 potrebno usmeriti razvojne napore v tehnološke postopke za ekonomsko sprejemljivo proizvodnjo keramičnih komponent gorivnih celic.

Ko bodo rešeni tehnični problemi in bo omogočen vstop na trg, bo potrebno vložiti dodatne napore za znižanje stroškov predvsem z:

- načrtovanjem sklopa gorivnih celic primerne za veliko industrijsko proizvodnjo,
- znižanjem cene močnostne elektronike in senzorjev,
- razvojem vgrajenih diagnostičnih in nadzornih sistemov,
- učinkovitejšo izrabo toplote predvsem v podsistemu za procesiranje goriva,
- razvojem standardiziranih (t.j. zamenljivih) delov sklopa gorivnih celic in komponent v perifernih podsistemih.

Razvoj mora biti usmerjen predvsem na zgodnje tržne segmente z visoko dodano vrednostjo glede na konvencionalne pretvornike energije. Izvedbeni projekti morajo biti uspešno izvedeni, zato jih je potrebno ustrezno evalvirati in optimirati.

#### 4.1.2 DECENTRALIZIRANA PROIZVODNJA ELEKTRIKE IN TOPLOTE

To področje uporabe je značilno zaradi dolgega časa delovanja sistemov čez vse leto. Zato sta visoka učinkovitost in nizki vzdrževalni stroški zelo pomembni postavki. Soproizvodnja elektrike in toplote ter trigeneracija, nizka raven hrupa, prilagodljivost sistema različnim gorivom ter zanesljivost in dolg obratovalni čas so tiste značilnosti, ki dajejo prednost sistemom s PEM in SOFC gorivnimi celicami pred ostalimi soproizvodnimi sistemi.

V obdobju do 2013-2015 bo prevladovala poraba zemeljskega plina ali utekočinjenih plinov, kot sta utekočinjeni zemeljski plin oziroma utekočinjeni naftni plin. Postopno bo naraščal delež vodika in bioplina.

#### 4.1.3 GOSPODINJSKI AGREGATI Z MOČJO OD 1 DO 10 kW

Precej truda bo potrebno vložiti za znižanje stroškov in povečanje zanesljivosti obratovanja sistemov s PEM gorivnimi celicami v tem uporabnostnem segmentu. K temu bo precej pripomogla sinergija pri razvoju sistemov s PEM gorivnimi celicami v istem razponu moči za mobilno uporabo. Za odročne kraje je posebej pomemben razvoj sistemov majhne moči (manj kot 3 kW), ki zadoščajo za kritje najnujnejših potreb v gospodinjstvu kot so komuniciranje, osvetlitev, hlajenje. Ti sistemi morajo delovati na logistična goriva ali pa na fermentacijski plin iz biomase oziroma na vodik pridobljen iz obnovljivih virov.

Uporaba takih sistemov lahko zniža porabo fosilnih goriv do 50 % in s tem tudi emisije CO<sub>2</sub> do 50%. Z ustrezno povezavo (vzporedno, zaporedno, kaskadno) majhnih sistemov lahko zgradimo tudi večjo energetska postajo. Poleg tega lahko manjše decentralizirane sisteme v zaselkih ali naseljih povežemo v večje sisteme, v katerih so dnevni cikli manj izraziti, brez ostrih prehodov. S tem se obratovalna doba naprav precej poveča.

#### 4.1.4 NEPREKINLJIVI NAPAVALNI SISTEMI (UPS) IN POMOŽNI NAPAVALNI SISTEMI

Neprekinljivi napajalni sistemi morajo reagirati na izpad električnega toka v omrežju takoj, pomožni napajalni sistemi pa morajo zagotavljati električni tok za danega porabnika relativno kratek čas do ponovne vzpostavitve omrežne napetosti. Ti sistemi imajo naslednje značilnosti: kratek zagonski čas, hitro sledijo bremenu, so visoko zanesljivi in dostopni. Pri teh sistemih cena goriva in učinkovitost sistema nista tako pomembna. Tudi cena sistema je lahko precej visoka. Sistemi s PEM gorivnimi celicami lahko uspešno konkurirajo drugim sistemom.

#### 4.1.5 KVALITETNA ELEKTRIČNA MOČ

Sistemi s PEM gorivnimi celicami so zelo primerni za naprave, kjer potrebujemo zelo kvalitetno električno napajanje z majhnimi tolerancami za nihanje frekvence ali napetosti, kot so na primer precizni inštrumenti, merilne naprave, shranjevalniki podatkov. Ti sistemi se čedalje pogosteje uporabljajo tam, kjer je napetost iz omrežja nezanesljiva in nestabilna.

#### 4.1.6 PROSTI ČAS

V razvitih državah ljudje želijo preživeti svoj dopust čimdlje od mestnega hrupa in vrveža, nekje na samem v tesnem stiku z naravo. Avtonomni napajalniki v kampingih, planinskih kočah, počitniških hišicah, prikolicah, motornih čolnih, jadrnicah, lahkih letalih, itd. so čedalje bolj iskani proizvodi. Prav v tem segmentu imajo majhni agregati z gorivnimi celicami precej možnosti za uveljavitev.

#### 4.1.7 OBRAMBA

Pri napajanju občasnih in poltrajnih obrambnih instalacij in sistemov je uporaba logističnih goriv (kerozeni, dizelska goriva) najpomembnejša zahteva. Pomembni so tudi vzdržljivost in zanesljivost naprav, nizek šum in majhno toplotno sevanje, kompaktnost in majna teža. Sklopi PEM gorivnih celic imajo prav zaradi teh zahtev precejšnjo prednost pred ostalimi sistemi. Edina pomanjkljivost je trenutno zahtevno procesiranje goriva pri proizvodnji vodika na mestu uporabe (on-board). Vendar se bo z razvojem visokotemperaturnih PEM gorivnih celic položaj bistveno izboljšal, saj se bo procesor za gorivo lahko precej poenostavil.

#### 4.1.8 PODSISTEMI IN KOMPONENTE

Pri stacionarnih sistemih s PEM gorivnimi celicami se osnovni podsistemi in komponente ne razlikujejo bistveno od predstavljenih v poglavju »4.2 Gorivne celice za mobilne sisteme«. Različne pa so zahteve, ki jim morajo ti podsistemi in komponente zadostiti, da bodo uporabni v stacionarnih sistemih. Te zahteve se v splošnem nanašajo na temperaturo delovanja sklopa s PEM gorivnimi celicami, fleksibilnost za uporabo različnih goriv, obstojnost in zanesljivost delovanja, stroški in optimiranje sistema. PEM gorivne celice že danes zadostijo večini naštetih zahtev. Kljub temu je potrebno precej izboljšati obstojnost sistema; delovati mora več kot 40.000 ur.

Prav tako je potrebno še precej naporov vložiti v znižanje cene sistemov. Do leta 2013-2015 se mora cena znižati na 4000 EUR/kW za majhne stacionarne sisteme. Prav tako je potrebno izboljšati izrabo toplotne energije z boljšim načrtovanjem sistema, predvsem z boljšo soprodukcijo in trigeneracijo, z uvedbo kombiniranih krožnih procesov.

V ta namen bo potrebno v tem obdobju posvetiti največ pozornosti raziskavam in razvoju sistemov s PEM gorivnimi celicami v naslednjih segmentih:

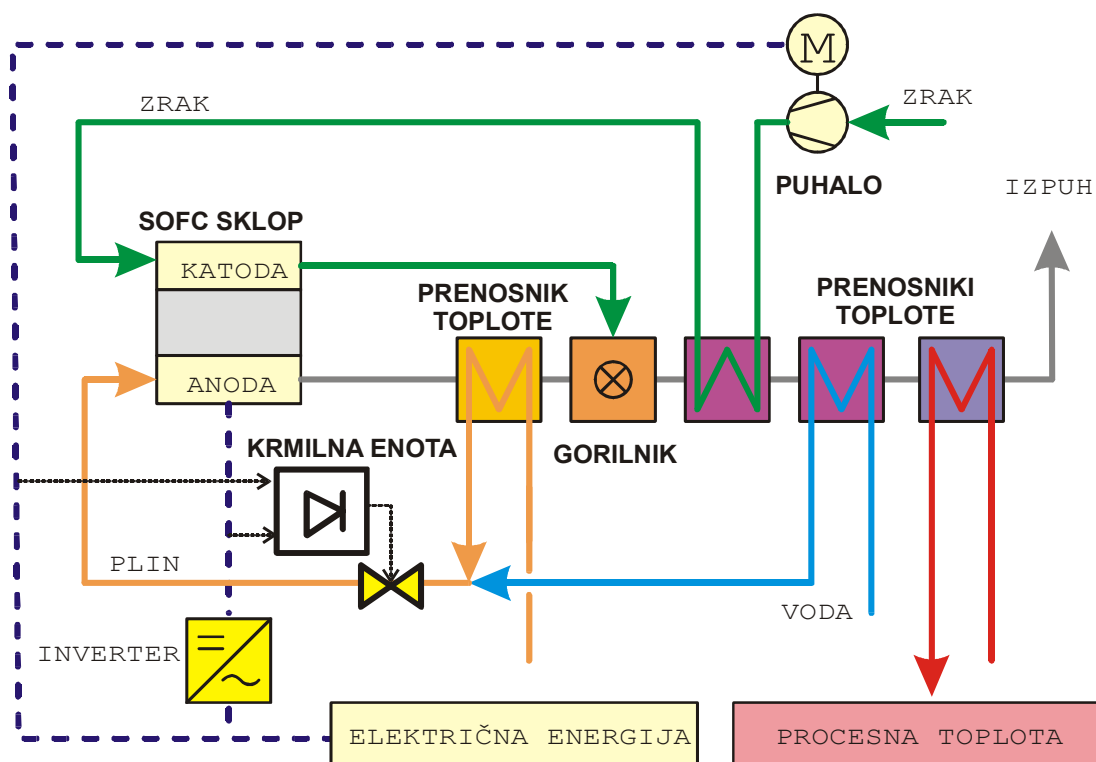
- povišati obratovalno temperaturo,
- povečati toleranco z ozirom na vsebnost CO v vodiku,
- znižati količino Pt v MES, oziroma nadomestiti Pt z cenejšimi katalizatorji,
- reciklirati komponente sklopa,
- znižati ceno procesorja za goriva,
- razviti mehanistične modele za procese degradacije PEM gorivnih celic,
- razviti temperaturno primerljive procese za čiščenje goriva, zlasti bioplina in
- razviti brezvodne visokotemperaturne membrane in membransko-elektrodne sklope.

Stacionarni sistemi s PEM gorivnimi celicami z močjo do 10 kW naj bi v tem obdobju dosegali naslednje tehnične kriterije:

Tabela 4-2: Tehnični kriteriji za majhne stacionarne sisteme

	Zgodnji terenski testi	Demonstracijski testi	Prve industrijske serije
Časovno obdobje	2004-2006	2005-2008	2007-2010
Električna učinkovitost na začetku, vključno z DC/AC pretvorbo	30%	32%	34%
Skupna učinkovitost na začetku v najboljši točki	>70%	75%	80%
Cena sistema [EUR/kW]	20.000	10.000	4.000
Trajnost sklopa PEM gorivnih celic (90% obratovalne dobe) [h]	3.000	5.000	>10.000
<b>Število zagonov pri temperaturi 15 °C</b>	<b>20</b>	<b>35</b>	<b>50</b>

Pri sistemih na osnovi SOFC so zahteve po razpoložljivosti, izkoristkih in življenjski dobi podobne. Na sliki spodaj so shematsko prikazane komponente sistema, ki morajo biti optimirane za delovanje vsakega sistema posebej.



Sl. 4-1: Shema kogeneracijskega sistema s sklopom SOFC gorivnih celic.

## 4.2 GORIVNE CELICE ZA MOBILNE SISTEME

### 4.2.1 PREDSTAVITEV

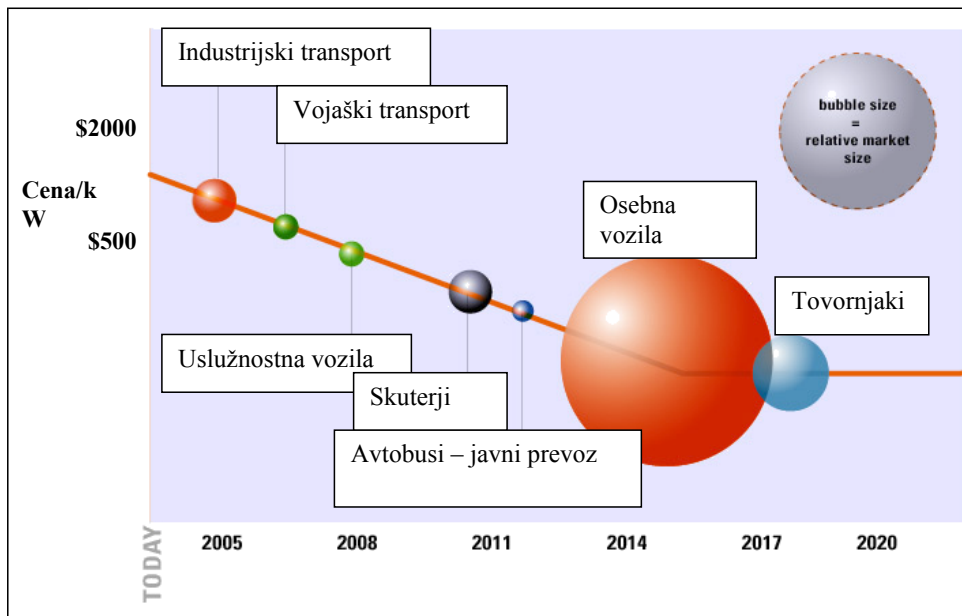
Vsebinsko področje mobilni sistemi pokriva področje transporta po tleh, zraku in vodi. Glede na največji obseg trga in največji potencial je glavni poudarek pri transportu po tleh na uporabi vodika kot energenta v osebnih vozilih in mestnih avtobusih. Uporaba vodika in gorivnih celic na področju transporta pa je tudi na segmentih lahkih tovornih vozil, industrijskih transportnih sredstvih (viličarji) kot glavni ali pa pomožni pogonski vir. Industrializacija je najbližje prav v slednjih tržnih aplikacijah. Kot pomožni vir električne energije se gorivne celice uporabljajo tudi v pomorskih aplikacijah.

Razvoj sistemov, ki temeljijo na vodiku kot pogonskem gorivu, je odvisen od razvoja proizvodnje in shranjevanja tega energenta. Že uporaba vodika, ki je pridobljen z reformingom naravnega plina, bistveno prispeva k zmanjšanju toplogrednih plinov, ki jih v okolje emitirajo današnji mobilni sistemi. S pridobivanjem vodika iz obnovljivih virov pa se ta vpliv na okolje še bistveno zmanjša.

#### 4.2.2 TEHNOLOŠKO POZICIONIRANJE GORIVNIH CELIC ZA MOBILNE SISTEME

Po obsegu in stopnji industrializacije je najzanimivejše področje transporta, ki ga lahko razdelimo na več tržnih niš. Glede na cenovno občutljivost tržnih niš in načrtovane razvojne aktivnosti je po analizah proizvajalcev gorivnih celic predvidena industrializacija v največjem obsegu šele po letu 2014, ko bo stopnja razvoja zadovoljila pričakovanja proizvajalcev in uporabnikov osebnih vozil. Do najvišje stopnje industrializacije gorivnih celic bo torej potrebno še veliko investicij v raziskave in razvoj novih tehnologij in materialov. Kljub temu pa so aplikacije na trgu, ki bodo prenesle bistveno višjo ceno na enoto moči, vendar so v teh tržnih nišah količine manjše. Prikaz razvoja uporabe gorivnih celic v posameznih tržnih nišah v transportu je prikazan na sl. 4-2.

Cilj raziskav in razvoja na tem področju je pripeljati v danem časovnem razponu tehnologijo gorivnih celic na trg z okrepitvijo raziskav in razvoja sestavnih delov, podsistemov in integriranih kompaktnih sistemov z gorivnimi celicami. Raziskave in razvoj sestavnih delov zlasti v jedrni tehnologiji gorivnih celic s protonsko izmenjalnimi membranami (PEM) bodo usmerjene predvsem v nove, boljše in cenejše materiale ter tehnologije za njihovo cenovno ugodno veliko serijsko proizvodnjo.



Sl. 4-2: Cenovni prag za trženje mobilnih sistemov s PEM gorivnimi celicami na posameznih področjih uporabe (Vir: Domel, interni vir, 2004)

Raziskave in razvoj bodo ciljane in jih bodo vodile zahteve za uporabo v določenih tržnih nišah. Sproti se bodo prilagajale glede na razvoj konkurenčnih tehnologij.

Napredek raziskav in razvoja pri posameznih podsistemih bo sproti preizkušen v primernih uporabnih sistemih. Tako bo zagotovljeno pridobivanje praktičnih izkušenj in nujna povratna zveza za nadaljnji razvoj in raziskave.

Raziskave in razvoj integriranih sistemov s PEM gorivnimi celicami za mobilne sisteme bodo usmerjene v tiste tehnološke in tržne niše, ki zagotavljajo ustrezen cenovni razred. S tem se nameravamo izogniti prehudim začetnim časovnim, finančnim in konkurenčnim pritiskom, ki so značilni za raziskave in razvoj na področju avtomobilske industrije. Ker pa to področje predstavlja največji tržni delež se bomo vanj vključevali tam in tedaj ko dosežemo ustrezno tehnično-tehnološko raven in konkurenčne cene.

#### 4.2.3 RAZVOJNE USMERITVE PODROČJA GORIVNIH CELIC ZA MOBILNE SISTEME

##### 4.2.3.1 Razvojne strategije za obdobja 2005 to 2015

Kratkoročne aktivnosti so predvsem usmerjene v razvoj in raziskave komercialnih rešitev na materialih, komponentah in podsklopih, kakor tudi v integracijo sistemov. Uvajanje novih materialov zahteva nenehne prilagoditve tudi na strani komponent predvsem v smeri iskanja rešitev s ciljem zniževanja proizvodnih stroškov.

#### 4.2.3.2 Srednjeročni pregled področja mobilni sistemi do leta 2030

Razviti bodo hibridni sistemi na osnovi gorivnih celic za moči 50 – 300 kW in že masovno proizvajani za aplikacije osebnih vozil in avtobusov. Tipičen pogonski sistem bo moči 100 kW s proizvodnimi stroški 60 EUR/kW; specifične teže in volumna: 2,5 l/kW, 3 kg/kW. Tipičen doseg sistema bo min. 600 km z izkoristkom 45 % kar je enako ekvivalentni porabi 3 litrov diesel goriva na 100 km in bo brez emisij toplogrednih plinov.

Uporabljena bo napredna tehnologija gorivnih celic na novi visokotemperaturni PEM membrani s temperaturo obratovanja 120 °C. Uporabljena bo tehnologija z zmanjšano vsebnostjo platine 0.2 mg/cm<sup>2</sup>, dosega se specifična moč 1 W/cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.3.3 Dolgoročni pregled področja mobilni sistemi do leta 2050

Do leta 2050 bo v industrijsko razvitih deželah delež fosilnih goriv predstavljal manj kot 50 % v segmentu transportnih sredstev. Razvite bodo tehnologije za pridobivanje, transport in hranjenje vodika. Učinki ekonomije obsega bodo po letu 2030 zagotavljali cenovno konkurenčnost, industrializacija posameznih inženirskih rešitev bo dosegla svoj višek.

### 4.2.4 POGONSKI SISTEMI S PEM GORIVNIMI CELICAMI

#### 4.2.4.1 Pogonski sistemi s PEM gorivnimi celicami

Velika specifična moč (kW/kg, kW/dm<sup>3</sup>), hiter dinamičen odziv in kratek zagonski čas so značilnosti, ki jih mora imeti skoraj vsak pogonski sistem. Prav zato so nizkotemperaturne PEM gorivne celice na vodik in zrak, ki imajo veliko specifično moč, zelo hiter dinamičen odziv in zelo kratek zagonski čas, najprimernejše za pogonske sisteme.

#### Osebna vozila

Pogonski sistem za osebna vozila je verjetno najzahtevnejše področje uporabe gorivnih celic z ozirom na ceno, prostornino, težo, okoljske pogoje in dinamičen odziv. Hkrati pa predstavlja daleč največji tržni segment za gorivne celice.

Današnje stanje tehnike omogoča izgradnjo osebnih vozil s pogonom na gorivne celice. Demonstracijska vozila so varna in udobna. Imajo pa relativno majhno avtonomijo (do 400 km s polnim rezervoarjem vodika pod tlakom), zelo visoko ceno (nad 4000 EUR/kW), kratko življenjsko dobo (manj kot 2000 ur) in zavzamejo precejšnjo prostornino (okoli 3 L/kW). Prav gotovo je največja ovira visoka cena, zato je tu potrebno vložiti največ napora pri raziskavah in razvoju. Cena materialov vgrajenih v membransko-elektrodni sklop (MEA – membrane-electrode assembly) se mora znižati za 5 do 10-krat in tako zagotoviti, da se bo pri velikoserijski proizvodnji cena znižala za 50 do 100-krat.

V tem časovnem obdobju je potrebno doseči naslednje cilje:

- omogočiti delovanje sistema pri vseh vremenskih pogojih, vključno z zagonom pri temperaturah med -25 0C in +45 0C,
- doseči maksimalno električno učinkovitost pogonskega sistema nad 40% z razvojem visokokakovostnega membransko-elektrodnega sklopa (MES) delujočega pri nizki relativni vlažnosti napajalnih plinov, nizkotlačnega dovoda zraka, hibridnega sistema za rekuperacijo izgubljene in zagotavljanje vršne energije z baterijami in superkondenzatorji,
- doseči avtonomijo vozil nad 400 km,
- znižati ceno pogonskega sistema na 100 EUR/kW (projekcija pri velikoserijski proizvodnji nad 150.000 enot na leto),
- doseči življenjsko dobo nad 5000 ur in
- doseči kompaktnost sistema z gorivnimi celicami 1,5 kg/kW in 1,5 L/kW (brez električnega pogona in shranjevanja vodika).

### Transport v industriji

Trenutno najbolj razvita aplikacija na trgu so prav viličarji, kjer prednosti uporabe alternativne tehnologije že odtehtajo pomanjkljivosti akumulatorjev. Veliki distribucijski centri, kjer pretovarjanje poteka 24 ur dnevno in v velikih proizvodnih obratih (avtomobilska industrija) potrebujejo po cca 2.5 do 3 akumulatorje na viličar. Polnjenje poteka cca 8 ur v zato prirejenih prostorih, kjer je tudi velika ekološka obremenitev. Uporaba gorivnih celic zagotavlja boljši izkoristek delovnega časa, manjše okoljske obremenitve in daljšo avtonomijo z enkratno polnitvijo (min 8 ur) pri dejstvu, da polnjenje

poteka le nekaj minut. Glede na prednosti nove tehnologije je ekonomska upravičenost investicije že pri današnjih proizvodnih cenah gorivnih celic.

Za uvedbo tehnologije v masovno proizvodnjo, pa bo potrebno dosežati naslednje kriterije:

- obratovanje v okolici 0 – 40 °C;
- cena 1000 EUR / kW;
- kompaktnost sistema (omejitev z volumnom obstoječih akumulatorjev) ;
- robustnost sistema – uporaba v industrijskem okolju – vibracije, klimatski vplivi;
- optimiziran hibridni sistem, kjer je kombinacija gorivne celice nadgrajena z Ultrakondenzatorji
- avtonomija 8 ur neprekinjenega delovanja;
- zagotovljeno enostavno hranjenje energenta (vodika) ter zagotovljeno hitro polnjenje vozil;
- zagotovljena preskrba z energentom;

### Ostale aplikacije v mobilnih sistemih

Vozila za posebno uporabo predstavljajo zgodnje tržne niše, katerih tržni obseg je številčno bistveno manjši od osebnih vozil, a je po drugi strani v precej višjem cenovnem razredu (vsaj za velikostni red, t.j. približno 10.000 EUR/kW). Take tržne niše so idealne za preizkus tehnoloških izboljšav na poti k doseganju ciljev za bolj zahtevne niše. Sem spadajo invalidski vozički, motorna kolesa, majhni dostavni vozički, vozički za golf, viličarji, športni čolni, lahka letala, itd., v razponu moči med približno 100W in 5 kW. V tem segmentu so zahteve blažje, kljub temu pa je do leta 2013-2015 na primer za invalidske vozičke z močjo 1 kW treba doseči naslednje cilje:

- doseči delovanje v vseh okoljskih pogojih, vključno z zagonom pri –10 0C.
- doseči kompaktnost celotnega pogonskega sistema z gorivnimi celicami 5 kg/kW in 5 L/kW.
- doseči učinkovitost sistema nad 30% z:
- visokokakovostnim MES
- nizkotlačnim dovodom zraka
- notranjim sistemom vlaženja elektrod in elektrolita
- hibridnim sistemom (baterije in superkondenzatorji)
- doseči avtonomijo 50-100 km.

### Primerjava s konvencionalnimi in drugimi novimi sistemi

Vozila s pogonskimi sistemi na gorivne celice morajo dosežati in presežati standarde, ki jih bodo dosegali v letih 2013-2015 pogonski sistemi na motorje z notranjim zgorevanjem (MNZ), ne glede na gorivo, ki ga slednji lahko uporabijo (bencin, dizel, vodik). V spodnji tabela 4-3 so prikazane ciljne učinkovitosti pogonskih sistemov za nov evropski vozni cikel (New European Driving Cycle – NEDC).

Tabela 4-3: Učinkovitost sistema od »rezervoarja do kolesa« (TTW) v NEDC (Vir: EU HFP SRA)

Gorivo	Bencin	Dizel	MNZ vodik	Gorivna celica vodik
Obstoječe stanje	17%	22%	18%	38%
Potencialno stanje 2015	20%	25%	24%	42%
Potencialno stanje 2015 s hibridnim sistemom	25%	33%	30%	48%

V tej analizi je upoštevana kot zgornja meja za tržno ceno pogonskega sistema na gorivne celice 100 EUR/kW. Višja cena je lahko kompetitivna le, če je subvencionirana ali zaradi strožje regulative, ki bi veljala za uporabo vozil v mestnih jedrih (ničelne emisije, nizek prag povzročanja hrupa, itd.).

#### 4.2.4.2 Pomožni napajalni sistemi (APU)

Pomožne napajalne sisteme z gorivnimi celicami obravnavamo v okviru mobilnih sistemov zato, ker jih lahko napajamo z gorivi, ki jih potrebujejo konvencionalni MNZ pogonski sistemi, t.j. bencin, dizel, kerozin. Seveda pa moramo iz teh goriv proizvesti sintezni plin oziroma vodik s pomočjo kompaktnega reformerja v vozilu samem. Taki sistemi bodo potrebni predvsem zato, ker ni pričakovati hitrega razvoja drage infrastrukture za napajanje vozil s čistim vodikom.

V pomožnih napajalnih sistemih je zaželen uporaba visokotemperaturnih PEM gorivnih celic, ki so mnogo bolj tolerantne za prisotnost ogljikovega monoksida (CO) v vodiku in s tem bistveno olajšajo izdelavo kompaktnega reformerja goriva.

Strateški cilji za raziskave in razvoj pomožnih napajalnih sistemov so podani za primer 10 kW enote za vozilo na dizelski pogon:

- doseči življenjsko dobo 5.000 do 40.000 ur, odvisno od uporabe;
- doseči delovanje v temperaturnem območju od -25 °C do +45 °C;
- doseči učinkovitost pri polni obremenitvi nad 35%;
- doseči zagonski čas pri nizki temperaturi pod 30 s;
- doseči raven emisij SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) v skladu s kalifornijsko zakonodajo (California Zero Emission Legislation);
- doseči težo in prostornino sistema pod 50 kg oziroma pod 50 l.

Pomožni pogonski sistemi so zanimivi tudi za obrambne sisteme, ker zagotavljajo nizko raven toplotnega, zvočnega in magnetnega signala. Hkrati je to zagotovo tržna niša v visokem cenovnem razredu.

Prav tako so pomožni pogonski sistemi zanimivi za ladijski in zračni transport, saj zagotavljajo decentralizirano napajanje z električno energijo in s tem večjo varnost.

#### 4.2.5 KLJUČNI PODSISTEMI IN KOMPONENTE

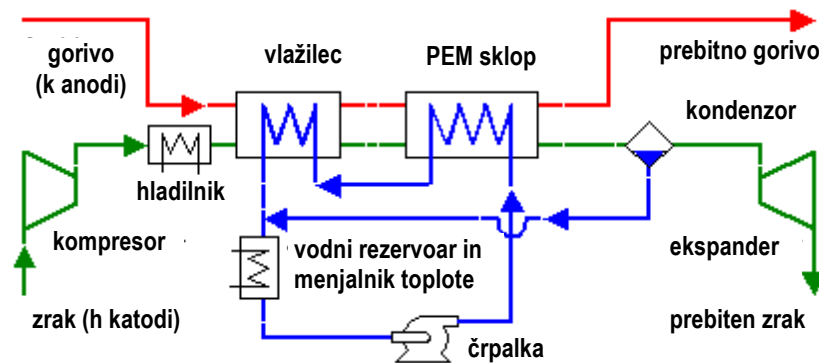
##### 4.2.5.1 Ključni podsistemi in komponente

###### Podsistem s sklopom PEM gorivnih celic

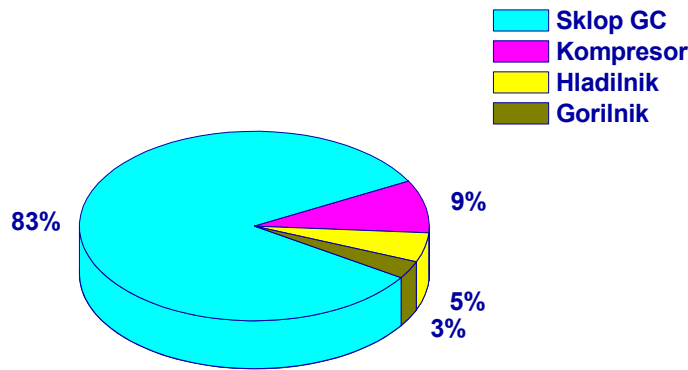
Podsistem s sklopom PEM gorivnih celic predstavlja jedro tehnologije pogonskih sistemov s PEM gorivnimi celicami. Sestavljajo ga:

- sklop PEM gorivnih celic
- kompresorja za dovod goriva in zraka
- hladilni sistem
- gorilnik za prebitno dovedeno gorivo

Na sl. 4-3 je prikazana shema podsistema s sklopom PEM gorivnih celic.



Sl. 4-3: Shema običajnega sistema s sklopom PEM gorivnih celic.



Sl. 4-4: Razrez stroškov podsistema s sklopom PEM gorivnih celic  
(Vir: James Wilkie, Johnson Matthey Fuel Cells, NEC, 31st March 2004)

Razrez stroškov za izdelavo podsistema pri enem izmed evropskih proizvajalcev v letu 2004 je prikazan na sl. 4-4. Očitno je, da predstavlja sklop PEM gorivnih celic za velikostni red višji strošek glede na posamezne ostale komponente sistema.

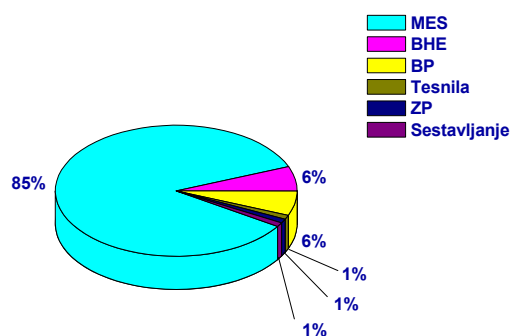
#### Sklop PEM gorivnih celic (« PEMFC stack »)

Sklop PEM gorivnih celic je zgrajen iz naslednjih komponent:

- protonsko prevodne membrane,
- plinsko-difuzijskih elektrod (anode in katode),
- bipolarnih plošč (BP),
- tesnil,
- bipolarnih hladilnih elementov (BHE) in
- zaključnih plošč (ZP).

Membrana in elektrodi tvorita membransko-elektrodni sklop (MES), ki je običajno izdelan po posebnem postopku tako, da so njegovi sestavni deli neločljivo povezani v eno celoto.

Znotraj sklopa PEM gorivnih celic predstavljajo levji delež stroški za membransko elektrodni sklop (MES) (sl. 4-5). Znotraj slednjega pa sta glavna stroška za katalizator v elektrodah (Pt) in za protonsko prevodno membrano. Prvi predstavlja približno dve tretini, drugi pa eno tretino stroškov za MES. Odtod jassen strateški cilj – **znižati stroške MES vsaj za 10-krat**.



Sl. 4-5: Razrez stroškov sklopa PEM gorivnih celic  
(Vir: James Wilkie, Johnson Matthey Fuel Cells, NEC, 31st March 2004)

Raziskave in razvoj morajo biti zato v obdobju do leta 2013-2015 usmerjene k doseganju naslednjih ciljev:

- a) znižanje stroškov,
- b) povečanje učinkovitosti,
- c) izboljšanje zanesljivosti in podaljšanje življenjske dobe podsistema,
- d) razširitev območja delovanja in
- e) poenostavitev podsistema z izogibanjem uporabi tekoče vode.

Vsakega izmed ciljev a) do e) bomo v nadaljevanju še podrobneje opisali.

#### Ad a) Znižanje stroškov

Stroške MES je možno znižati najprej z manjšo uporabo plemenitih kovin kot katalizatorjev ali z zamenjavo plemenitih kovin s cenejšimi kovinskimi katalizatorji. Razlogi za to, da to ni bilo že storjeno so naslednji: neplemenite kovine so korozijsko manj obstojne in imajo nekaj velikostnih redov nižjo specifično katalitsko aktivnost pri sedanjih temperaturah delovanja PEM gorivnih celic (60 – 85 °C).

Prav tako je možno stroške MES znižati s sintezo novih cenejših in boljših protonsko prevodnih membran. To bo potrebno storiti tudi zaradi zahtev po razširitvi temperaturnega območja delovanja PEM gorivnih celic; za avtomobilske pogonske sisteme naj bi PEM gorivne celice delovale pri temperaturah nad 130 °C. Takšne delovne temperature bi precej zvišale toplotni izkoristek pogonskega sistema. Hkrati bi višja temperatura izboljšala kinetiko elektrodnih reakcij na neplemenitih kovinskih katalizatorjih.

Po drugi strani pa bi uporaba sedanjih sulfoniranih polimernih membran, ki potrebujejo 100 % relativno vlažnost, da obdržijo visoko protonsko prevodnost, zahtevala ustrezno povečanje tlaka. To bi pomenilo povečanje teže sistema oziroma znižanje specifične moči.

Temu se je mogoče izogniti le z raziskavami in razvojem novih protonsko prevodnih membran, ki temeljijo na kompozitnih materialih v katerih je protonska prevodnost možna pri nizki relativni vlažnosti ali v katerih je mehanizem protionske prevodnosti drugačen. Zato je že danes pretežni del raziskav in razvoja PEM gorivnih celic usmerjen k visokotemperaturnim membranam in membransko-elektrodnim sklopom. Raziskave in razvoj v tej smeri se morajo intenzivirati v obdobju do leta 2013-2015 tako, da bo moč doseči protonsko prevodnost nad 100 mS/cm pri temperaturi 120 °C in pri relativni vlažnosti napajalnih plinov pod 10 %. Hkrati pa morajo nove membrane delovati tudi pri nizkih temperaturah ob prisotnosti tekoče vode. Cena novih membran mora biti pod 20 EUR/m<sup>2</sup>, t.j. približno 10 do 20-krat nižja kot cena današnjih, Nafionu<sup>2</sup> podobnih membran.

#### Ad b) Povečanje učinkovitosti

Učinkovitost sklopa PEM gorivnih celic je mogoče povečati z zmanjšanjem polarizacijskih izgub na elektrodah, predvsem na katodi, z višjo protonsko prevodnostjo membrane in z izboljšanjem strukture in izkoriščenosti trifazne meje v katalitskem sloju plinsko-difuzijske elektrode (povečanje difuzijsko omejenega toka). Zato je potrebno raziskati in razviti nove katalizatorje za katodno reakcijo, raziskati nove protonsko prevodne materiale in izboljšati modele za delovanje in načrtovanje membranskih reaktorjev.

#### Ad c) Izboljšanje zanesljivosti in podaljšanje življenjske dobe podsistema

Nove materiale (katalizatorje in membrane) je treba preizkusiti v modelnih membranskih reaktorjih – gorivnih celicah in tako ugotoviti v realnih pogojih delovanja njihovo zanesljivost in obstojnost.

#### Ad d) Razširitev območja delovanja

(Glej pod a))

#### Ad e) Poenostavitev podsistema z izogibanjem uporabi tekoče vode

(Glej pod a)).

### **Druge komponente podsistema PEM gorivnih celic**

Povišana temperatura delovanja sklopa PEM gorivnih celic in njegovo delovanje pri znižani relativni vlažnosti napajalnih plinov postavljajo nove zahteve pri razvoju plinskega napajalnega sistema (kompresorjev za vodik in zrak). Glede na razvoj »core technology«, mora slediti tudi razvoj komponent.

#### Management goriva in zraka

- raziskava potreb za dovajanje zraka za različne uporabljene materiala (MES) in za različne moči,
- optimiranje sistema za dovajanje zraka s ciljem izboljšati izkoristek sistema in s tem hkrati tudi izkoristek celotnega sistema,
- razvoj novih sistemov za dovajanje zraka s ciljem povečati kompaktnost sistema,

<sup>2</sup> Nafion® - trgovska znamka firme Du Pont

- zagotoviti visoko stabilnost delovanja,
- obvladljivost in
- optimizacija vitalnih delov sistema s ciljem zagotoviti dovolj dolgo življenjska doba pri sprejemljivih proizvodnih stroških.

#### Inverter DC / AC

- raziskava potreb glede na različne tržne niše,
- razvoj inverterja DC/AC za potrebe pomožnih napajalnih sistemov in
- optimizacija procesa proizvodnje in porabe energije v modulu z gorivnimi celicami.

#### Elektronski krmilni sklopi oziroma upravljanje

- raziskava električnih pogonskih sistemov glede na potrebe tržnih niš,
- optimiranje pogonov: design elektromotorja s ciljem povečati izkoristek sistema,
- raziskava načinov krmiljenja viličarja,
- razvoj celotnega krmilnega pogonskega sistema in
- optimiranje procesa proizvodnje in poraba energije v gorivni celici – energy management.

#### Superkondenzatorji

- iskanje in raziskovanje novih materialov za ultrakondenzator,
- optimizacija hibridnega pogona (gorivna celica + ultrakondenzator) in
- raziskava vplivov na življenjsko dobo kondenzatorjev.

#### Napajanje z vodikom in shranjevanje vodika

- raziskava in optimizacija sistema dovajanja vodika v gorivno celico in
- raziskava optimalnih sistemov za hranjenje vodika za različne aplikacije.

#### Periferni sistemi (kot celota)

- analiza sistema, merjenje dinamike sistema, poraba energije pri različnih obremenitvah.

#### Prenosnik toplote

- kompaktnost, izkoristek sistema, masa, cena ??? in
- zunanji in notranji.

#### Odvod kondenzata in ventilator

- dinamika obratovanja, kompaktnost.

#### Splošno

- primarna usmeritev na PEM gorivne celice,
- analiza primernosti PEM gorivnih celic za delo na različnih temperaturnih področjih (-20 do 40 °C)
  - avtomobilске aplikacije -40 °C - + 140 °C,
- analiza dinamike obratovanja in
- analiza ključnih komponent

Izdelava ustreznih bipolarnih plošč in bipolarnih hladilnih elementov znotraj sklopa PEM gorivnih celic zahteva raziskave in razvoj novih materialov, ki bodo neprepustni za vodik, električno dobro prevodni (najmanj tako dobro prevodni kot grafit), korozijsko obstojni, mehansko trdni elementi v konstrukciji sklopa, ki so hkrati tudi razdelilci napajalnih plinov po celotni površini elektrod in to pri temperaturah do 200 °C. Zlasti pomemben je fluidodinamski dizajn razdelilnih kanalov za pline saj morajo ti kanali zagotavljati enak dotok plinov v vsako izmed zaporedno vezanih gorivnih celic. Zelo podobni problemi so pri razvoju vmesnih bipolarnih hladilnih elementov. Ti so razporejeni na vsakih nekaj gorivnih celic znotraj sklopa in zagotavljajo izotermne pogoje delovanja sklopa. Pri tem igra pomembno vlogo razvoj integriranega merilno-regulacijskega modula, ki zagotavlja ustrezno snovno in toplotno bilanco sistema pri različnih dinamičnih obremenitvah.

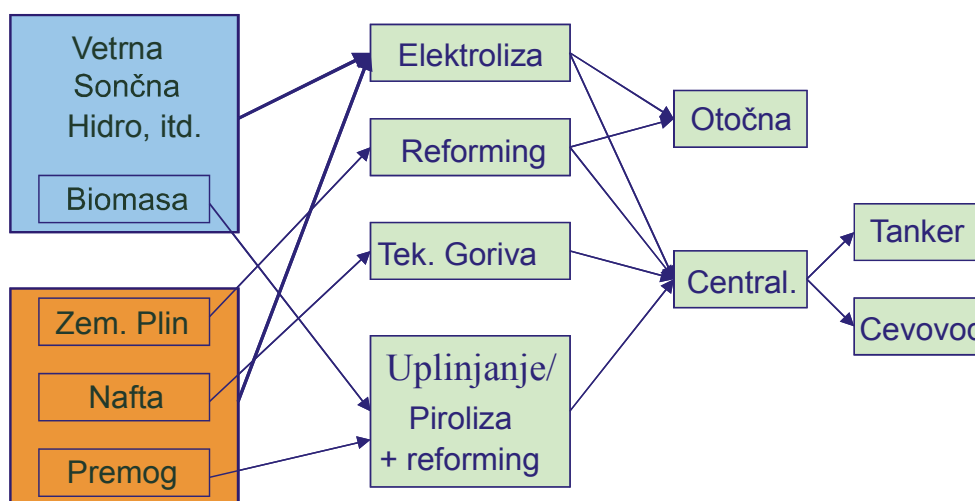
## Podsistem z reformerjem goriva

Čeprav je vodik najbolj razširjen element v vesolju, saj predstavlja kar 90 % vse mase, pa ga na Zemlji, zaradi njegove velike reaktivnosti, ne najdemo v čisti molekularni obliki, temveč vezanega v spojinah kot je voda in v organski snovi. Čist vodik v molekularni obliki spada med najmočnejša kemijska goriva – njegova kalorična vrednost je 2,6-krat višja od metana. Hkrati je vodik tudi najčistejše gorivo: v procesu zgorevanja nastane voda, pri tem pa ni stranskih emisij škodljivih plinov ali delcev. Vodik je hkrati tudi energetski prenosnik (vector), ki ga je moč proizvesti iz velikega števila obnovljivih (npr. vode ali biomase) ali fosilnih (npr. premoga, nafte, zemeljskega plina) primarnih energetskih virov. Proizvajamo ga lahko na centraliziran ali distribuiran način. Shema na sliki 9 ponazarja v strnjeni obliki možne energetske poti za vodik. Takšna raznolikost načinov omogoča proizvodnjo vodika kadarkoli in kjerkoli na svetu.

Gorivne celice so edinstveni direktni energetski pretvorniki, ki pretvarjajo energijo kemijskih reakcij v električni tok z 90%-no maksimalno učinkovitostjo. Večina tipov gorivnih celic uporablja kot gorivo bodisi čist vodik ali pa obogaten vodik pridobljen iz vodik vsebujočih organskih primarnih energetskih virov. Nekatere gorivne celice lahko direktno uporabljajo dovolj reaktivna goriva kot so metan, metanol, etanol, ogljikov monoksid, amonijak, itd.

Vsi procesi za proizvodnjo vodika temeljijo na ekstrakciji iz vodik vsebujočih virov. Kateri način izberemo je odvisno od vira in tehnologije za pretvorbo energije, ki sta na razpolago na mestu uporabe vodika.

Za mobilne sisteme z nizkotemperaturnimi PEM gorivnimi celicami je potreben vodik, ki ne vsebuje katalitičnih strupov. Ti namreč lahko povsem blokirajo delovanje platinskih katalizatorjev na anodi. Zato je process pridobivanja in čiščenja vodika za ta tip gorivnih celic najzahtevnejši. Slika ... prikazuje splošno shemo za pridobivanje vodika iz obnovljivih (npr. iz biomase, organskih odpadkov, etanola) ali fosilnih (npr. iz premoga, nafte, zemeljskega plina) goriv. Vsi navedeni procesi so znani in tehnološko dodelani na velikoindustrijski skali v petrokemični industriji.



Sl. 4-6: Energetske poti za pridobivanje vodika.

Problemi razvoja kompaktnih procesorjev za proizvodnjo vodika iz logističnih goriv na podvozu mobilne naprave (npr. avtomobila) so mnogoplastni. Zadevajo razvoj novih katalizatorjev za posamezne procese, ki bodo odpornejši na primesi organskega žvepla, hidrotermalno obstojni, nepiroforni in odporni na ciklanje vžig-izklop. Prav tako zahtevajo popolnoma nove inženirske pristope pri razvoju nosilcev katalizatorjev in načrtovanju segmentnih ter membranskih reaktorjev in mikroreaktorjev. Taki reaktorji ne bodo delovali v stacionarnem režimu tako kot večina industrijskih reaktorjev temveč bodo podvrženi hitrim cikličnim spremembam in bodo zato delovali velik del obratovalnega časa v tranzientnih režimih. V večstopenjskih reaktorskih sklopih je zelo resen problem zagotoviti hitro odzivnost sistema ob hkratnem ohranjanju njegove stabilnosti. Tehnični cilji, ki jih je potrebno doseči v obdobju do leta 2013-2015 so naslednji:

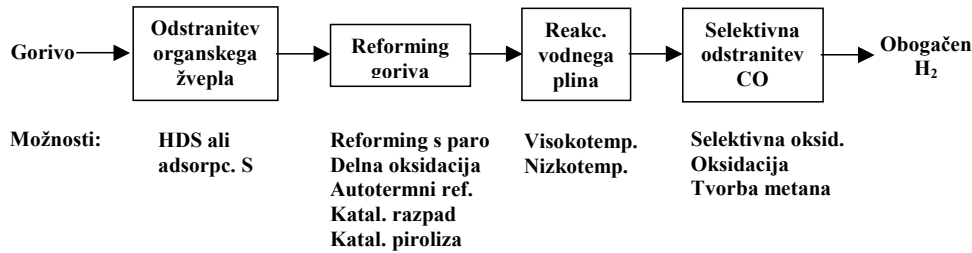
- doseči učinkovitost sistema nad 75 % ta je definirana kot  $\eta_{sist} = \frac{STV_{H_2}}{STV_{goriva}} \cdot U_{H_2FC}$ , kjer je:

$STV_{H_2}$  spodnja kurilna vrednost proizvedenega vodika

$STV_{goriva}$  spodnja kurilna vrednost uporabljenega goriva in

$U_{H_2FC}$  faktor izrabe vodika v gorivni celici).

- doseči standarde SULEV za procesor goriva,
- doseganje 30 % imenskega pretoka vodika z zahtevano čistostjo in pri standardih SULEV za izpuhe v manj kot 20 s (zagonski čas sistema),
- doseči specifično moč nad 1,5 kW/L in 1,5 kW/kg,
- doseči življenjsko dobo nad 6.000 obratovnih ur in
- doseči delovanje sistema pri temperaturah pod zmrziščem vode.



Sl. 4-7: Splošna shema za pridobivanje vodika iz fosilnih ali trajnostnih primarnih energetskih virov.

### Integracija sistema z PEM gorivnimi celicami

Zanesljivo delovanje pogonskega sistema s PEM gorivnimi celicami je mogoče doseči le ob ustrezni integraciji procesorja za gorivo, podsistema s sklopom PEM gorivnih celic s podsistemom električnega pogona, ki zajema DC/AC pretvornik, električni motor in upravljalni sistem električnega pogona. Inženiring takih kompleksnih sistemov je ena izmed razvojnih priorit. Posebno vlogo v tem delu imajo hibridni pogonski sistemi, ki vključujejo tudi baterije in superkondenzatorje za pokrivanje vršnih zahtev sistema (npr. pri hitrem pospeševanju ali zaviranju). Razvoj ustreznih vgrajenih upravljalnih sistemov z numeričnimi algoritmi za trenutni nadzor in upravljanje kompleksnih sistemov je v tem segmentu zelo pomemben del raziskav.

## 4.3 PRIDOBIVANJE IN SHRANJEVANJE VODIKA

### 4.3.1 PREDSTAVITEV

Z ozirom na to, da je pridobivanje vodika z reformingom klasičnih fosilnih (zemeljski plin, dizel) in trajnostnih virov (biomasa, metanol) predstavljeno v poglavju 4.2 dodajamo v tem poglavju le segment, ki se tiče pridobivanja vodika z elektrolizo. Ta segment je izjemno pomemben in zahteva precejšnjo pozornost v planiranju nadaljnjih raziskav in razvoja.

Vsaj dva tehtna argumenta govorita v prid temu:

- prvi je ta, da gre razvoj visokotemperaturnih PEM gorivnih celic deloma tudi v smer regenerativnih celic, t.j. takih PEM sistemov, ki lahko obratujejo bodisi kot gorivna celica ali pa kot elektrolizna enota za proizvodnjo vodika,
- drug argument pa je ta, da je elektroliza vode kot način pridobivanja vodika odvisno od vira električne energije lahko tudi obnovljiv. Zlasti to velja takrat, ko vodik pridobivamo z elektrolizo, pri kateri je električna energija pridobljena v hidrocentrali.

Cilj shranjevanja vodika je stisniti molekule (ali atome) vodika čim bliže, to je doseči čim večjo volumetrično gostoto, z uporabo čim manj ostalih materialov ali energije. Shranjevanje vodika pomeni zmanjšati ogromni volumen plinskega vodika. Pri sobni temperaturi in atmosferskem tlaku ima 1 kg vodika prostornino približno 11130 l. Za povečanje vodikove volumetrične gostote je torej potrebno – ali uporabiti delo za komprimiranje vodika, znižati temperaturo pod kritično ali zmanjšati odboj vodikovih molekul z interakcijo vodika z drugimi materiali.

Pomen razvoja novih ali izboljšanih metod shranjevanja vodika se pokaže v primerjavi z obstoječimi tehnologijami shranjevanja bencina ali nafte, saj danes shranjevanje vodika doseže le 10 do 20 % njune energijske gostote. To dejstvo omejuje radij delovanja strojev na vodikov pogon (predvsem avtomobilov). Dosedanje raziskave so že opredelile vodik v plinskem ali tekočem stanju, kot ustrezen medij shranjevanja za transportne potrebe. Pred nadaljnjimi raziskavami obeh medijev kot

ekskluzivnih nosilcev vodika, velja redefinirati ostale potencialne medije za shranjevanje in jih ustrezno umestiti v raziskovalni shemi.

Osnovne raziskave bi veljalo posvetiti novim konceptom shranjevanja vodika, z večjimi energijskimi gostotami in materialom, ki se šele pojavljajo (npr, alanati, nanocevke, ...).

Raziskave distribucije vodika morajo biti ustrezno obravnavane, ker prav tako zahtevajo nove tehnologije. Za začetek, je potrebno vzpostaviti nekaj lokalnih vodikovodov, z lokalnimi viri napajanja. Lokalne vodikovode se lahko kasneje integrira v regijsko in dalje v evropsko mrežo.

Postavitev omrežja bo zahtevala postavitev priključne infrastrukture na strani uporabnika, distribucijske postroje ter pogonske postroje, ki bodo kompatibilni v fazi regijskega in širšega povezovanja. Zahtevana infrastruktura mora biti primerna za različne uporabnike (prenosne, mobilne ali stacionarne).

#### 4.3.2 OSNOVNA, APLIKATIVNA IN SPLOŠNA PODROČJA RAZISKAV MATERIALOV IN SKLOPOV PEM ELEKTROLIZERJEV

Na tem področju so raziskave v Evropi šele v povojih. Zato je usmeritev na to področje lahko obetavna. Raziskave in razvoj visokotemperaturnih elektrolizerjev, ki bi delovali v temperaturnem območju 120-140 °C in pri tlakih do 3 Mpa so usmerjene k razvoju novih visokotemperaturnih protonsko prevodnih polimernih membran in novih, cenejših in učinkovitejših katalizatorjev za obe elektrodni reakciji.

Smer raziskav in razvoja je sinergična z raziskavami in razvojem visokotemperaturnih PEM gorivnih celic, zato je možno pričakovati precejšnje povečanje ekonomičnosti raziskav in razvoja na teh dveh področjih. Nadaljnja nadgradnja raziskav na obeh področjih je usmeritev v fotoelektrokatalitične reakcije tako v PEM gorivnih celicah kot v elektrolizerjih. Za razvoj na obeh področjih so ključnega pomena vlaganja v področje raziskav in razvoja elektrokatalizatorjev in novih visokotemperaturnih protonsko prevodnih polimernih membran.

#### 4.3.3 OSNOVNA, APLIKATIVNA IN SPLOŠNA PODROČJA RAZISKAV MATERIALOV IN NAČINOV SHRANJEVANJA VODIKA

Ključne aplikativne teme:

1. Reverzibilni shranjevalni sistemi za transport z energijskimi gostotami večjimi kot 1.1 kWh/l, izrabljivim masnim deležem vodika večjim kot 6% ter ceno nižjo kot 10 EUR/kWh. Sistemi naj bi delovali pri sprejemljivih pogojih in dolgoročno stabilno. Poleg sistemov shranjevanja komprimiranega in tekočega vodika, je potrebno raziskati sisteme s kovinskimi hidridi, shranjevanja s kemičnimi reakcijami in nanostrukturne shranjevalne sisteme.
2. Raziskati je potrebno ključne komponente za upravljanje pretoka vodika pri napajanju, distribuciji in diseminaciji. Rezultate je zaradi kompatibilnosti potrebno evalvirati v svetovnem merilu.
3. Za prenosne aplikacije so bistveni reverzibilni in ireverzibilni shranjevalni sistemi. Ireverzibilni kemični sistemi so lahko pomembni pri aplikacijah kjer lahko nadomestijo baterije. Pomemben aspekt pri prenosnih aplikacijah je varnost distribucijske verige. Razviti je potrebno komponente in infrastrukturo za sisteme s komprimiranim vodikom in kovinskimi hidridi. Za prenosne aplikacije so sistemi z metanolom posebej zanimivi zaradi visoke energijske gostote v primerjavi s čistim vodikom.
4. Pri shranjevanju utekočinjenega vodika so ključne infrastrukturne distribucijske komponente, izparevanje in cena za kriogenske hranike. Ciljna stopnja odparevanja naj bo manjša kot 1 % pri uporabi pri stacionarnem alimobilnem sistemu. Pomemben razvojni vidik je tudi upravljanje odparevanja v celotnem ciklusu – od utekočinjanja do polnjenja vodika pri uporabniku.

Ključne temeljne teme:

1. Novi materiali za shranjevanje vodika in za izdelavo posod za shranjevanje.
2. Modeliranje mehanizmov shranjevanja in modeliranje pojavov možnih napak pri shranjevanju.
3. Raziskave mehanizmov absorbcije in adsorbpcije s posebnim poudarkom na degradaciji materialov pri cikličnem obratovanju.

#### Splošne teme:

1. Varnost in zdravje pri upravljanju vodikove energetske verige ter potencialni vplivi vodikovih emisij na varnost in zdravje.
2. Senzorji, javljalniki.
3. Računalniško modeliranje.
4. Stroškovna analitika.
5. Socialno – ekonomski vidiki..
6. Zakonodaja in standardizacija.

#### 4.3.4 ZNANA IZHODIŠČA MATERIALOV IN METOD ZA SHRANJEVANJE VODIKA

Podani so osnovni tehnični parametri ter prednosti in slabosti metode. Strateški razvoj novih oziroma optimiziranih materialov in metod temelji na tehničnih karakteristikah, ki jih današnja znanja že obvladujejo.

##### 4.3.4.1 Shranjevanje plinskega vodika v visokotlačnih rezervoarjih

Gravimetrična gostota (masni %): 13

Volumetrična gostota (kgH<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>): < 40

Temperatura obratovanja (°C): sobna

Tlak obratovanja (bar): do 800

##### Prednosti:

- dobro razumljen mehanizem do 200 barov,
- v splošni uporabi (vpeljana mreža distribucije),
- relativno poceni.

##### Slabosti:

- majhna hranilna kapaciteta do 200 bar. Pri 700 (800) bar v lahkih kompozitnih rezervoarjih je energijska gostota primerljiva z energijsko gostoto tekočega vodika, vendar še vedno nižja od energijske gostote shranjenega bencina ali nafte,
- shranjevanje pri visokih pritiskih še v razvoju,
- pomemben faktor je varnost – posebno v gosto naseljenih urbanih področjih.

##### 4.3.4.2 Shranjevanje utekočinjenega vodika v kriogenih rezervoarjih

Gravimetrična gostota (masni %): odvisno od velikosti rezervoarja

Volumetrična gostota (kgH<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>): 70

Temperatura obratovanja (°C): -252

Tlak obratovanja (bar): 1

##### Prednosti:

- dobro poznana tehnologija shranjevanja,
- poznana tehnologija transporta,
- vpeljana mreža distribucije
- visoke gostote shranjevanja.

##### Slabosti:

- nizke obratovalne temperature zahtevajo super izolacijo,
- sorazmerno draga tehnologija,
- izgube vodika z odparevanjem znatne,
- energetsko zahtevna proizvodnja utekočinjenega vodika (potrebna energija za utekočinjenje je 50% energije zgorevanja vodika),
- gostota energije ni primerljiva z energijsko gostoto shranjenih tekočih ogljikovodikov.

#### 4.3.4.3 Adsorbiranje vodika (fizikalna adsorbpcija na/v ogljikovih nanostrukturah)

Gravimetrična gostota (masni %): 2

Volumetrična gostota (kgH<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>): 20

Temperatura obratovanja (°C): -80

Tlak obratovanja (bar): 100

Prednosti:

- potencialno visoke energijske gostote (funkcija površine nosilca adsorbpcije),
- lahki materiali,
- nizki operativni tlaki,
- potencialno ceneni materiali

Slabosti:

- neraziskani mehanizmi,
- nizka gravimetrična in volumetrična gostota adsorbiranega vodika na ogljiku,
- nizke temperature adsorbpcije,
- praktični poizkusi do sedaj niso potrdili teoretičnih pričakovanj.

#### 4.3.4.4 Intersticijska adsorbpcija v kovinah in kovinskih zlitinah

Gravimetrična gostota (masni %): 2

Volumetrična gostota (kgH<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>): 150

Temperatura obratovanja (°C): sobna

Tlak obratovanja (bar): 1

Prednosti:

- tehnologija v razvoju,
- shranjevanje v trdnem (zelo varno) pri sobni temperaturi in atmosferskem tlaku,
- rezervoarji poljubne geometrije,
- termični efekti uporabljivi v podsistemih,
- reverzibilnost reakcij.

Slabosti:

- težki rezervoarji (visoka specifična gostota kovinskih zlitin – okoli 7 g/cm<sup>3</sup>),
- časovna stabilnost negotova,
- trenutno drago,
- polnjenje zahteva termični management.

#### 4.3.4.5 Kompleksni kovinski hidridi (alanati)

Gravimetrična gostota (masni %): <18

Volumetrična gostota (kgH<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>): 150

Temperatura obratovanja (°C): > 100

Tlak obratovanja (bar): 1

Prednosti:

- lahki,
- varno shranjevanje v trdnem,
- višje gostote kot pri kovinskih hidridih.

Slabosti:

- desorbpcija poteka pri povišani temperaturi,
- polnjenje pri povišanih tlakih (150 bar),

- počasna kinetika,
- degradirajo s časom.

#### 4.3.4.6 Kemični hidridi (z vodo)

Gravimetrična gostota (masni %): <40

Volumetrična gostota (kgH<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>): >150

Temperatura obratovanja (°C): sobna

Tlak obratovanja (bar): 1

Prednosti:

- znan mehanizem,
- relativno visoka masna gostota (3 mas % H<sub>2</sub> pri NaOH, 6 masnih % H<sub>2</sub> pri Li)

Slabosti:

- ireverzibilnost (redukcija hidroksidov),
- upravljanje termične redukcije pri recikliranju,
- upravljanje odpadkov.

#### 4.3.5 STRATEŠKI CILJI V OKVIRU SIHFC – SHRANJEVANJE VODIKA (SKLADNO Z EU HFC)

*Znanstveni cilji:*

1. Razvoj novih materialov in metod za shranjevanje vodika, ter materialov za periferno infrastrukturo potrebno za shranjevanje in transport vodika.
2. Razvoj in raziskave fenomena vodikovih interakcij (plin-trdno) v sistemih shranjevanja.
3. Raziskave in določitev točnih vrednosti energijskih bilanc v sistemih shranjevanja z razvojem tehnologij karakterizacije.
4. Simulacija delovanja shranjevalnih medijev
5. Razviti model razumevanja delovanja makro shranjevalnega sistema od mikro uporabljenih komponent oz. materialov.

*Tehnični cilji:*

1. Gravimetrična gostota (masni %): <6
2. Volumetrična gostota: < 1.1 kWh/l
3. Kapaciteta: > 4 kg H<sub>2</sub> (avto), > 40 kg H<sub>2</sub> (avtobus)
4. Cena hranjenja: < 10 EUR/kWh
5. Hitrost polnjenja rezervoarja: > 1 kg H<sub>2</sub>/min
6. Hitrost polnjenja gorivne celice: > 0.1 kg H<sub>2</sub>/min
7. Izgube z odparevanjem: < 1 NL/h/m<sup>3</sup> (prilžno 0.32 g/dan)
8. Število ciklov polnjenja/praznjenja: > 1500 brez degradacije karakteristik
9. Temperatura obratovanja (°C): -40 do -60

## 5 URESNIČEVANJE VIZIJE

Uresničevanje vizije bo mogoče z usklajenim delovanjem vseh sodelujočih faktorjev, kot so:

- vizija razvoja na ravni podjetij in njihovega tehnološkega pozicioniranja;
- sinergija vizij na ravni posameznih podjetij v širšem nacionalnem in nadnacionalnem kontekstu;
- vloga države pri usklajevanju tehnoloških in ekonomskih vizij na podjetniški ravni z vizijo razvoja družbe na nacionalni in nadnacionalni ravni;
- integrativna vloga države in Gospodarske zbornice pri zagotavljanju sinergijskih učinkov na vseh ravneh razvoja novih in posodabljanja obstoječih tehnologij;
- vpetost v izobraževalni in raziskovalni sistem;
- vpetost v ekonomski sistem (finančni, monetarni in fiskalni);
- razvoj nacionalne infrastrukture na ravni energetike, transporta, gradnje in drugih posegov v okolje.

Tehnološka platforma je forum, ki omogoča vpliv stroke na odločanje politike na posameznem vsebinskem področju in si predstavlja da:

- ministrstvo za gospodarstvo upošteva mnenja stroke pri razvoju na področju tehnologij gorivnih celic, energetskih sistemih in infrastrukturi;
- ministrstvo za gospodarstvo finančno podpre demonstracijske projekte in aktivno spremlja realizacijo ter učinke le-teh;
- ministrstvo za finance s ciljnim posegi v fiskalni sistem olajša gospodarstvu vlaganja v raziskave in razvoj in s tem doprinese k nastanku inovativnega tehnološkega okolja;
- ministrstvo za okolje in prostor upošteva mnenja stroke na področju varovanja okolja pred škodljivimi posledicami rabe energije;
- ministrstvo za visokošolstvo, znanost in tehnologijo upošteva vsebine posameznih tehnoloških področji pri pripravi javnih razpisov za sofinanciranje raziskovalno-razvojnih projektov;
- ministrstvo za visokošolstvo, znanost in tehnologijo podpre nove študijske usmeritve za pridobivanje kadrov z ustreznim znanjem na področju gorivnih celic.

## 6 NAČRTOVANE AKTIVNOSTI V PRIHODNOSTI

Tehnološka platforma je odprta in si prizadeva za organizirano vklapljanje malih in srednjih podjetij in predstavnikov civilne družbe. Udeleženci platforme se sestanejo dvakrat letno. Ožja iniciativna skupina se bo sestajala v četrletnih intervalih in bo sproti dopolnjevala Strateški razvojni program, ga spremljala in vplivala na njegovo izvajanje.

### 6.1 POVZETEK

Predstavili smo predloge za strategijo raziskav in razvoja PEM gorivnih celic v okviru raziskovalne strategije Slovenske tehnološke platforme za vodik in gorivne celice (SIHFC) za obdobje 2005-2013. Ta je povsem usklajena z usmeritvami podanimi v strategiji raziskav evropske tehnološke platforme za vodik in gorivne celice (EU HFP SRA) za obdobje 2005-2015. V primerjavi s slednjo zajema le tri ključna področja, za katera v Republiki Sloveniji obstaja gospodarski interes, določene minimalne raziskovalne kapacitete in ustrezna raziskovalna infrastruktura. Ta področja so:

1. raziskave in razvoj mobilnih sistemov za specialne namene moči do 10 kW,
2. raziskave in razvoj majhnih stacionarnih sistemov za specialne namene moči do 10 kW in
3. raziskave in razvoj na področju proizvodnje, čiščenja in skladiščenja vodika.

Ključni raziskovalno-razvojni problemi v jedrni tehnologiji PEM gorivnih celic, ki jih je potrebno v obdobju 2005-2013 obravnavati v okviru raziskovalne strategije SIHFC so: temeljni raziskovalni problemi:

- prenos protona v različnih membranskih elektrolitih (vodnih in nevodnih),
- struktura in transportni pojavi na trifazni meji v plinsko-difuzijski elektrodi,
- mehanizmi in kinetika elektrokataliziranih reakcij,
- mehanizmi in kinetika kataliziranih reakcij pri proizvodnji (reforming) in čiščenju (WGS, PrOX) vodika,
- dinamika fluidov in prenos toplote v poroznih materialih.

b) aplikativni raziskovalni problemi:

- raziskave in razvoj visokotemperaturnih nanokompozitnih membran za PEM gorivne celice in elektrolizerje
- raziskave in razvoj elektrokatalizatorjev za reakcije potekajoče v PEM in metanolnih gorivnih celicah ter elektrolizerjih, ki ne temeljijo na plemenitih kovinah
- raziskave in razvoj kompaktnih membranskih reaktorjev za proizvodnjo in čiščenje vodika
- razvoj sklopov PEM (SOFC) gorivnih celic in elektrolizerjev moči od 1 kW do 3 kW
- razvoj električnih pogonskih sistemov za specialna vozila s sklopom PEM gorivnih celic
- razvoj kogeneracijskih in trigeneracijskih majhnih stacionarnih sistemov s sklopom PEM (SOFC) gorivnih celic.