

Vodik vodi

v čisto energetske
prihodnosti



KAKO LAHKO H₂
POMAGA REŠITI
SLOVENIJO IN NAM
PRINESE NEODVISNOST
OD FOSILNIH GORIV?

ENERGIJA POGANJA SVET.
TRENUTNO JE GLAVNA
NAFTA. KAKO DOLGO ŠE?





Predgovora

Izničimo negativne učinke mobilnosti, spoznajmo vodik in preklopimo na zeleno

Zaradi hitrih demografskih sprememb in rastoče porabe bodo v prihodnjih desetletjih svetovni viri pod velikim in stopnjevanim pritiskom. Predvsem, ko gre za podnebne spremembe in naravne vire.

Seznam okoljskih problemov je vse daljši. Kažejo se v naraščanju števila ujm in elementarnih nesreč, pospešenem taljenju ledenikov, daljših sušnih obdobjih ter v izumiranju živalskih vrst. Regionalni klimatski modeli napovedujejo, da se bo na območju Evrope v prihodnjih tridesetih letih povprečna letna temperatura povišala za 2 °C. Hkrati pa je pričakovati desetodstotno zmanjšanje količin padavin in njihovo prerazporeditev na druge letne čase. Ali povedano drugače – suho bo. In sušna obdobja v poletnih mesecih bodo vse daljša.

Smo del velikega vodnega in energetskega kroga. Zato lahko na prihodnost Evrope gledamo le v svetovnem okviru. Evropska unija si prizadeva spodbujati trajnostni razvoj znotraj svojih meja in zunaj njih. Z dejavnim pristopom pa lahko potrebo po varstvu okolja spremenimo v priložnost za inovacije, gospodarsko rast in nova delovna mesta.

Cilj je, zagotoviti trajnostno, okolju prijaznejšo mobilnost v Evropi. Glede na to, da naj bi se do leta 2020 obseg tovornega prometa povečal za polovico, potniškega pa za 35 odstotkov, se moramo Evropejci uspešno spoprijeti s tem izzivom. Zato moramo izničiti negativne učinke mobilnosti. To bomo dosegli s spodbujanjem tehnoloških inovacij, s prehodom na vrste prometa, ki so okolju najbolj prijazne in energetskega najbolj učinkovite.

Eno najčistejših prihodnosti nam omogoča vodik s tehnologijami gorivnih celic. V vodikovi ekonomiji se energija shranjuje, prenaša in uporablja v obliki vodika. Glavna prednost njegove uporabe v primerjavi s fosilnimi gorivi je v tem, da ne povzroča

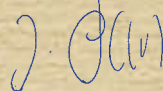
izpustov toplogrednega ogljikovega dioksida. V prihodnosti pa bi lahko vodik v kombinaciji z drugimi obnovljivimi viri celo nadomestil pojemajoče rezerve fosilnih goriv.

Vsak sistem je treba obravnavati celovito. Tudi pri gorivnih celicah moramo razmišljati vse od proizvodnje vodika in novih tehnologij do končnega uporabnika. Za mobilne sisteme, kot so osebni avtomobili, bi bila najprimernejša proizvodnja vodika z elektrolizo, pri čemer bi elektriko zagotavljali iz obnovljivih virov. Lahko celo s hišnimi sončnimi elektrarnami. To je eden naših ciljev – popoln vodikov krog. Iz vode pridobimo vodik, tega shranjujemo in uporabimo za poganjanje gorivnih celic. Tako dobimo električno energijo za pogon, iz izpušnih cevi pa – vodo.

Uporaba vodika kot energenta prihodnosti je seveda še povezana z iskanjem odgovorov na vrsto tehnoloških, gospodarskih in drugih vprašanj. Nekatere odgovore smo že našli. Nekatere intenzivno iščemo. Med njimi je, recimo, odgovor na vprašanje o učinkovitem shranjevanju. Poleg tega bo treba za hitrejšo uvajanje vodikove tehnologije rešiti še vprašanja izobraževanja, varnosti, standardizacije in davčne politike, ki mora uporabo čistih tehnologij karseda spodbujati.

Ta brošura je eden prvih korakov. Z njo želimo spodbuditi in predstaviti tehnologije vodika in gorivnih celic, kar bo pripomoglo k trajnostnemu razvoju, čistejšemu okolju in naši energetske varnosti. Za podrobnejše informacije nas lahko vedno pokličete.

Želim vam veliko dobre energije.



Janez Podobnik, minister za okolje in prostor



Slovenija je odvisna

Podnebnе spremembe zahtevajo drugačne oblike energije. Potrebujemo učinkovitejše energetske tehnologije. Okrepljena so prizadevanja na področju raziskav. To je ključ za uspešen boj proti ujmam, ki jih povzročajo podnebne spremembe. Tako bomo zaščitili svojo, evropsko in svetovno proizvodnjo in dobavo energije. Brez pretresov.

Ministri članic EU so med slovenskim predsedovanjem Svetu EU sprejeli velikopotezen strateški energetski tehnološki načrt. V njem se zavzemajo za pospešeno uvajanje ter za raziskave in razvoj učinkovitih energetskih tehnologij. To nam bo zagotovilo varno in zadostno preskrbo z viri energije, obenem pa čistejše okolje in svetovno konkurenčnost podjetij na področju novih energetskih tehnologij.

Slovenija je še zlasti v nezavidljivem položaju. Zdaj nam v povprečju primanjkuje dvajset odstotkov električne energije. Poleg tega smo skoraj v celoti odvisni od uvoza nafte, bencina in drugih tekočih goriv. To moramo spremeniti. Novosti in energetske alternative, kot so fotovoltaika, vetrna energija, biogoriva ali tehnologije vodika, ki jim je namenjena ta brošura, so vse bolj razumna in življenjsko pomembna izbira.

Vse se začne z varčno in premišljeno rabo energije. Pri tem vsi takoj pomislimo na avtomobil, hladilnik, pralni stroj, ogrevanje in žarnice. Malokdo pa ve, da na primer vsak od nas samo z uporabo mobilnega telefona posredno prispeva k nastanku 55 kg izpustov CO₂ na leto. Bazne postaje za mobilno telefonijo in brezžični internet na leto porabijo od 200 do 500 GWh električne energije, kar je enako približno trimesečni proizvodnji manjše slovenske elektrarne. Ob vse večji uporabi mobilnikov, računalnikov in interneta lahko do leta 2011 pričakujemo tri- do štirikratno povečanje porabe.

V svetu, v katerem živimo, smo vse bolj odvisni od energije. Gospodarski razvoj v hitro rastočih globalnih velesilah, kot sta Kitajska in Indija, šele dobiva pravi pospešek. Žal tudi energetska potratnost. Kitajska, recimo, porabi kar štirikrat toliko energije na enoto proizvoda kot povprečna evropska država. Vse to nam ne kaže najbolj svetle slike. Energije bo v prihodnje čedalje bolj primanjkovalo. Postajala bo vse dražja. Obenem pa z intenzivnim izkoriščanjem fosilnih goriv počasi, a vztrajno praznimo v milijonih let nakopičene zaloge.

Stvari moramo najprej spremeniti na domačem dvorišču. Vlada Republike Slovenije je v nacionalnem akcijskem načrtu za energetske učinkovitost predstavila odločne ukrepe na področju razvoja in uporabe obnovljivih virov energije. Intenzivno razvijamo tehnologije za gretje in hlajenje prostorov s sončno energijo. Gradijo se nove hidroelektrarne. Na podlagi tehnološke platforme za vodik in gorivne celice pa so se povezali raziskovalno-razvojne ustanove in podjetja, da bi skupaj razvijali in uvajali nove tehnologije.

Brošura, ki je pred vami, poskuša prikazati nov energetski vir – vodik – in tehnološki napredek na področju njegove uporabe. Upam, da vam bo v pomoč. Prihodnost se lahko začne danes.



Mojca Kucler Dolinar, ministrica za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo

Nove rešitve za energetske težave

Energija je vse dražja, narava pa vrača udarec

Energija iz fosilnih goriv je vsako leto dražja. Njena poraba pa kljub temu vztrajno narašča. Gospodarstva, kot je slovensko, so, žal, vse bolj življenjsko odvisna od uvoza energije, od svetovnih cen nafte in zemeljskega plina. Čas je, da stvari skupaj spremenimo na bolje.

Poleg energetske odvisnosti in rastočih stroškov¹ nam skrb vzbujajo tudi čedalje večji okoljski problemi. Tako globalno kot v naši neposredni okolici. Izpusti ogljikovega dioksida (CO₂), trdnih delcev ter hrupa so še vedno največja težava lokalnih skupnosti blizu cest. Naraščajoč obseg izpustov CO₂ pa je glavni vzrok podnebnih sprememb.

Odgovorov na resne energetske in prometne probleme je več. Najpogosteje se omenja večja učinkovitost motorja v vozilih. To ni dolgoročna rešitev, saj so rezultati večje učinkovitosti izgubljeni, ker se prihranjen denar in zmanjšani izpusti izgubijo zaradi večjega števila prevoženih kilometrov.

Od konjske vprege do tehnologije vodika
Kako so se skozi stoletja razvijala goriva in prevozna sredstva

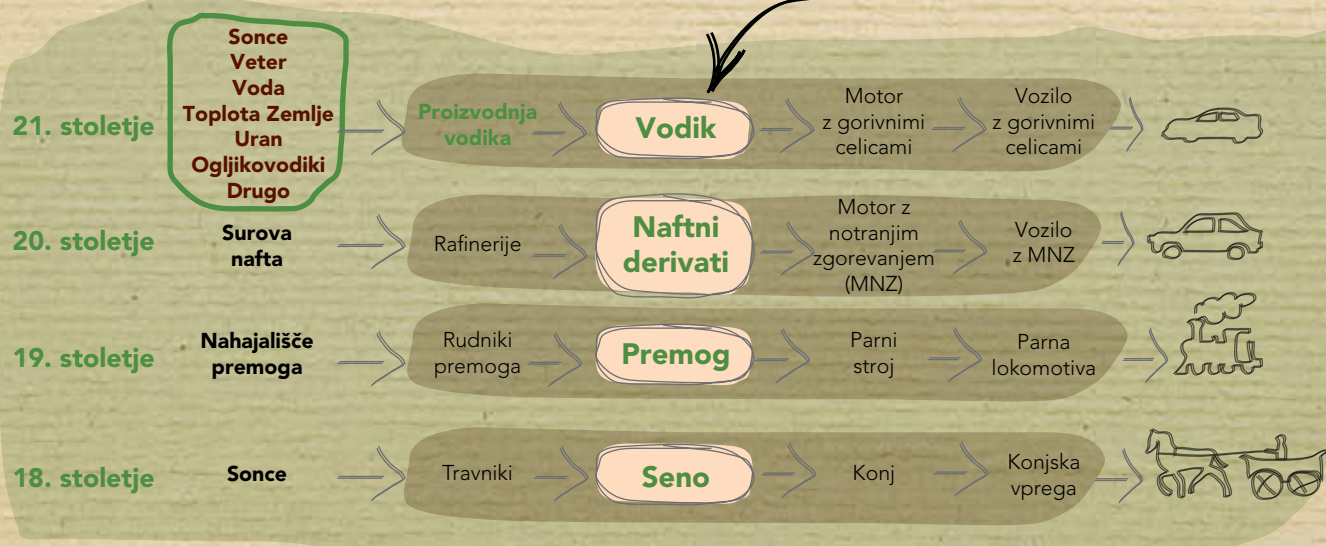
POSILNA ENERGIJA
JE VSE DRAŽJA,
UČINKOVITA KABA PA LE
DELNO REŠI PROBLEM
IZPUSTOV, SAJ SE
PRIHRANKI ZGUBLJAJO
V RASTOČI PORABI.

V Sloveniji in Evropi potrebujemo čiste, konkurenčne in dolgoročne energetske alternative, ki nam bodo zagotovile večjo energetsko neodvisnost od naftnih rezerv v tujini, a tudi zmanjšale fosilno onesnaženost in izpuste toplogrednih plinov. Enega od odgovorov imamo pred nosom – skriva se v najbolj pogostem elementu v naravi.

Kako bomo spet lažje zadihali

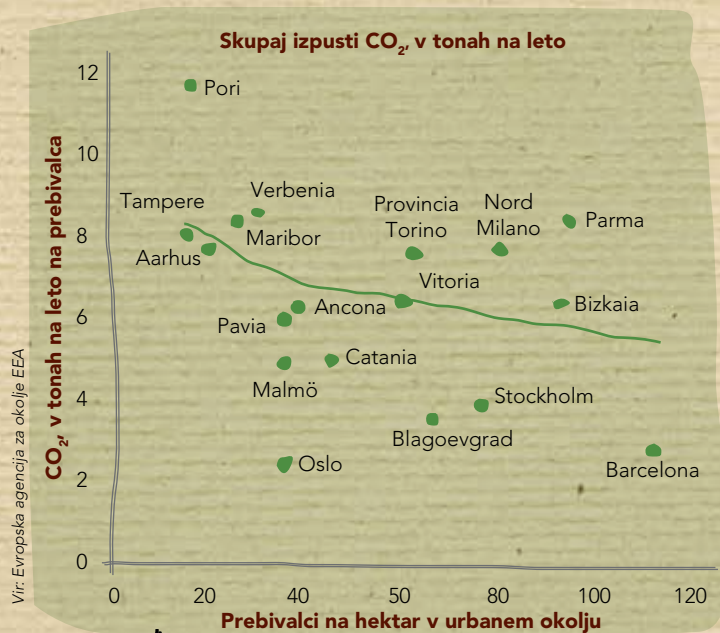
Zmanjšanje izpustov ogljikovega dioksida (CO₂) in drugih onesnaževal, kot so žvepovi oksidi (SO_x) in dušikovi oksidi (NO_x), bomo dosegli predvsem z zmanjšanjem porabe fosilnih goriv, a tudi z davčno politiko. Primeri ukrepov so obdavčenje porabe fosilnih goriv, davčne spodbude, preudarna raba, varčevanje, racionalizacija v prometu in spodbujanje uporabe obnovljivih virov energije.

VODIKA NE MOREMO ČRPATI KOT NAFTO.
LAHKO PA GA PROIZVAJAMO TUDI IZ
OBNOVLJIVIH VIROV IN UPORABIMO Z
VISOKIM ENERGIJSKIM IZKORISTKOM.



¹ Drobnoprodajna cena neosvinčenega 95-oktanskega bencina v Sloveniji je od januarja 2005 do januarja 2008 zrasla z 0,82 EUR (tedanjih 196,7 SIT) na 1,055 EUR ali za približno 29 odstotkov. Dizelsko gorivo se je v istem obdobju na bencinskih črpalkah podražilo za 31 odstotkov.

Tonemo v tonah ogljikovega dioksida Gostota poselitve in izpusti CO₂ v evropskih mestih



NAŠA MESTA, NA PRIMER MARIBOR, SO KLJUB RAZMEROMA REDKI POSELJENOSTI MED BOLJ ONESNAŽENIMI Z IZPUSTI CO₂ V EVROPI.



Kaj so toplogredni plini?

To so plini², ki sicer sestavljajo le odstotek našega ozračja, a so ključnega pomena, ker z zadrževanjem toplote ustvarjajo življenju prijazno klimo na Zemlji. Težava je, da jih zadnja desetletja ustvarjamo preveč, s tem pa rušimo naravno ravnotežje in povzročamo globalno segrevanje. Najpomembnejši toplogredni plin je CO₂.

OGLJIKOV DIOKSID JE KRIV ZA PRIBLIŽNO 70 % GLOBALNEGA SEGREVANJA.

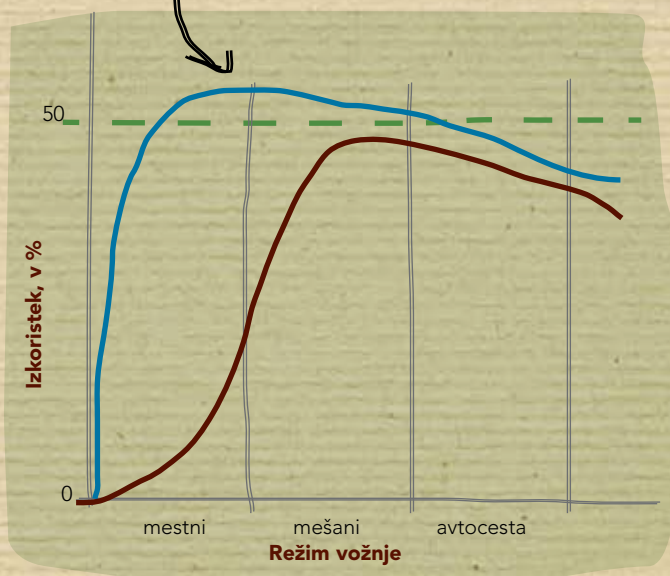
Kaj je najpomembnejši vir toplogrednih plinov

Najpomembnejši posamezen vir toplogrednih plinov, hrupa, za ljudi in naravo škodljivih izpustov ter nepravilnosti v družbi je promet. Drugi je energetika. Zato ob glavnih transportnih poteh, v mestnih središčih ali pa na reliefno zaprtih območjih, kakršno je, denimo, slovensko Zasavje, živimo v degradiranem okolju s precej večjo onesnaženostjo ozračja. Prav mobilnost, ki danes temelji na zgorevanju fosilnih goriv, bistveno prispeva h globalnemu segrevanju in destabiliziranju klimatskih razmer na našem planetu. Povečana količina toplogrednih plinov v ozračju ogroža naše zdravje in biotsko raznovrstnost narave.

Vodik je učinkovit

Primerjava energijskega izkoristka med sistemom z gorivnimi celicami na vodik ter motorjem z notranjim zgorevanjem.

GORIVNE CELICE NA VODIK SO S PRIBLIŽNO 50-ODSTOTNIM IZKORISTKOM ZA MESTNO IN PRIMESTNO VOŽNJO BOLJŠA IZBIRA KOT MOTORJI Z NOTRANJIM ZGOREVANJEM.

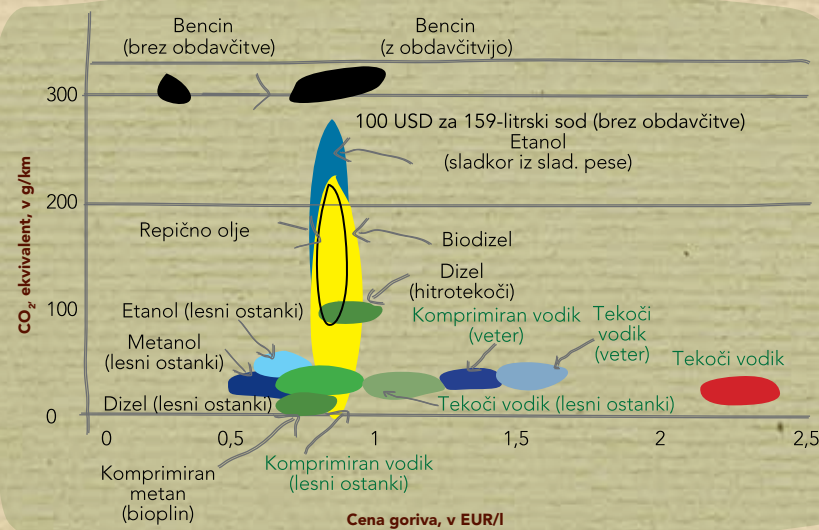


— sistem gorivnih celic
— motor z notranjim zgorevanjem

² Toplogredni plini: ogljikov dioksid (CO₂), vodna para (H₂O_g), metan (CH₄), fluorirani ogljikovodiki (CFC, HCF, PHC), dušikovi oksidi (NO_x), žveplov oksidi (SO_x), žveplov heksafluorid (SF₆)

Vodik vodi okoljsko, konkurenčen postaja ekonomsko - cena goriva v Evropi
Primerjava med cenami goriva na liter v Evropi ter izpusti CO₂ v okolje

Vir: J. Schindler, L-B-S GmbH, predstavitev, Otobrunn, sept. 2003



PO KJOTSKEM PROTOKOLU SMO SE ZAVEZALI, DA BOMO IZPUSTE CO₂ DO LETA 2020 ZMANJŠALI ZA 20 %. TRENUTNO SMO ŠE DALEČ OD TEGA CILJA.

VODIK JE OKOLJU PRIJAZEN. Z RASTJO CEN FOSILNIH GORIV POSTAJA TUDI VSE BOLJ CENOVNO UGODEN - PREDVSEM, ČE GA PRIPOBIVAMO IZ OBNOVLJIVIH VIROV.

Problemi so rešljivi, če odstranimo vzroke zanje

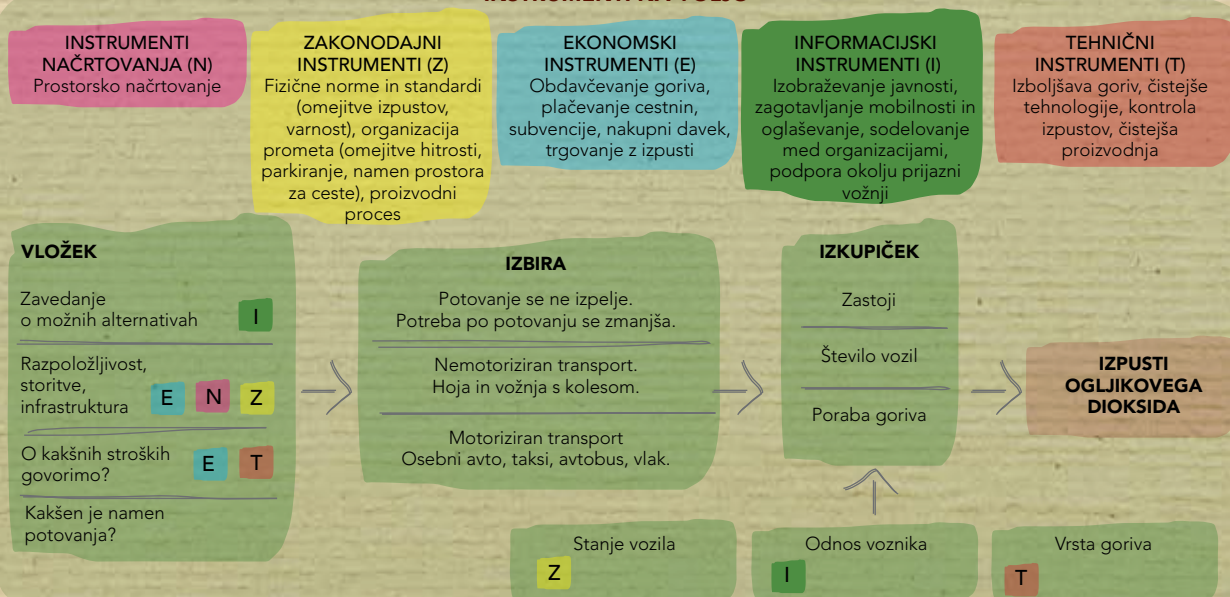
Zmanjšajmo izpuste. Analize iz zadnjih poročil svetovnih strokovnjakov³ nakazujejo, da nekaterih globalnih sprememb ne moremo več preprečiti. Mednje sodita naraščanje

Kaj se skriva za našimi odločitvami

Instrumenti, s katerimi lahko zmanjšamo izpuste CO₂ v prometu

morske gladine in propadanje tropskih gozdov. Nadaljnje posledice učinkov tople grede v svetovnem merilu lahko preprečimo samo tako, da odstranimo vzroke negativnih vplivov. To pomeni, da zmanjšamo izpuste toplogrednih plinov, predvsem ogljikovega dioksida. Kjotski protokol – ki pa ga vse države še niso uradno sprejele – predvideva, da bodo razvite države, tudi Slovenija, v desetih letih zmanjšale izpuste za približno osem odstotkov. Zmanjševanja izpustov CO₂ se je treba lotiti s širše zastavljenimi prireji.

INSTRUMENTI NA VOLJO



Vir: Transport Research Laboratory (TRL)

³ Britansko poročilo Stern Report, poročila Evropske agencije za okolje, mednarodni forum o podnebnih spremembah klimatologov, ki poročajo Organizaciji združenih narodov (IPCC), ameriški znanstveni program o podnebnih spremembah (US CCSP)

Usmeritev Evropske unije

Zelena energija. Ključni projekt, ki ureja področje raziskav in razvoja na ravni Evropske unije, je 7. okvirni program (7OP) za obdobje 2007-2013⁴. Med njegovimi prednostnimi nalogami so:

- vodik in gorivne celice,
- proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov,
- proizvodnja goriv iz obnovljivih virov.

Ključno vlogo pri snovanju vsebine 7OP ima evropska tehnološka platforma za vodik in gorivne celice (HFP) (www.hfpeurope.org), ki združuje industrijo, raziskovalne in visokošolske izobraževalne ustanove, predstavnike evropskih regij, predstavnike civilne družbe ter vladne ustanove držav članic EU.

Kje smo z uvajanjem vodikove tehnologije v Sloveniji

Na papirju kar blizu cilja, v praksi še daleč od njega. Obstaja vrsta programskih dokumentov, ki zajemajo področje vodikovih tehnologij in gorivnih celic:

- Strategija razvoja Slovenije (www.gov.si/vrs),
- Resolucija o nacionalnih razvojnih projektih 2007-2023 (www.gov.si/vrs),
- Nacionalni energetski program (Ministrstvo za gospodarstvo Republike Slovenije, direktorat za energijo, nov dokument je v pripravi) in
- Nacionalni raziskovalno-razvojni program (Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo Republike Slovenije, 2007, www.mvzt.gov.si).

Vsi ti dokumenti z dolgimi naslovi postavljajo izhodišča za sistematično, dejansko uvajanje vodikove ekonomije v prihodnjem desetletju. Najbolj neposredno je z obravnavano tematiko povezan dolgoročni projekt, ki ga navaja Resolucija o nacionalnih razvojnih projektih 2007-2023 pod naslovom *Trajnostna energija in ekonomija vodika*. Podobno kot na evropski ravni so v Republiki Sloveniji različni partnerji organizirani v slovenski tehnološki platformi za vodik in gorivne celice (SIHFC, www.sihfc.si). V času predsedovanja Evropski uniji je slovensko predsedstvo dobilo v obravnavo Uredbo Evropskega parlamenta in Sveta o homologaciji motornih vozil s pogonom na vodik in o dopolnitvi direktive 2007/46/ES. Predlog, ki določa pravila za izdelavo vozil na vodik, je bil sprejet v času slovenskega predsedovanja. Seveda se moramo še enkrat vprašati – zakaj so vsa ta prizadevanja smiselna? Kaj energetsko in okoljsko dobrega nam bo prinesla vodikova ekonomija? In zakaj prav vodik?

Vodikova energija je čista in realna alternativa

Namesto izpušnih plinov ... voda

Vodik je prvi in edinstven med kemijskimi elementi. Najbolj pogost v vesolju, nastopa v bogastvu najrazličnejših kombinacij z drugimi elementi. Kot nosilec energije nam ponuja skoraj neomejene priložnosti. Omogoča vsem dostopno in čisto energijo, ki jo bomo lahko proizvajali lokalno – povsem brez izpustov, ki nam zdaj zastrupljajo in segrevajo ozračje zaradi zgorevanja fosilnih goriv.

Vodikova ekonomija (HE) je dandanes realnost, ki trka na naša vrata. Izraz pomeni sistem shranjevanja energije v obliki vodika, njen prenos in uporabo. Glavna prednost uporabe vodika v primerjavi s fosilnimi gorivi je v tem, da pri njegovi uporabi v motorju (gorivni celici) ne prihaja do izpustov CO₂. Obenem bi lahko vodik v prihodnosti nadomestil pojemajoče rezerve fosilnih goriv. Seveda je sistem treba obravnavati celovito – od proizvodnje vodika do končnega uporabnika. Zdaj se večina vodika proizvede še s pomočjo fosilnih goriv. To je začetek. Realni končni cilj celovite, okolju prijazne vodikove ekonomije je, da bomo vodik proizvajali s pomočjo obnovljivih virov energije (sonca, vetra, biomase), in sicer s postopki parnega reforminga ali elektrolize.

Vodik je prisoten v številnih mešanica plinov. Njegova relativno visoka koncentracija omogoča zajemanje in shranjevanje. Razvoj vodikove ekonomije je odvisen od njene konkurenčnosti v primerjavi z drugimi sistemi. Ta je povezana z reševanjem vrste tehnoloških, ekonomskih in drugih vprašanj. Nekatera so že rešena v okviru velikotonažnih industrijskih procesov. Druga, povezana predvsem s shranjevanjem, distribucijo in uporabo vodika v manjših in mobilnih napravah, na primer za prevoz, pa se intenzivno raziskujejo.

V naravi vodik najdemo v elementarnem stanju le v sledovih. Nekaj ga je v višjih atmosferskih plasteh. Obstoji vrsta industrijskih procesov, s katerimi se v svetu vsako leto pridobi okoli 50 milijonov ton vodika. Večino ga zdaj porabimo za proizvodnjo amoniaka in dušikove (N) kisline, nekaj pa tudi za druge proizvode v kemijski in sorodnih industrijah.

⁴ (<http://ec.europa.eu/research/fp7>)

⁵ Predvideva postavitev infrastrukture za vodikovo ekonomijo (HE) in vozila nove generacije, vzpostavitev omrežja postaj za napajanje vozil in naprav na gorivne celice z vodikom ter polnilna mesta za hibridna in v celoti električna vozila.



Kaj je vodik?



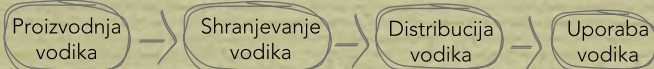
- Vodik je prvi element v periodnem sistemu.
- Gorljiv plin z dobro kalorično vrednostjo in dober reducent.
- Brez njega človek ne bi stopil na Luno. Z zrakom oblikuje eksplozivne mešanice (spodnja eksplozijska meja je 4,0 vol. %, zgornja eksplozijska meja je 75,0 vol. %).
- V praksi se je izkazal kot zelo predvidljiv in vsaj tako varen ali celo še varnejši, kot sta bencin in zemeljski plin.

Vodik že uporabljamo

Vodik dandanes že uporabljamo za:

- vezavo atmosferskega dušika v amoniak (Haber-Boschev proces),
- hidrogeniranje maščob in olj,
- proizvodnjo metanola in pri drugih procesih (hidrodesulfurizaciji, hidrokreiranju in hidrodealkilaciji),
- raketno gorivo,
- varjenje,
- redukcijo kovinskih oksidov do elementov,
- kriogeni (hladilni) medij.

Vodikov krog – od proizvodnje do uporabe



Proizvodnja vodika

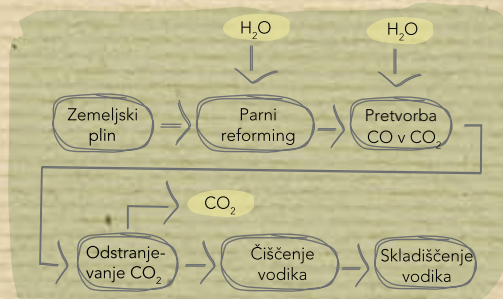
Večje ko so zmogljivosti naprav, ceneje lahko pridobivamo vodik. Načini proizvodnje vodika se med seboj zelo razlikujejo glede na potrebne zmogljivosti in čistost vodika:

- uplinjanje premoga: najstarejši način proizvodnje vodika je reakcija premoga (koksa) z vodno paro, pri

- kateri dobimo tako imenovani vodni plin⁶,
- parni reforming zemeljskega plina (metana) in drugih ogljikovodikov,
- delna oksidacija metana in drugih ogljikovodikov, pri kateri dobimo zmes vodika in ogljikovega monoksida⁷,
- elektroliza vode.

Parni reforming

To je najbolj razširjen proces za industrijsko pridobivanje vodika. Pri njem za surovino uporabljamo zemeljski plin (metan, CH₄), ki mu najprej odstranimo žveplove spojine⁸. Celoten proces deluje takole:



Elektroliza vode

Tu z uporabo električnega toka vodo cepimo na vodik in kisik. Elektroliza vode je v primerjavi z drugimi postopki po zmogljivostih še obrobna, a okoljsko izjemno čista oblika pridobivanja vodika, če uporabljamo elektriko, proizvedeno iz obnovljivih virov. Vodik, pridobljen s pomočjo elektrolize, uporabljamo tam, kjer potrebujemo manjše količine zelo čistega vodika ali kisika⁹. Elektrolizno pridobivanje vodika je upravičeno v primeru, da so na voljo presežki cenejše električne energije iz hidroelektrarn, vetrnih ali sončnih elektrarn (fotovoltaičnih sistemov).

Shranjevanje vodika

Na voljo imamo več načinov. Razlikujejo se po uporabnosti za velike ali male sisteme ter po svojih prednostih in slabostih. Splošna merila za izbor načina shranjevanja vodika so:

- varnost,
- enostavnost uporabe in
- cena.

Shranjevanje vodika je ena glavnih težav vodikove tehnologije in vodikove ekonomije. Vprašanje shranjevanja vodika na industrijski ravni je rešeno, zato je večina raziskav usmerjena v njegovo shranjevanje v manjših sistemih za mobilne aplikacije – na primer za pogon osebnih vozil.

⁶ koks + zrak → ogljikov dioksid + toplota, ki segreje koks na 900 °C; na tako segret koks nato vpihavamo vodno paro, ki z njim reagira in da zmes vodika in ogljikovega monoksida: koks + vodna para → vodik + ogljikov monoksid ali C + H₂O → H₂ + CO.

⁷ zemeljski plin + kisik → vodik + ogljikov monoksid ali CH₄ + 0,5O₂ → 2H₂ + CO

⁸ Reakcija poteka ob prisotnosti nikljevega katalizatorja pri 800 do 900 °C: zemeljski plin + vodna para → vodik + ogljikov monoksid ali CH₄ + H₂O → 3H₂ + CO. Ta plinska zmes se v kemijski industriji uporablja za vrsto sintez, za vodikovo tehnologijo pa ni primerna, ker vsebuje še veliko ogljikovega monoksida. Izjema so visokotemperaturne gorivne celice, ki lahko uporabijo tudi ta energetski vir. Zaradi njegovih lastnosti je CO težko ločiti od vodika, zato ga spet s katalizirano reakcijo z vodno paro najprej prevedemo v ogljikov dioksid (pri tem dobimo še en mol vodika): ogljikov monoksid + vodna para → vodik + ogljikov monoksid ali CO + H₂O → H₂ + CO₂. Ogljikov dioksid se od vodika loči z absorpcijo v raztopini kalijevega karbonata in gre nato še na fino čiščenje za odstranjevanje sledov kisikovih spojin in vodne pare.

⁹ Za elektrolizni proces potrebujemo dražjo električno energijo (okoli 50 kWh za kilogram vodika): voda → vodik + kisik ali 2H₂O → 2H₂ + O₂. Visokotemperaturna elektroliza je posebna oblika elektrolize vode, ki se izvaja pri povišanih temperaturah, zato se lahko izkoristek električne energije podvoji na okoli 50 odstotkov. Del električne energije, potrebne za cepitev vode na vodik in kisik, v tem primeru nadomestimo s toplotno energijo, dobljeno v solarnih sistemih ali jedrskih reaktorjih. Jedrski reaktorji bi lahko delovali v dnevnem ciklu s pretežno proizvodnjo električne energije, v nočnem pa bi se pretežno proizvajal vodik, ki ga je mogoče skladiščiti in zatem porabiti v konicah porabe energije.

Ena od težav je nizka volumenska energijska gostota vodika. Zato ga moramo za uporabo v mobilnih aplikacijah hraniti – stisnjenega pod visokim tlakom ali utekočinjenega v tlačnih rezervoarjih. Doseganje visokih tlakov zahteva dodatne vložke energije.

Kriogeni način ali utekočinjanje

Nizkotemperaturni ali kriogeni način shranjevanja vodika se zdi ugodnejši, njegova energijska gostota v tem primeru pa ustrežnejša. Vseeno zahteva precej energije za samo utekočinjanje vodika¹⁰. Srečujemo se tudi s problemom izolacije kriogenih rezervoarjev in zahtevnejših materialov. Za stiskanje in ohlajanje vodika porabimo okoli 30 odstotkov njegove energije.

Obetavna tehnologija kovinskih hidridov

Kovinske hidride lahko pripravimo do tega, da absorbirajo oziroma izločijo vodik. Za sproščanje vodika so pogosto potrebne povišane temperature¹¹.

Distribucija vodika

Vodikova ekonomija zahteva novo infrastrukturo za proizvodnjo, shranjevanje in distribucijo. V igri sta dva glavna koncepta:

- veliki industrijski sistemi (predvsem za proizvodnjo),
- mali lokalni sistemi, z več manjšimi opcijami za gospodinjstva, ustanove ali lokalne skupnosti.

Vodik se bo od mesta proizvodnje po plinovodih razpošiljal v glavno omrežje in nato do posameznih črpalk.

Pri industrijskih sistemih se srečujemo s problemom transporta vodika na večje razdalje. Pri lokalnih sistemih pa z njihovo učinkovitostjo.

Uporaba vodika

Mobilnost brez škodljivih izpustov je realnost

Okoljsko neoporečno delovanje, odlične tehnične značilnosti in širok nabor načinov za pridobivanje goriva. To so temelji ter glavni razlogi za postopen prehod na tehnologije vodika in gorivnih celic v avtomobilski industriji. Vzporedni razvoj tehnologij električnih vozil (elektromotorji, akumulatorji in lahki kompozitni materiali) je tehnologije vodika in gorivnih celic prenesel iz laboratorijev v industrijo oziroma realnost.

Vsi pomembni avtomobilski proizvajalci so že predstavili svoja delujoča električna vozila na vodik. Vlade najrazvitejših držav pa so se zavezale, da bodo še bolj podpirale razvoj in gradnjo infrastrukture polnilnih mest v obliki projektov vodikovih avtocest (»HyWay«).

Prednosti uporabe vodika v prometu niso skrivnost:

- visok energijski izkoristek,
- okoljska neoporečnost,
- tiho delovanje,
- kompakten dizajn.

¹⁰ Vrelišče vodika (H_2) je pri 20,3 K ali $-252,9^\circ C$.

¹¹ V ta namen raziskujemo hidride magnezija ali elementov prehoda ter kompleksne kovinske hidride, ki vsebujejo litij ali kalcij, natrij in aluminij ali bor. Z njimi lahko dosegamo visoke volumenske energijske gostote in slabše masne energijske gostote. Posebna oblika shranjevanja vodika je tudi njegova absorpcija v sodobnih materialih, kot so nanostrukturiran ogljik – tudi ogljikove nanocevke – in kaltratni hidratni sistemi.



Kaj je gorivna celica?

Naprava, ki nam omogoča, da kemijsko energijo goriva pretvorimo neposredno v električno. V primeru vodika se ta v njej spaja s kisikom v vodo ali vodno paro. Pri tem nastaja električni tok, ki polni akumulator ali poganja vozilo.

GORIVNE CELICE POGANJAJO ENOPROSTORCE ...



Foto: Matej Guid

TEHNOLOGIJE VODIKA IN GORIVNIH CELIC SE UVELJAVLJAJO V AVTOMOBILIH, SAJ OMOGOČAJO DALJŠO AVTONOMIJO KOT AKUMULATORSKA VOZILA. OPEL ZAFIRA, KI SO JO RAZVILI V DRUŽBI GM, IMA REZERVOARJE ZA VODIK NAMEŠČENE POD ZADNJI MI SEDEŽI, GORIVNA CELICA JE POD SPREDNJI MI POKROVOM AVTOMOBILA, ELEKTROMOTORJI PA SO KAR V KOLESIH.

... IN MANJŠA VOZILA.



Foto: Matej Guid

DRUŽBA PEUGEOT JE RAZVILA LAHKO ŠTIRIKOLESN VOZILO TER PREDSTAVILA UPORABNOST VODIKA IN GORIVNIH CELIC.



Foto: Matej Guid

NAMESTITEV H₂-SISTEMA V MERCEDES RAZREDA A.

SRČE SESTAVLJAJO REZERVOARJI ZA VODIK, GORIVNE CELICE IN POGONSKI ELEKTROMOTORJI.



Foto: Matej Guid



Foto: Uroš Pavasovič

VIZUALIZACIJA POGONA MALEGA MESTNEGA ELEKTRIČNEGA AVTOMOBILA, KI BI GA LAHKO RAZVILI, IZDELOVALI IN TRŽILI TUDI V SLOVENIJI.



Foto: IPAK images

PROTOTIP SLOVENSKEGA "IN-WHEEL" MOTORJA ZA DIREKTNI POGON ELEKTRIČNIH VOZIL. REVOLUCIONAREN KONCEPT Z MOTORJI, NAMEŠČENIMI KAR NEPOSREDNO V KOLESIH.



Foto: Honda

HONDA FCX CLARITY - ZAČETEK ČISTEJŠE DOBE AVTOMOBILIZMA



Foto: Matej Guid

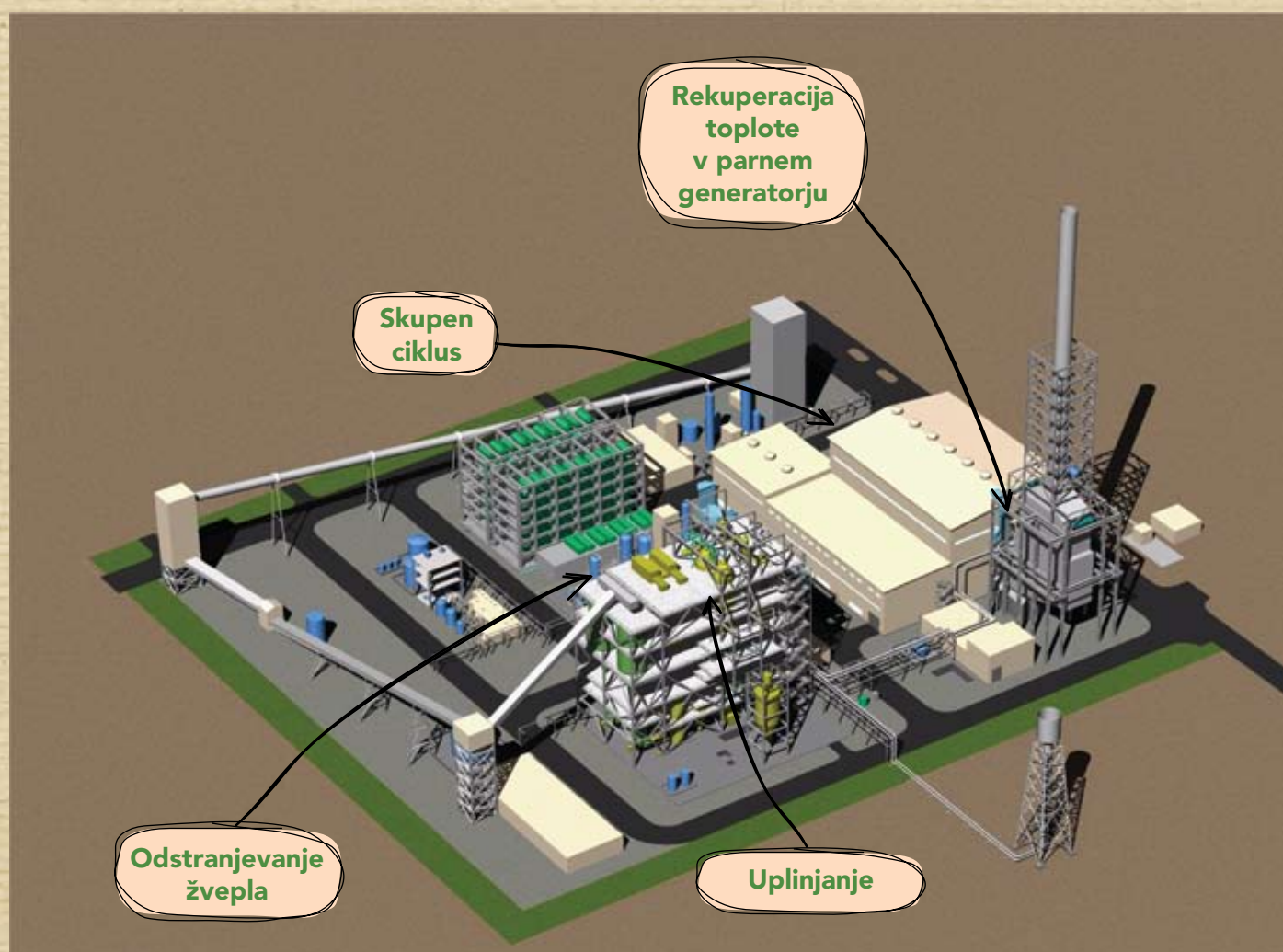
TEHNOLOGIJE VODIKA SE UPORABLJAJO TUDI V PROTOTIPIH ELEKTRIČNIH DVOKOLESNIKOV

Stacionarne aplikacije: vodik v stanovanjskih hišah in velikih ustanovah

- Hišna kogeneracija: sočasna proizvodnja in oskrba stanovanjskih objektov z električno energijo in toploto;
- večji sistemi soproizvodnje, namenjeni za oskrbo z elektriko in toploto:
- bolnišnice,
- komunalni objekti,
- šole,
- vojašnice,
- industrija,
- dislocirani objekti ali naselja;
- sistemi za nepretrgano oskrbo z električno energijo – nadomestno napajanje;
- veliki elektrarniški sistemi.

Kako deluje vodikova elektrarna

Primer uporabe velikega elektrarniškega sistema na vodik

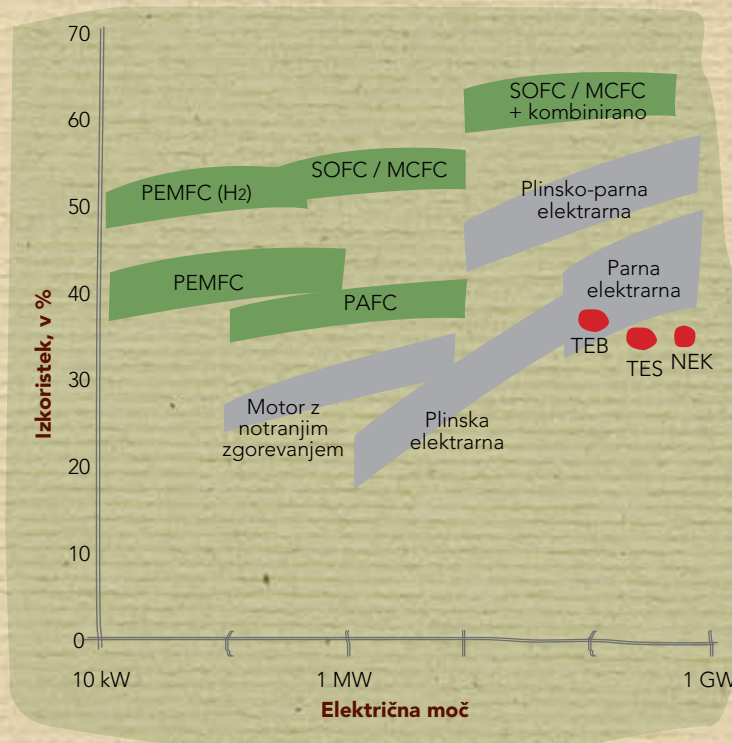


Izrabimo visok izkoristek pri uporabi vodika kot energenta

Primerjava energijskega izkoristka stacionarnih vodikovih aplikacij s konvencionalno proizvodnjo električne energije

KAZEN KOMBINIRANIH NAČINOV PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IN PLINSKO-PARNIH ELEKTRARN IMAJO VSE OBLIKE SLABŠI IZKORISTEK KOT VODIKOVE GORIVNE CELICE, TUDI JEDRSKA ELEKTRARNA.

- FC (gorivne celice)
- Plin, para, MNZ
- Termo- in jedrska elektrarna



Praktične pobude in projekti v Sloveniji in po svetu

Dobrodošli v dobi H₂

V Evropi in na Japonskem vodik že nekaj let poganja avtobuse in avtomobile. V Kaliforniji jih vozi že več sto, med njimi tudi prvi serijski avtomobil na gorivne celice. Norveška ima prvo vodikovo avtocesto v Evropi. V Sloveniji nove tehnologije intenzivno testiramo in razvijamo. Vstopili smo v obdobje uresničevanja.

Slovenija uvaja vodik – projekt SPEV

Kratice SPEV pomeni Slovenija in prehod v ekonomijo vodika. Zajema področja pridobivanja vodika iz različnih naravnih virov – biomase, zemeljskega plina, lignita –, obenem pa potrebno logistiko in shranjevanje. Cilj je, da obseg škodljivih izpustov v naše okolje zmanjšamo z uporabo

vodika v mobilnih in stacionarnih aplikacijah. Ali z drugimi besedami – v prometu in v gospodinjstvih, javnih ustanovah ter gospodarstvu.

Naročnika projekta SPEV sta Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) in Ministrstvo za gospodarstvo Republike Slovenije. Obsežen projekt pomeni izpolnitev naših okoljskih zavez – od kjotskega protokola, zelene knjige EU do resolucije o zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov do leta 2020, slovenske usmeritve v NRRP in lizbonske strategije. Triletni projekt se trenutno približuje sklopni fazi celostne študije, ki bo na podlagi raziskovalnih rezultatov in oblikovanja ustreznih politik omogočila uvedbo vodikovih tehnologij v prakso.

Izhodišča postavlja slovenska platforma za vodik (SIHFC)

Slovenska tehnološka platforma za vodik in gorivne celice (SIHFC, www.sihfc.si) je bila jeseni 2005 organizirana skoraj sočasno z nastankom evropske skupne tehnološke pobude (Joint Technology Initiative) za področje vodika in gorivnih celic. Izdelala je strategijo raziskav in razvoja na tem področju do leta 2013. Ta predvideva koncentracijo dejavnosti na področju jedrnih tehnologij gorivnih celic (elektrolitske membrane, elektrokatalizatorji) in na perifernih tehnologijah, ki omogočajo razvoj in graditev sistemov z gorivnimi celicami za stacionarno in mobilno uporabo¹².

¹² Raziskave in razvoj potekajo na področjih proizvodnje in čiščenja vodika, skladiščenja vodika, gorivne celice s polimerno protonsko prevodno membrano (Proton Exchange Membrane Fuel Cell – PEMFC) in gorivne celice s trdnimi oksidi (Solid Oxide Fuel Cell – SOFC). Kratice v preglednici: TEB – Termoelektrarna Brestanica; TES – Termoelektrarna Šoštanj; NEK – Nuklearna elektrarna Krško.

Po Evropi rastejo črpalke za vodik

-  V obratovanju
-  Načrtovane
-  Pričakovane



Vir: www.h2stations.org, www.LBST.de

Čisti cestni mestni promet za Evropo (Clean Urban Transport for Europe – CUTE)

Kaj je: vseevropski projekt uvajanja vodika v javni prevoz. Vodik je uporabljen za pogon 36 avtobusov v evropskih mestih. Projekt teče v organizaciji Evropske unije.

Kako deluje: sodelujoča mesta so Amsterdam, Barcelona, Hamburg, London, Luxemburg, Madrid in Reykjavik. Proizvajalec avtobusov je bil nemški DaimlerChrysler. Avtobusi imajo doseg 200 kilometrov in dosegajo najvišjo hitrost pri 104 km/h. Samo do konca leta 2005 so prevozili že prek 1,1 milijona kilometrov in bili na cesti več kot 75.000 ur.



Vir: projekt CUTE

HyNOR: z avtom na vodik od Osla do Stavangerja

Kaj je: norveški predstavitveni projekt za implementacijo infrastrukture za vodik na 580 kilometrov dolgi vodikovi avtocesti od Osla do Stavangerja med letoma 2005 in 2008.

Kako deluje: projekt združuje predstavnike državnih ustanov, ministrstev ter partnerjev iz industrije. Vključeni so avtobusi, taksiji in zasebna vozila. Mazda je v okviru projekta predstavila delovanje štiridesetih vozil R X 8 na motor z notranjim zgorevanjem vodika. Vodikova avtocesta zajema cestne odseke na mestni, primestni, regionalni ter nacionalni ravni.

»Velkommen til Hydrogenveien i Norge«

Trasa načrtovane norveške vodikove avtoceste, ki bo zgrajena do konca letošnjega leta.

Vir: www.hynor.no/pdf/engelsk-hynor-presentation.pdf

DO SEVERA EVROPE
SE ŽE LAHKO
PRIPELJEMO Z
AVTOMOBILOM
NA VODIK.
NA NORVEŠKEM
POTOVANJE LAHKO
NAPALJUJEMO
PO VODIKOVI
AVTOCESTI.

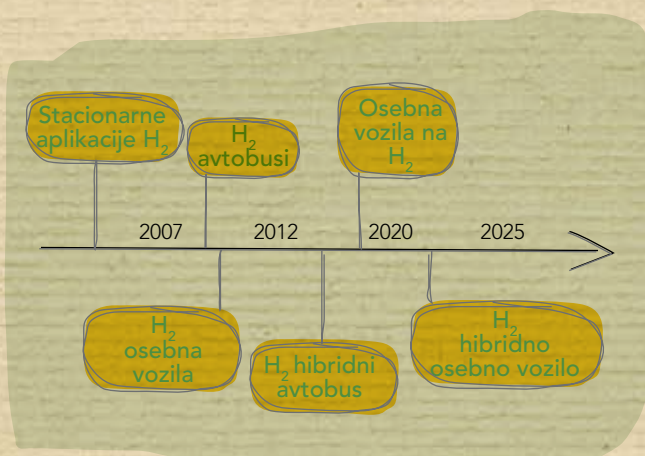


AVTOBUS NA VODIK, UPORABLJEN V
PROJEKTU CUTE V PORTU

Kdaj vozila na vodik

Predvidena časovnica uveljavitve tehnologij na vodik v Evropi

Vir: Transport Research Laboratory (TRL)



Kalifornija prehaja na vodik

Stanje: trenutno imajo v Kaliforniji prek 200 vozil na vodik, 31 polnilnih mest in 40 stacionarnih predstavitvenih projektov.

Prihodnost: nadaljnja strategija uvedbe ekonomije vodika v Kaliforniji do leta 2010 predvideva:

- zagotovitev standardov in zakonodaje za tehnologije vodika,
- postavitve omrežja s 50 do 100 polnilnimi mesti za vozila na vodik,
- zagotovitev dostopnih vozil na vodik,
- uvedbo vozila na vodik v vozniki park javnih vozil,
- spodbujanje uporabe in razvoja tehnologij vodika,
- nadaljnjih 250 polnilnih mest ter 5.000 vozil do leta 2011.

Američani uvajajo tehnologije vodika v štirih fazah

Predvidena časovnica uveljavitve tehnologij na vodik v ZDA: od prvih primerov komercializacije do končne razširitve tehnologije po vsem območju.



Vir: evropska platforma za vodik

HyMIV – slovenski projekt razvoja gorivnih celic

Kaj je: razvojni projekt Sistem gorivnih celic kot pomožni vir energije za zagotavljanje avtonomnosti vojaških vozil.

Kako poteka: naročnik ciljnega raziskovalnega projekta je Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije v okviru agencije za raziskovalno dejavnost, izvajalec pa podjetje Domel iz Železnikov. Sodelujejo še Institut Jožef Stefan, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru, Tehnološki center za električne stroje TECES, Kemijski inštitut, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani ter Leonardo, podjetje za razvoj, raziskave, trgovino in storitve, d. o. o.

Vir: Domel



POMOŽNI ELEKTRIČNI NAPAJALNI SISTEM Z GORIVNIMI CELICAMI Z MOČJO 7 KW

JHFC – japonski projekt uvajanja vodikovih gorivnih celic

Kaj je: osem vodilnih japonskih in tujih proizvajalcev vozil, združenih pri predstavitvenem projektu JHFC (Japan Hydrogen and Fuel Cell).

Kako deluje: že januarja 2005 je bilo v uporabi 48 vozil na vodik in deset polnilnih mest. Poleg osebnih avtomobilov in avtobusa v projektu predstavljajo tudi manjša vozila, kot so invalidski vozički in skuterji na vodik.

Vodik postaja del japonske energetske izbire
Pilotni predstavitveni projekti na področju vodika
– v prometu in na stacionarnih aplikacijah.



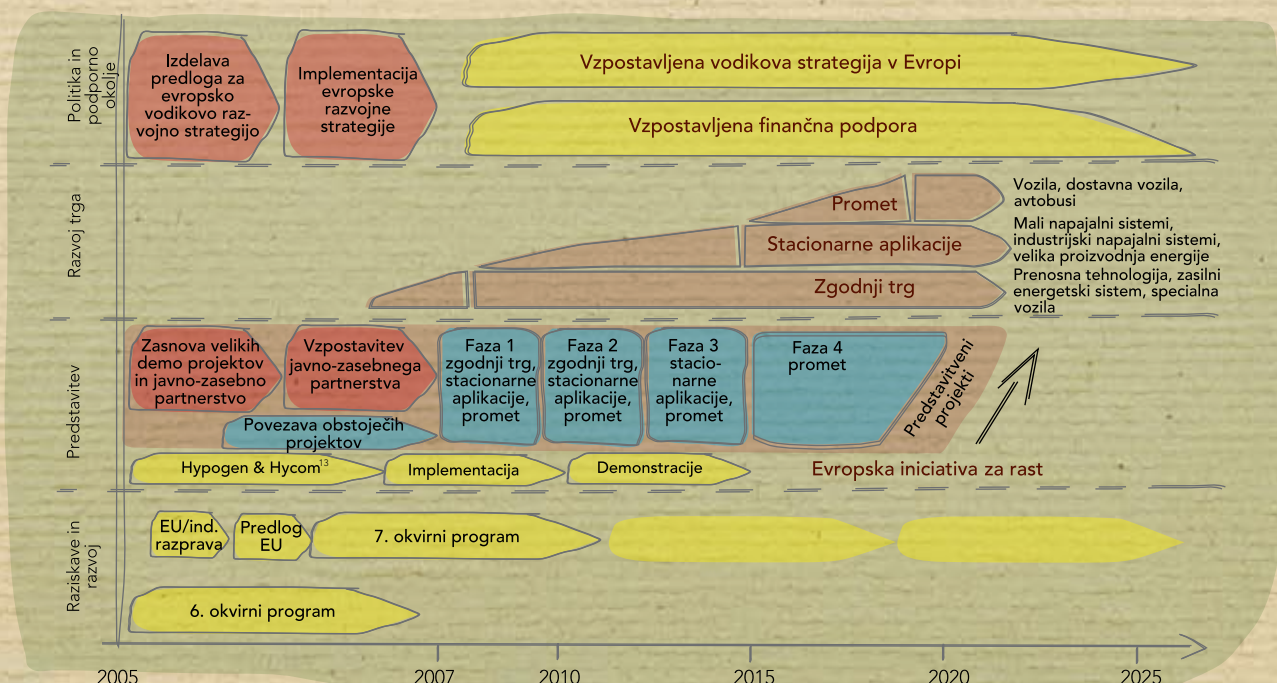
Realnost uvajanja tehnologij
vodika v vsakdanje življenje

Pogled naprej

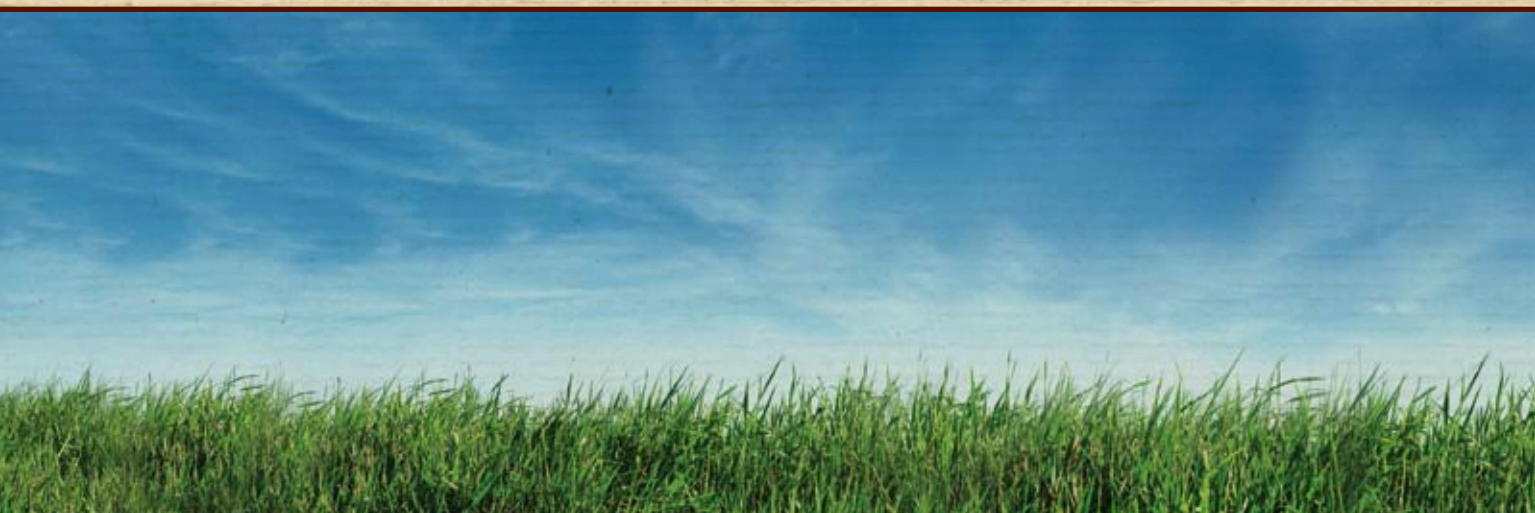
Bodimo optimistični, a realni. Vodik kot energetske vir se ne more uveljaviti čez noč. Zdaj se že na široko uporablja v kemijski industriji. Raste tudi njegova uporaba za pogon gorivnih celic.

Raziskave in razvoj tega področja bodo omogočili uvajanje vodikovih tehnologij v gospodarstvo in tudi v gospodinjstva. Prehod na vodikove tehnologije v prometu in na drugih področjih je odvisen od odgovorov na nekatera še nerešena tehnična vprašanja in je povezan z razmeroma velikimi začetnimi naložbami v novo infrastrukturo. Zato in zaradi racionalnega pristopa bo do zamenjave prihajalo postopoma. Prav je, da se tem globalnim prizadevanjem po svojih možnostih priključimo že zdaj.

Časovnica razvoja strategije za vodik in gorivne celice v Evropi



¹³Hypogen & Hycom: projekti za proizvodnjo vodika in postavitve vodikovih naselij



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA VISOKO ŠOLSTVO,
ZNANOST IN TEHNOLOGIJO



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR



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



Slovenija včeraj **danes** jutri


COVEVO



Oblikovanje: Kompas Design
Tisk: Delo d.d., Tiskarsko središče

Brošuro je izdalo Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije, financiralo pa Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo Republike Slovenije. Vsebinsko je avtorsko pripravila projektna podskupina »Ekonomija vodika«, ki jo je oblikovalo Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije v okviru izvajanja projekta »Trajnostna energija in ekonomija vodika« na podlagi Resolucije o nacionalnih razvojnih projektih za obdobje 2007–2023.
Kontakt: jure.leben@covevo.si