

Poročilo št. C1.1, Zvezek 0

Potenciali zmanjšanja emisij TGP do leta 2050 in srednjeročni izzivi

Povzetek

Končno poročilo

LIFE ClimatePath2050 (LIFE16 GIC/SI/000043)

Poročilo *Vloga novih tehnologij in goriv ter njihova perspektiva* je prvi zvezek del pregleda *Potencialov zmanjšanja emisij TGP do leta 2050 in srednjeročnih izzivov*, pripravljenega v okviru projekta *LIFE Podnebna pot 2050, Slovenska podnebna pot do sredine stoletja* (LIFE ClimatePath2050 »*Slovenian Path Towards the Mid-Century Climate Target*,« LIFE16 GIC/SI/000043). Projekt izvaja konzorcij, ki ga vodi Institut »Jožef Stefan« (IJS), s partnerji: ELEK, načrtovanje, projektiranje in inženiring, d. o. o., Gradbeni Inštitut ZRMK (GI ZRMK), d. o. o., Inštitut za ekonomska raziskovanja (IER), Kmetijski inštitut Slovenije (KIS), PNZ svetovanje projektiranje, d. o. o., Gozdarski inštitut Slovenije (GIS) in zunanji izvajalci.

ŠT. POROČILA/REPORT N.:

IJS-DP-12920, ver. 1.0

DATUM/DATE:

25. september 2019

AVTORJI/AUTHORS:

dr. Marko Kovač, univ. dipl. inž. str.
mag. Andreja Urbančič, univ. dipl. mat.
dr. Boris Sučić, univ.dipl. inž. el.
Damijan Kopše, univ. dipl. inž. el.
Mag. Damir Staničič, univ.dipl. inž. str.
Gašper Stegnar, univ.dipl. inž. grad.
dr. Jože Verbič, univ.dipl.inž.zoot.
Luka Tavčar, univ.dipl. inž. str.
Marko Pečkaj, univ. dipl. inž. str.
dr. Matevž Pušnik, univ.dipl. inž. el.
Matjaž Česen, univ. dipl. inž. meteo.
dr. Miro Bugeza, univ. dipl. inž. el.m dr.
Viktor Jejčič, univ.dipl.inž.zoot.
mag. Zvone Košnjek, univ. dipl. inž. el.

REPORT TITLE/NASLOV POROČILA:

Deliverable C1.1: Climate Mitigation 2050 Potentials and Mid-Term Challenges, Part 0: Role of new technologies and fuels and their perspectives by sector. Executive Summary.

Poročilo C1.1: Potenciali zmanjšanja emisij TGP do leta 2050 in srednjeročni izzivi, Zvezek 0: Vloga novih tehnologij in goriv ter njihova perspektiva po sektorjih. Povzetek.

Vsebina

Uvod.....	5
Povzetek	8
Introduction	9
Summary.....	11
1 Shranjevanje električne energije in toplote	13
1.1 Shranjevanje električne energije	13
1.1.1 Črpalne elektrarne	13
1.1.2 Baterijski hranilniki	14
1.1.3 Hranilniki na stisnjen zrak	14
1.1.4 Vztrajniki	15
1.1.5 Power-To-Gas	16
1.2 Shranjevanje toplote	17
2 Vpliv shranjevanja energije na razvoj drugih tehnologij	19
3 Gorivne celice, toplotne črpalke in odvečna toplota	21
3.1 Gorivne celice	21
3.2 Toplotne črpalke	22
3.3 Odvečna toplota.....	23
4 E-mobilnost	24
5 Alternativna goriva v prometu	30
5.1 Električna polnilna infrastruktura	30
5.2 Stisnjen zemeljski plin.....	31
5.3 Utekočinjen zemeljski plin.....	32
5.4 Utekočinjen naftni plin.....	33
5.5 Vodik	34
5.6 Biogoriva.....	34
6 Pametna omrežja	36
7 Potencial za energijsko učinkovitost s snovno učinkovitostjo	39
8 Nove tehnologije v kmetijstvu	42
8.1 Tehnologije za zmanjšanje emisij metana iz prebavil rejnih živali.....	42
8.2 Tehnologije za zmanjšanje emisij metana iz skladišč živinskih gnojil	42
8.3 Tehnologije za zmanjšanje emisij didušikovega oksida iz skladišč živinskih gnojil	42

8.4	Tehnologije za zmanjšanje emisij didušikovega oksida, ki se sprosti zaradi gnojenja kmetijskih rastlin	43
9	Seznami	44
9.1	Reference	44
9.2	Seznam slik	47
9.3	Seznam tabel.....	48

Uvod

V okviru projekta LIFE Podnebna pot 2050¹ je bilo pripravljeno *Poročilo C1.1, Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in srednjeročni izzivi*, v katerem so predstavljene glavne ugotovitve analize potencialov za zmanjšanje emisij TGP, pripravljene v okviru projekta v obdobju med 2017 in 2021. Rezultati analiz so bili s pomočjo modelov, razvitih ali nadgrajenih v projektu, uporabljeni za modeliranje ukrepov, scenarijev in njihovih učinkov², kar je bilo ključna strokovna podlaga za *Dolgoročno podnebno strategijo Slovenije do leta 2050 (DPSS)*, *Nacionalnega energetskega podnebnega načrta Republike Slovenije (NEPN)*³; *Dolgoročne strategije energetske prenovne stavb do leta 2050*, *Operativnega programa nadzora nad onesnaževanjem zraka (OP NOZ)* in drugih strateških dokumentov.

Dokumentacijo analize potencialov oz. *Poročilo C1.1, Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in srednjeročni izzivi* sestavlja več zvezkov:

- **Zvezek 0, Povzetek za odločanje**, kjer so izpostavljeni glavni rezultati analize potencialov;
- **Zvezek 1, Vloga novih tehnologij in goriv ter njihova perspektiva po sektorjih**, vključuje pregled tehnologij za katere se na podlagi inženirske ocene predvideva, da bi lahko v nekoliko daljši prihodnosti pomembno prispevale k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Obravnavane so naslednje tehnologije: shranjevanje energije – toplotne in električne, vpliv shranjevanja energije na razvoj drugih tehnologij, gorivne celice, toplotne črpalke in odvečna toplota, vozila na električen in alternativne pogone (vodikove, plinske in druge), rešitve na področjih pametnih omrežij in snovne učinkovitosti ter prihodnje tehnologije v kmetijstvu;
- **Zvezek 2, Stavbe**, v katerem so celovito prikazani potenciali na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju stavb. Podan je pregled tehnologij in rešitev za zmanjšanje emisij TGP na ovoju stavbe, v sistemih v stavbah, prezračevanju, gospodinjskih aparatih in povzetek analize za razsvetljavo (celotna analiza je v Zvezku 7)⁴. Vključuje tudi dve posebni analizi: potencialov za zmanjšanje emisij TGP v stavbah kulturne dediščine in povzetek analize finančnih zmožnosti gospodinjstev za izvedbo ukrepov (celotna analiza je v Zvezku 2a). Predstavljena je tudi tipologija stavb, ki je osnova nadaljnjih analiz ter rezultati z oceno tehničnega in ekonomskega potenciala;
- **Zvezek 3, Promet**, v katerem je celovito prikazano potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju promet; Področje elektromobilnosti je v celoti obravnavano v prvem zvezku;
- **Zvezek 4, Industrija**, ki vključuje celovit prikaz potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju industrija. Zvezek povzema pregled tehnologij po panogah, tehnologije na področjih izkoriščanja odvečne toplote in obnovljivih virov energije ter

¹ LIFE ClimatePath2050 (*Slovenian Path Towards the Mid-Century Climate Target*)

² Poročilo C3.2. Povzetek analize scenarijev za odločanje o Dolgoročni podnebni strategiji Slovenije do leta, Poročilo projekta LIFE Podnebna pot 2050.

³ Obveznost pogodbenic za pripravo dolgoročne strategije razvoja, usmerjenega v družbo z nizkimi emisijami toplogrednih plinov, je opredeljena v 4. členu 19. odstavku *Pariškega sporazuma*.

⁴ Horizontalna analiza tehnologij za področje razsvetljave za več sektorjev je podana v *Poročilu C1.1, Zvezku 7*.

drugih horizontalnih tehnologij. Podani so rezultati ankete o porabi energije v industriji, ocena tehničnega potenciala za zmanjšanje emisij TGP v energetsko intenzivnih dejavnostih in horizontalnih tehnologij ter izhodišča za analizo potenciala za zmanjšanje emisij z ukrepi na področju snovne učinkovitosti v industriji;

- **Zvezek 5, Transformacije**, ki vključuje celovit prikaz potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju transformacij. Zvezek obravnava tehnične in ekonomske potencialne za hidroelektrarne, sončne elektrarne, jedrske elektrarne tehnološki in gorivni prehod (*technology switch*), zajem in shranjevanje ogljika, soproizvodnjo toplote in električne energije, male hidroelektrarne, fleksibilne tehnologije (*smart flex technology*), vetrne elektrarne na kopnem, napredna (pametna) omrežja, geotermalne elektrarne in koncentratorske sončne elektrarne. Shranjevanje električne energije, je v celoti, vključno s potenciali za prodor zrelih tehnologij, obravnavano v Zvezku 1;
 - **Zvezek 5a, Analiza potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050**, ki vključuje ekonomske vidike izkoriščanja geotermalne energije, dejavnike in omejitve njenega izkoriščanja, pripravo koncepta in modela za izračun potenciala, izračun na primeru Maribora in analizo potenciala za gosto poseljena območja za celotno Slovenijo;
 - **Zvezek 5b, Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050**, celovit prikaz potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP s pridobivanjem električne energije v Sloveniji iz strešnih elektrarn in samostojnih elektrarn na degradiranih območjih. Analiza vključuje podatke o osončenju, površinah, klimatskih pogojih, degradaciji tehnologije z leti, razvoj tehnologij, možnih izkoristkih površin, ovirah, glede omrežja in povpraševanja oz. možnosti shranjevanja energije, ekonomske parametre za ocen potenciala, ter oceno tehničnega in ekonomskega potenciala.
 - **Zvezek 5c, Študija orientacij streh obstoječega stavbnega fonda v Sloveniji**, ki pomeni nadgradnjo analize potenciala sončnih elektrarn z natančnejšo analizo orientacije streh v Sloveniji na podlagi katastra stavb in aerolaserskega skeniranja, izračune ter rezultate izračunanih segmentov po razredih nagibov in orientacije streh;
- **Zvezek 6, Ostali sektorji - LULUCF**, kjer je celovito prikazano stanje na področju zmanjševanja emisij TGP in povečevanja ponorov v sektorju rabe zemljišč, spremembe rabe zemljišč in gozdarstvo (LULUCF), kjer so podani ukrepi in tehnični potencial na gozdnih, kmetijskih in drugih zemljiščih. Podana so tudi izhodišča za; vrednotneje ekonomskega potenciala;
- **Zvezek 7, Analiza - razsvetljava v Sloveniji do leta 2050**, v kateri so predstavljene perspektive na področju razvoja tehnologij in njihove uporabe v gospodinjstvih, industriji in stavbah storitvenega sektorja ter zunanje razsvetljave, vključno z novimi tehnologijami;
- **Zvezek 8, Analiza dejavnikov, povezanih s finančnimi sposobnostmi gospodinjstev, ki vplivajo na odločanje o investicijah za učinkovito rabo energije**, ki podaja in dokumentira analizo v celoti. Predstavljeni rezultati vključujejo: značilnosti gospodinjstev, ki so izvedla posamezne investicije za učinkovito rabo energije, ki so uporabila

spodbude Eko sklada, glede njihove opremljenosti in glede na sposobnosti za financiranje potrebnega obsega investicij;

- **Part 9. Financiranje prehoda v nizkoogljično družbo v Sloveniji – ključni izzivi in strateške usmeritve**, naslavlja naslednje vsebine in izzive: trenutno strukturo javnega financiranja, ki je pomembna za podnebje, naložbe v nizkoogljične možnosti, institucionalna ureditev, povezana z upravljanjem javnih podnebnih financ, ureditev finančnega sektorja, vprašanja distribucije in sprejemljivosti;
- **Zvezek 10: Metodologija**, v katerem so podana izbrana poglavja o metodologijah za ocene potencialov: okvir za oceno tehničnega in ekonomskega potenciala za izkoriščanje plitve geotermalne energije, ocena potenciala sončne energije, analiza dejavnikov povezanih s finančnimi sposobnostmi gospodinjstev za izvedbo ukrepov URE in OVE ter ocena potenciala za izkoriščanje odvečne toplote v industriji. V tem poročilu so izpostavljene izbrane metodologije, opisi ostalih uporabljenih metodologij so podani v posameznem zvezku;
- **Dodatek 1: Povzetek rezultatov in gradiva tehničnih delavnic**, obsega Poročilo o delavnici, program delavnice in predstavitev z delavnic: *Izkoriščanje trde biomase v energetske namene in potenciali do leta 2050, poroči in Prihodnost zemeljskega plina in razvoj niskoogljičnih nadomestnih goriv* obsega. Za gradiva z ostalih delavnic na področjih analize potencialov glej spletno stran projekta (*Poročilo 5.3. Gradiva objavljena na spletni strani projekta - sinteza delavnic analize scenarijev*).

Povzetek

Pregled novih tehnologij je pregled dostopne literature za tehnologije za katere predvidevamo, da bodo v bližnji in tudi ne tako bližnji prihodnosti vplivala na zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. *Poročilo št. C1.1, Zvezek 1: Potenciali zmanjšanja emisij TGP do leta 2050 in srednjeročni izzivi – Vloga novih tehnologij in goriv ter njihova perspektiva po sektorjih*, ki je nastalo v okviru projekta LIFE ClimatePath 2050 je razdeljeno na več poglavij in obsega več sto strani, kar lahko pripelje do preobremenjenosti s podrobnosti, sploh za priložnostni pregled. Namen tega povzetka je na hitro predstaviti v poročilu zajete tehnologije in pogloblitve parametre in/ali podrobnosti. Zgradba povzetka in poglavij je, da bi olajšali prehod med obema, podobna zgradbi poročila.

Pregled novih tehnologij osredotočen na tehnologije, za katere se na podlagi inženirske ocene predvidevamo, da bi lahko v nekoliko daljši prihodnosti lahko pomembno prispevale k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Pri tem smo izbirali tehnologije ki: (1) so povečini v raziskovalni-razvojni fazi, (2) razmeroma veliko obetajo in (3) pri čemer pa so nekatere že dosegle nivo demonstracijskih projektov. V obzir pri pregledu so prišle tehnologije, ki lahko glede na stanje raziskav danes, v prihodnje najbolj zmanjšajo najpomembnejše emisije: shranjevanje energije – tako toplotne kot tudi električne ter vpliv shranjevanja na druge tehnologije; gorivne celice (vključno z elektrolizo vodika), toplotne črpalke in odvečna toplota. Nadaljnje so pregledane tehnologije v transportu, od e-vozil do alternativnih goriv. Raziskana so pametna omrežja, ki bodo vso to tehnologijo šele dodobra omogočila, posebno poglavje je namenjeno snovni učinkovitost, povzetek pa končamo s pregledom prihodnjih tehnologij v kmetijstvu.

Pri pregledu tehnologij smo poskušali iz literature pridobiti napovedi bodočih cen – tako investicij kot obratovalnih stroškov na enoto energije, rasti učinkovitosti in podobnega. Prav tako smo hoteli pridobiti prevladujoče informacije glede obsega naprednih tehnologij v bodočnosti do leta 2050.

Introduction

The *Deliverable C1.1, A composite report: Climate Mitigation 2050 Potentials and Mid-term Challenges* presents the main findings of the analysis GHG emissions reduction potential prepared in the frame of the project LIFE ClimatePath2050⁵ in the period between 2017 and 2021. The results of the analyses of potentials were used in the models, developed or upgraded in the project for the assessment of several scenarios of measures as regards GHG emission reduction, air emission reduction, socio-economic impacts and impacts on sectorial development targets. The analyses were key expert basis for *Slovenian climate long-term strategy 2050 (LTS)*, final version of the *Integrated national energy and climate plan of the Republic of Slovenia (NECP)*, *National air pollution control programme* and *Long-term energy renovation strategy for 2050 (DSEPS 2050)* and other strategic documents.

The *Deliverable C1.1, A composite report: Climate Mitigation 2050 Potentials and Mid-term Challenges* consists of the following parts:

- **Part 0, Summary for decision-makers**, highlights the key results of the analysis of potentials;
- **Part 1, Role of new technologies and fuels and their perspectives by sector**, includes an overview of the GHG reduction potential of the following new technologies and fuels: electrical and thermal storage (short- and long-term), the impact of storage system on the deployment of the other technologies, fuel cells, waste heat and heat pumps, alternative fuels and electric mobility for transport of passengers and goods, smart grids, new technologies in agriculture and also potential for energy efficiency through material efficiency was presented;
- **Part 2, Deep renovation of buildings**, in this part, a comprehensive presentation of potentials for GHG reduction in building sector is given, including an overview of technologies and solutions on building envelope, heating and cooling systems in the buildings, household appliances and lighting (a summary⁶). Two specific analyses are included: analysis of GHG reduction potential at cultural heritage buildings and a summary of the analysis on financial capabilities of households to implement renewable energy (RES) and energy efficiency (EE) measures⁷. In this part, also includes a new typology of buildings, being a basis of the further analyses, and presents the final the results of the assessment of technical and economic potential for GHG emissions reduction in buildings.
- **Part 3, Transport**, includes overview of potentials for GHG reduction in the transport sector. The whole chapter on electro mobility is included in Part 1;

⁵ LIFE ClimatePath2050 (*Slovenian Path Towards the Mid-Century Climate Target*)

⁶ In *Part 2*, summary on lighting in buildings is included, the entire analysis on prospect of lighting until 2050, is presented in *Deliverable C1.1, Part 7*, was carried out by external assistance of Fakulteta za elektrotehniko/Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana.

⁷ *Deliverable C1.1, Part 2a, Analysis of factors related to the financial capacity of households influencing energy efficiency investment decisions*, includes the entire analysis, carried out by external assistance of Center poslovne odličnosti Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, CPOEF, Centre of Business Excellence of the School of Economics and Business, University of Ljubljana.

- **Part 4, Industry**, includes overview of potentials for GHG reduction in the industrial sector. The overview of technologies includes technologies used in energy intensive branches by branch, waste heat use and horizontal technologies including energy efficient electric motors, compressed air, lighting, renewable energy technologies and cogeneration. The report presents also results of the pool among industrial companies and is concluded by the results of the assessment of technical potential for GHG emissions reduction in energy intensive industrial branches and by horizontal technologies;
- **Part 5, Transformation**, includes results of the analysis of GHG emission reduction potentials in the transformation sector. The analysis comprise overview of technical and economic potentials for hydroelectric power plants, solar power plants (summary), nuclear power plants, technology and fuel switching, carbon capture and storage, cogeneration of heat and electricity, small hydropower plants, smart flex technology, onshore wind farms, advanced (smart) networks, geothermal power plants and concentrator solar power plants. The energy storage is entirety, including the potential for penetration of mature technologies, discussed in Part 1 on new technologies;
 - **Part 5a, The analysis of shallow geothermal energy potential in Slovenia until 2050**, consists of overviews of economic aspects of geothermal energy exploitation, the other factors and limitations, preparation of concept and model for potential calculation, results for the case study Maribor and results of the analysis of potential for densely populated areas Slovenia;
 - **Part 5b, The analysis of the Photovoltaic Rooftop Potential in Slovenia by 2050**, provides a comprehensive presentation of potentials for reducing GHG emissions in Slovenia by electricity from rooftop PV systems and stand-alone systems in degraded areas Analysis includes data on insolation, surfaces, climatic conditions, technology degradation over the years, technology development, possible surface utilization, barriers, electricity grid, demand, energy storage options, economic parameters for potential assessments, and the results of the assessment of technical and economic potential;
 - **Part 5c, Study of roof orientations of the existing building stock in Slovenia**, presents results of an upgrade of the analysis photovoltaic rooftop potential, including a more detailed analysis of roofs orientation. The analysis includes data on cadastre and airborne laser scanning, calculations and results of the calculated segments by classes of slopes and roof orientation;
- **Part 6, Other Sectors - LULUCF**, which presents the situation in the field of reducing GHG emissions and increasing sinks in the sector of land use, land use change and forestry (LULUCF), and gives overview of measures and analysis technical potential in forest, land and other land categories.
- **Part 7, Analysis lighting in Slovenia until 2050**, which presents perspectives in the field of lighting technology development and their use in households, industry and buildings of the service sector and outdoor lighting, including new technologies.
- **Part 8, The Analysis of financial capacity factors influencing investment choices of end users**, includes analyses of characteristics of households that have made individual investments for energy efficiency, which have used the incentives of the Eco

fund, characteristics of households and their equipment, and in terms of ability to finance the required volume of investments;

- **Part 9, Financing transition to low-carbon society in Slovenia - Key challenges and guidance towards policy strategies**, is addressing the following topics and challenges: current structure of public financing with climate relevance, investments in low-carbon options, institutional set up related to the governance of public climate finances, financial sector's set-up and distributional issues and acceptance;
- **Part 10, Methodology**, which provides selected chapters on methodologies for potential assessments: framework for assessing technical and economic potential for shallow geothermal energy, assessment of solar energy potential, analysis of factors related to household financial capacity to implement EEU and RES measures and assessment of the potential for exploitation of excess heat in industry. Selected methodologies are highlighted in this report, while the other methodologies are described in parts 1-7 of this composite report;
- **Supplement 1: Summary of results and materials of technical workshops** includes summaries of the outcomes, agendas and presentations of workshops: *Exploitation of solid biomass for energy purposes and potentials until 2050, reports and The future of natural gas and development of carbon-free alternative fuels includes*. Material of the other workshops on the analysis of potentials, see the project website (and *Deliverable C5.3, Documentation published on the project web page: A Synthesis of Outcomes and Documentation of Workshops on Scenario Analysis*).

Summary

In this Part, a Summary for of the review of new technologies is provided. A overview of the accessible literature for technologies that we anticipate will have an impact on reducing greenhouse gas emissions in the near and not so near future was prepared. *Deliverable C1.1, Part 1: GHG emission reduction potentials to 2050 and medium-term challenges – The role of new technologies and fuels and their perspective by sector* was prepared in the frame of LIFE ClimatePath 2050 project is divided into several chapters and spans hundreds of pages, which can lead to overloading with details, especially for adheal review. The purpose of this summary is to present quickly in the report the technology and the main parameters and/or important details. The structure of the summary and chapters is to facilitate the transition between the two, similar to the structure of the report. The overview of new technologies focuses on those technologies that, based on an engineering assessment, seem to be able to make a significant contribution towards reduction of greenhouse gas emissions in a slightly lengthier future (by 2050, as the LIFE ClimatePath 2050 project targets and beyond) In addition, we are aware of the difficulty of the tasks, because the long-term forecasting of successful technologies is almost impossible, therefore, due to new findings, the forecasts will need to be regularly updated. Regardless of the objectivity of the target, the overview of new and future technologies is meaningful, as it creates a fertile basis for the development of new ideas and hence technologies.

Regarding the review, technologies that can be used today in terms of behavior, in the future, reduce the most important emissions: energy storage - both thermal and electrical, alternative-powered vehicles, with energy, in addition to electricity, we also review hydrogen, gas and other technology. Smart grids have been explored, which will enable all this technology to work well, the special chapter is designed for material efficiency, and we end our review of future technologies in agriculture.

In this review, we've tried to obtain forecasts of future energy costs from the literature – both investments and also operating costs (per unit of energy). We were also aiming to obtain future efficiency gains of particular technologies. However, it is difficult to predict even a short-term trends, which is why the long-term trend has been somewhat omitted or calculated according to the trends so far. The quick changes in both technologies and their perceptions in society causes difficult predictions of economic and technical characteristics, especially well in advance. It is therefore sensible to monitor the development of technologies on a regular basis and adjust findings as necessary.

1 Shranjevanje električne energije in toplote

1.1 Shranjevanje električne energije

Shranjevanje električne energije je v elektroenergetiki že dolgo prisotno, saj se je pojavila kot zahteva v elektroenergetskem sistemu (EES), da morata biti proizvodnja in poraba električne energije v EES vedno v ravnovesju. V zadnjih desetletjih je problematika dobila še večjo težo zaradi večanja deleža obnovljivih virov z razmeroma spremenljivo naravo. Ravnotežje med spremenljivo proizvodnjo in porabo je zmeraj težje vzpostavljati, določene rešitve pa omogoča tudi vzpostavitev hranilnikov električne energije, ki jih je mogoče v EES uporabiti za različne naloge. Med tehnologijami za shranjevanje električne energije imajo danes daleč največji delež črpalne elektrarne, vendar postajajo vse zanimivejše tudi druge tehnologije shranjevanja električne energije [1]. Nabor tehnologij hranilnikov električne energije je mogoče uporabljati za različne namene: npr. izredno hiter odziv z veliko močjo, čim večjo količino shranjene energije ali pa oboje hkrati. Tehnologije se razlikujejo tudi glede stopnje zrelosti tehnologij (npr.: raziskave, razvoj, demonstracija, uvajanje in zrela tehnologija). Mehanski hranilniki toplote so večinoma v zrelejših fazah, sledijo jim mehansko-kemijski hranilniki in shranjevanje toplote, popolnoma električni in kemijski hranilniki pa so še v zgodnjih raziskovalno-razvojnih fazah.

1.1.1 Črpalne elektrarne

Črpalne elektrarne (ČE) so najbolj pogost način shranjevanja in tudi najzrelejša tehnologija za shranjevanje večjih količin električne energije. Na svetovni ravni je inštalirane več kot 170 GW moči [1]. ČE obratuje v dveh režimih: v turbinskem (proizvajalec električne energije izkorišča pozitivno razliko med nivoji vode akumulacijskih bazenov) in črpalnem (odjemalec električne energije polni zgornji akumulacijski bazen s črpanjem vode iz spodnjega bazena). Skupni izkoristek cikla pri obstoječih ČE znaša med 60 % (stare naprave) in 80 % (nove naprave). Tehnologijo odlikuje obratovalna prilagodljivost, ki se odraža v hitrih zagonih in hitrih prehodih med režimi obratovanja.

Korenitih tehnoloških sprememb v bližnji prihodnosti na področju ČE ni pričakovati. Najboljše lokacije za ČE so v EU v veliki meri izkoriščene, ostale lokacije potrebujejo vlaganja v dograditev prenosne mreže (okoljski – prostorski problemi). Vseeno obstoja določen potencial za nadaljnji razvoj, pri katerem lahko izpostavimo področji povečanja fleksibilnosti obratovanja in alternativnih konceptov ČE. ČE imajo potencial na področju povečanja fleksibilnosti: z uporabo agregatov s spremenljivo hitrostjo in nadgradnjo moči obstoječih enot, regulacija frekvence je mogoča s hidravličnim kratkim stikom.

Ozek nabor ustreznih lokacij omejuje izgradnjo novih ČE zato je smiselno podati nekaj novih idej za širitev nabora ustreznih lokacij za ČE:

- Nadgradnja konvencionalne HE s črpalnim agregatom:

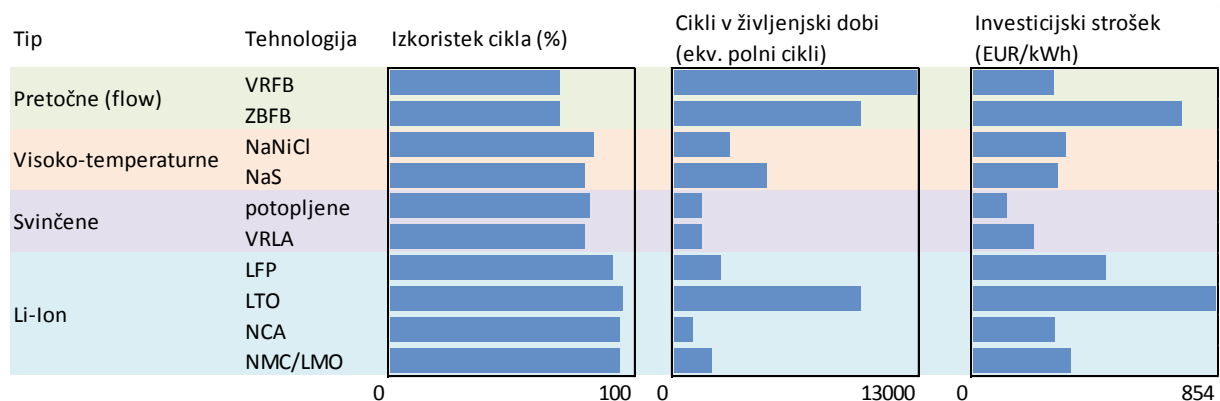
- Uporaba obstoječih podzemnih rezervoarjev kot so opuščeni rudniki; nabor lokacij je omejen z ustrezno geološko strukturo.
- ČE na morsko vodo: ČE se zgradi ob morju, v zgornji bazen pa se črpa morsko vodo, pri čemer je problem njena korozivnost.

Pričakovati je da bodo investicijski stroški ostali na ravni podobni današnji (350-1500 EUR/kW [4]).

1.1.2 Baterijski hranilniki

Baterije spadajo med elektrokemične hranilnike električne energije, pri čemer se njihove značilnosti in možnosti uporabe razlikujejo glede na tehnologijo baterij. Baterijski hranilniki električne energije so se do danes pretežno uporabljali kot: prenosne baterije (za napajanje prenosnih naprav), industrijske baterije (za premične industrijske naprave in zagonske baterije (zaganjači za vozila). V zadnjem obdobju pa se večja uporaba na področjih baterij za pogon vozil in baterijskih hranilnikov za uporabo v EES: povečevanje fleksibilnosti EES, zagotavljanje sistemskih storitev.

Slika 1 prikazuje primerjavo izkoristkov v ciklu polnjenja in praznjenja, življenjsko dobo (največje število ekvivalentnih polnih ciklov) ter specifične investicijske stroške posameznih tehnologij baterij [5].



Slika 1: Primerjava življenjske dobe, izkoristka in investicijskih stroškov za različne tipe baterij

1.1.3 Hranilniki na stisnjen zrak

Sistemi za shranjevanje električne energije, ki temeljijo na tehnologiji plinskih turbin s hranilnikom stisnjenega zraka (angl. CAES - Compressed Air Energy Storage), so tehnologija z relativno nizkimi investicijskimi stroški (primerljivi s stroški ČHE), ki omogoča shranjevanje večjih količin električne energije. Pri tipični konfiguraciji hranilnika stisnjenega zraka je zrak iz atmosfere stisnjen in shranjen v podzemnih ali nadzemnih rezervoarjih, nato pa s kombinacijo shranjenega zraka pod visokim pritiskom in zgorevanja zemeljskega plina poganjamo turbino. Pri procesu stiskanja zraka se ustvarja toplota, medtem ko se pri raztezanju ohlaja. Glede na karakteristike procesov ohlajanja in segrevanja, lahko ločimo med tremi tehnologijami hranilnikov na stisnjen zrak [2]:

- **diabatni proces** (tehnologija velja za preizkušeno in zanesljivo, izkoristek cikla ~40-55 %);
- **adiabatni proces** (shranjevanje toplote - višji izkoristki ~65 %);
- **izotermni proces** (tehnologija v razvoju).

Hranilniki na stisnjen zrak le-tega shranjujemo v podzemnih ali pa nadzemnih rezervoarjih. Glavne prednosti CAES sistemov so predvsem velika kapaciteta, relativno hiter zagon in hitre spremembe delovne točke, ni samopraznjenja ter dolga življenjska doba. Potencial za izboljšanje tehnologije je v večji izrabi toplote, ki nastane v procesu stiskanja zraka, in s tem višjimi izkoristki naprav.

1.1.4 Vztrajniki

Koncept shranjevanja kinetične energije z vztrajniki (angl. flywheels) se uporablja v zadnjih desetletjih [5]. Vztrajniki so naprave, ki električno energijo pretvorijo v kinetično energijo in jo po potrebi pretvorijo nazaj v električno energijo. Kinetična energija je shranjena v vrtečih rotorjih, ki so izdelani iz materialov ki dopuščajo velike rotacijske obremenitve. V fazi shranjevanja električne energije s pomočjo električnega stroja povečujemo hitrost vrtenja vztrajnika, ko pa električno energijo potrebujemo, jo proizvedemo na račun zmanjšanja kinetične energije (hitrosti) vztrajnika.

Tabela 1: Izkoristki cikla, življenjske dobe in specifični stroški investicije za hranilnike električne energije

Tehnologija		2016	2030	2050
Baterije	Izkoristek cikla (%)	65-90	65-95	70-95
	Življenjska doba (leta)	8-20	10-30	10-40
	Specifični investicijski strošek (EUR/kWh)	150-1050	75-500	50-150
Črpalna elektrarna	Izkoristek cikla (%)	75-80	80-85	80-85
	Življenjska doba (leta)	60-80	60-80	60-80
	Specifični investicijski strošek (EUR/kWh)	15-80	15-80	15-80
Hranilnik na stisnjen zrak	Izkoristek cikla (%)	60-65	65-70	65-75
	Življenjska doba (leta)	20-40	20-40	20-40
	Specifični investicijski strošek (EUR/kWh)	40-70	35-60	35-60
Vztrajnik	Izkoristek cikla (%)	70-85	80-87	85-90
	Življenjska doba (leta)	15-25	25-40	25-40
	Specifični investicijski strošek (EUR/kWh)	500-3000	<2000	<350

1.1.5 Power-To-Gas

Ena od potencialno obetavnih tehnologij je izkoriščanje presežne električne energije za elektrolizo vodika – imenovano power-to-gas (P2G). Čeprav ima tak način tvorbe goriva in njegova ponovna pretvorba v električno energijo precej manjše izkoristke kot večina drugih tipov shranjevanj (npr. baterijsko, črpalne elektrarne ipd.), pa je tehnologija izredno primerna zaradi zmožnosti skaliranja ter majhnega volumna, ki ga stisnjen ali utekočinjen plin zavzame. Vodik je potem mogoče koristiti neposredno (uporaba v industriji, transportu) ali pa ga predelati v metan ter ga uporabiti v že obstoječi infrastrukturi (npr. polnilnice, plinovodi). Zaradi visoke koncentracije in uporabe obstoječe infrastrukture je vodik pridelan iz obnovljivih virov primeren tudi za širšo uporabo v transportu [6].

Tabela 2 navaja tehnološko ekonomske lastnosti alkalne (ALK) elektrolize in elektrolize s protonsko izmenjalno membrano (PEM) za leto 2017 in napoved za leto 2025 [7].

Tabela 2: Tehnološko ekonomske lastnosti ALK in PEM elektrolize za leto 2017 in napoved za leto 2025

Tehnologija	enota	ALK		PEM	
		2017	2025	2017	2025
Učinkovitost	[kWh elektrike/ kg H ₂]	51	49	58	52
Učinkovitost (LHV)	%	65	68	57	64
Operativne ure	[h]	80 000	90 000	40 000	50 000
Skupni stroški (CAPEX)	EUR/kW	750	480	1200	700
Operativni stroški (OPEX)	delež CAPEX [% na leto]	2 %	2 %	2 %	2 %
Obnova (CAPEX)	EUR/kW	340	215	420	210
Tipični tlak H ₂	bar	atmosferski	15	30	60
Življenjska doba	leta	20		20	

Skaliranje tehnologije P2G pri zniževanju razpoložljivost (če kot vir uporabljamo nestalne obnovljive vire energije) je nekoliko slabše, saj se stroški (LCOH) hitro povečujejo. Pregled literature [8]–[13] kaže na to, da je tehnologija P2G še vedno v zagoni fazi. Prav tako cena generacije vodika pomeni dodaten strošek k cenam obnovljivih virov, kar seveda dela kombinacijo manj privlačno. Zato težnja po uporabi že obstoječe infrastrukture in ekonomije obsega z uporabo pri večjih napravah (npr. ladijski prevoz, tovorna vozila ipd.).

Neposreden produkt elektrolize je vodik, ki zahteva visoke tlake shranjevanja in posebno skladiščno opremo. Ena od možnosti je kemijska predelava vodika v manj volatilen plin, na primer metan v procesu metanizacije. Reakcija je eksotermna, pri čemer se sprosti 165 kJ/mol energije. Pri tem je potrebno nadzorovati temperaturo (200-700 °C) in tlak (1-100 bar). Toploto

nastalo pri reakciji se lahko izkoristi za druge namene (ogrevanje, kogeneracijo). Strošek investicije pa po trenutnih cenah dosega 400-1500 €/kW (v ekvivalentu CH₄).

Pri tem pa je učinkovitost metanizacije močno odvisna od čistosti CO₂, pri čemer je najlažje neposredno zajemanje tega s CCS tehnologijami, na primer po izgorevanju v motorjih ali neposredni oksidaciji. Druga možnost je zajem bioplina, ki je proizveden z anaerobno razgradnjo biomase ali odpadkov. V tem primeru se metanizacija lahko izvede z neposrednim dodajanjem vodika, saj je bioplina v glavnem sestavljen iz CO₂ in CH₄. Metanizacija je okoljsko smiselna le, če se CO₂ ne proizvaja namensko (npr. iz fosilnih goriv).

Vodik se skladišči pod višjimi tlaki od običajnih plinov. Pri tem tlaki dosegajo 250–700 barov (pri temperaturi 293 K). Če upoštevamo 5% rezervo celoletne potrebe po električni energiji (ta za Slovenijo znaša 13 TWh), ustreznna rezerva za Slovenijo znaša 2 milijona m³ plina.

1.2 Shranjevanje toplote

Shranjevanje toplote je tehnologija, ki zaloge toplotne energije bodisi zaradi ogrevanja ali hlajenja shranjuje in uporablja kasneje. Sistemi TES se uporabljajo predvsem v zgradbah in industrijskih procesih. Pri teh aplikacijah je približno polovica porabljene energije v obliki toplotne energije, pri čemer se povpraševanje lahko spreminja urno ali dnevno. Tako lahko sistemi TES pomagajo uravnovežiti povpraševanje in oskrbo s toplotno energijo dnevno, tedensko in celo sezonsko. Prav tako lahko zmanjšajo konično povpraševanje, skupno porabo energije, emisije CO₂ in stroške, hkrati pa povečajo splošno učinkovitost energetskih sistemov [14].

Poleg tega lahko pretvorba in skladiščenje pogosto spremenljive energije iz obnovljivih virov (npr. off-peak termini) v obliki toplotne energije prispeva tudi k povečanju deleža obnovljivih virov energije v mešanici energetskih virov. TES je sisen tudi v kombinaciji s sistemi za koncentriranje sončne energije (CSP), kjer se lahko sončna energija shrani za proizvodnjo električne energije, kadar ni na voljo sončne svetlobe.

Skladiščenje toplotne energije je doseženo z zelo različnimi tehnologijami, v grobem pa obstajajo tri vrste sistemov za shranjevanje toplote:

1. Shranjevanje senzibilne toplote z ogrevanjem ali hlajenjem tekočega ali trdnega nosilca (npr. voda, pesek, staljene soli, kamnine), pri čemer je voda najcenejša možnost.
2. Shranjevanje latentne toplote z uporabo materialov s fazno spremembo ali PCM (npr. iz trdnega stanja v tekoče stanje).
3. Termo-kemično shranjevanje toplote (TCS) s kemičnimi reakcijami za shranjevanje in sproščanje toplotne energije.

Preprosto shranjevanje toplote je relativno poceni v primerjavi s sistemi PCM in TCS ter se uporablja za domače sisteme, daljinsko ogrevanje in industrijske potrebe. Vendar pa na splošno takšno shranjevanje toplote zahteva velike količine le-te zaradi svoje nizke gostote energije (3-5× nižje kot pri PCM in TCS sistemih). Poleg tega je za takšne sisteme shranjevanja toplote potrebna ustrezna zasnova za odvajanje toplotne energije pri konstantnih temperaturah.

Tabela 3 prikazuje tipične parametre sistemov za shranjevanje toplote,

Tabela 4 pa prikazuje ekonomsko izvedljivost sistemov TES kot funkcije števila ciklov skladiščenja letno.

Tabela 3: Tipični parametri sistemov za shranjevanje toplote

Delovanje	Kapaciteta [kW/t]	Moč [MW]	Učinkovitost [%]	Čas shranjevanja [h, d, m]	Cena [€/kWh]
Senzibilna (topla voda)	10-50	0.001-10	50-90	d/m	0.1-10
PCM	50-150	0.001-1	75-90	h/m	10-50
TCS	120-250	0.01-1	75-100	h/d	8-100

Tabela 4: Ekonomska izvedljivost sistemov TES kot funkcije števila ciklov skladiščenja letno

	Število ciklov na leto	5-letni prihranek pri energiji [kWh]	5-letni prihranek pri ceni [€]	Investicijski stroški [€/kWh]
Sezonsko shranjevanje	1	500	25	0.25
Dnevno shranjevanje	300	150,000	7500	75
Kratkotrajno shranjevanje (3 cikli/dan)	900	450,000	22,500	225
Buffer shranjevanje (10 ciklov/dan)	3,000	1,500,000	75,000	750

2 Vpliv shranjevanja energije na razvoj drugih tehnologij

Obnovljivi viri energije (OVE), kot so na primer sonce in veter, so povečini izrazito terminsko naravnani, saj jo je mogoče izkoriščati le v določenih delih dneva ali leta (npr. sončna energija – podnevi in pretežno v poletnih mesecih) [15]. Pri temu na koriščenje lahko vplivajo predvidljive okoliščine (dolžina dneva, pot sonca po nebu, višina vetrnice ipd.) ali manj predvidljive okoliščine (vpliv vremena, ki je izrazitejši v jesenskem in zimskem obdobju).

Periodičnost in (delna) nepredvidljivost OVE pomenita velik izziv za energetske sistem – tako glede regulacije in prenosa električne energije. Povečani delež OVE zato predstavlja dodaten moment k manjši stabilnosti energetskega sistema. Vendarle hiter porast deleža električne energije pridobljene iz OVE (predvsem PV; v Sloveniji v letih 2010-13 na skoraj 2% [16]) kaže, da je elektro energetske sistem trenutno in ob danih obremenitvah robusten. Navkljub temu pa izkušnje ni mogoče interpolirati, saj se s povečanim deležem spremenljive količine OVE njegov vpliv na nestabilnost nelinearno povečuje.

Trenutni sistem za zagotavljanje tovrstne stabilnosti temeljijo na podpori ostalih tipov energije – tako iz obnovljivih kot tudi neobnovljivih virov. V slednjem pa levji delež prispevajo fosilna goriva, zato je veliko raziskovalnih aktivnosti namenjeno diverzifikaciji virov (gradnja daljnovodov z visoko kapaciteto) ali zamiku porabe ter shranjevanju energije. Skladiščenje električne energije bo imelo ključno vlogo pri omogočanju naslednje faze energetskega prehoda k obnovljivim virom. Skupaj s povečanjem proizvodnje sončne in vetrne energije bo omogočil hitro razogljčenje ključnih segmentov energetskega trga [22]. Razogljčenje v sektorju proizvodnje električne energije je v zadnjih letih doseglo konkreten napredek zaradi hitrega znižanja stroškov tehnologij proizvodnje energije iz obnovljivih virov. A hkrati je treba pospešiti uporabo obnovljive energije ter pospešiti tudi razogljčenje pri končni rabi, kot je neposredna raba energije v industriji, prometu in stanovanjskih in poslovnih stavbah. Skladiščenje električne energije na podlagi hitro izboljšanih baterij in drugih tehnologij bo omogočilo večjo prožnost sistema, kar je ključni vidik, da se poveča delež obnovljivih virov energije (OVE). Skladiščenje električne energije omogoča hiter prodor električnih pogonov v prometni sektor, omogoča učinkovite 24-urne sončne sisteme brez povezave v omrežje (Solar Plus [23]) in podpira mikro-omrežja ob 100% uporabi obnovljivih virov.

Študije energetskega prehoda do leta 2050 [22] kažejo, da bi do tega leta lahko bil globalni delež OVE pri proizvodnji elektrike 80 %. Sončna fotovoltaika (PV) in moč vetra bi pri tem predstavljala 52 % celotne proizvodnje električne energije. Pri tem hranilniki energije omogočajo večjo prožnost elektro-energetskih sistemov, uveljavljanje OVE ter na ta način prispevajo k razogljčenju.

Čeprav že sedanji elektro-energetski sistemi vsebujejo elemente shranjevanja energije ki jih uporabljajo za ohranjanje konstantne napetosti in frekvence idr. [22], pa bo v bodoče potreba po

hranilnikih nekaj razredov večja. Trenutno sončna in vetrna energija imata še vedno omejen vpliv na delovanje omrežja. A ker pa se delež OVE povečuje, bodo elektroenergetski sistemi potrebovali tako več storitev fleksibilnosti, temveč tudi potencialno drugačno energetska mešanico, ki podpira možnosti hitrega odziva na shranjevanje električne energije. To je ključni premik v delovanju sistema in mora biti del postopka načrtovanja razvoja energetskih sistemov. Raziskave in razvoj v obdobju do leta 2030 so zato bistvenega pomena za zagotovitev razpoložljivosti uporabnih prihodnjih rešitev, katerih obseg bi po potrebi tudi razširili. Dodatek baterij(e) v omrežje omogoča številne prednosti, kot je izravnava ponudbe in povpraševanja, zniževanje cene vršne energije, shranjevanje in povprečenje generacije iz obnovljivih virov, preferiranje lokalnih virov ter seveda rezerva energije [24].

Hranilniki električne energije so trenutno primerna gospodarska rešitev za omogočanje samooskrbe tako za individualne stavbe kot tudi mini omrežja. Pri tem lahko poveča delež OVE v sistemu do 100% [25]. Nadaljnji blagodejen vpliv je glajenje viškov porabe energije, pri čemer se izognemo s tem povezanimi stroški. Obstoječi trend nakazujejo dopolnjevanje PV sistemov z baterijskimi sistemi tudi v državah zmernih zemljepisnih širin (npr. Nemčija [26]). V zadnjem času se močno krepi nova kombinirana tehnologija shranjevanja – vehicle to grid oziroma V2G ter njeni izvedenki V2H (vehicle to house) in V2B (vehicle to building), pri čemer je glavna ideja uporaba velikih zaloge baterij v avtomobilu za lajšanje nihanj v ponudbi (duck curve) [27], [28].

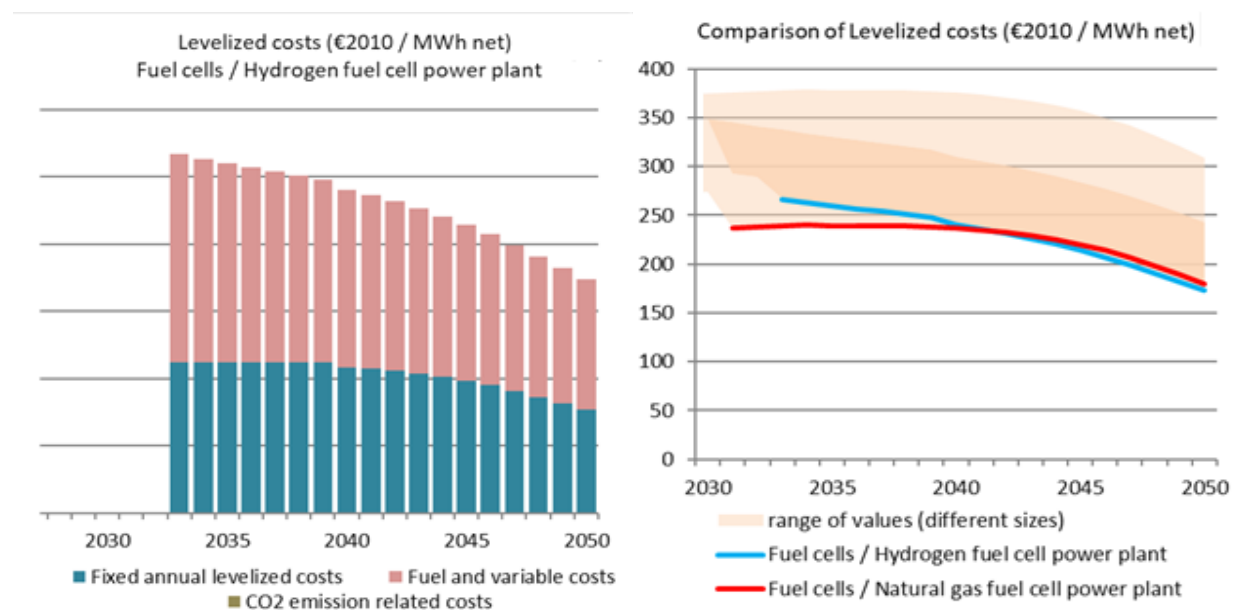
3 Gorivne celice, toplotne črpalke in odvečna toplota

3.1 Gorivne celice

V gorivnih celicah poteka elektrokemičen proces, torej o pretvorba kemične energije shranjene v gorivu v električno energijo, kar je poglavitna razlika napram toplotnim strojem, kjer je potrebno gorivo zgorevati. Prvi začetki uporabe gorivnih celic segajo v petdeseta leta prejšnjega stoletja, uporabljati pa jih je začela vesoljska industrija, da je zagotovila električno energijo v vesoljskih plovilih. Dolgo časa je bila to bolj kot ne edina praktična raba gorivnih celic, v zadnjih nekaj desetletjih, pa si tehnologija utira pot tudi drugam. Še vedno je uporaba gorivnih celic bolj na butičnem nivoju, vendar razširjena na različna področja npr.: transport in stacionarno proizvodnjo električne energije, na Japonskem pa so že nekaj časa zelo razširjene mikro kogeneracijske enote na osnovi tehnologije gorivnih celic.

Gorivne celice delimo glede na uporabljeno vrsto elektrolita, v nekaterih primerih tudi glede na vrsto goriva. Šest najbolj pogosto uporabljenih tehnologij gorivnih celic: alkalijske gorivne celice (AFC), direktna metanolska gorivna celica (DMFC), fosforno-kislinske gorivne celice (PAFC), gorivna celica na protonsko izmenjevalno membrano (PEMFC ali PEM), gorivna celica na raztaljeni ogljik (MCFC) in trdno oksidne gorivne celice (SOFC)

Slika 2 kaže oceno stroškov (LCOE) za proizvedeno električno energijo iz vodika prek tehnologije gorivnih celic (levo) ter glede na tip vhodnega energenta: naravni plin (rdeča črta, desno) in vodik (modra črta, desno) [30].



Slika 2: Ocena stroškov (LCOE) za proizvedeno električno energijo iz vodika prek tehnologije gorivnih celic

Nekateri indikativni podatki za vozila na vodik:

- Izkoristek motorja na gorivne celice znaša 65–70 %.
- Za 100 km vožnje potrebujemo približno 0,8 kg vodika.
- Okvirna cena za 1 kg vodika znaša približno 10 €.
- Okvirna cena goriva znaša približno 8 €/100 km.

3.2 Toplotne črpalke

Toplotne črpalke s koriščenjem termodinamičnih hladilnih ciklov uporabljajo procesno tekočino in električno energijo za pridobivanje toplotne energije iz nizkotemperaturnega vira in zagotovijo toploto višjemu temperaturnemu odvodu (in hlajenju vira toplote). Toplotne črpalke lahko kot toplotni vir uporabljajo zunanji zrak, podzemno toploto, vodo in vse vrste odpadne toplote (npr. industrijska toplota, toplota iz čiščenja odplak). Te tehnologije se štejejo za tehnologijo obnovljivih virov energije v Evropski uniji (EU), katere cilj je, da bi do leta 2020 dosegla 20-odstotni delež bruto končne porabe energije iz obnovljivih virov.

Učinkovitost toplotnih črpalk se je v zadnjih letih bistveno povečala zaradi tehničnih izboljšav, uporabe inverterske tehnologije in krmilnih sistemov. Vrednost COP bo po najboljšem scenariju (obsežna tehnološka uvedba) dosegel najvišjo vrednost med 5,5 in 6 leta 2050 za stanovanjski sektor. Raziskovalni in razvojni program obnovljivih toplotnih in hladilnih sistemov evropskega tehnološkega združenja predvideva nekatere cilje do leta 2020 (+57% za zelo majhne reverzibilne HP (2 kW) in +43% za večje (100 kW)), ki niso predstavljeni v spodnji tabeli. Trend je v skladu s spodnjimi podatki iz leta 2030.

Tabela 5: Prihodnji trendi in pričakovan razvoj učinkovitosti tehnologije na področju ogrevanja (COP, sCOP, SPF) in hlajenja (EER, SEER) do leta 2030 in 2050

		Evolucija učinkovitosti	
Tehnologija	Parameter	2030	2050
Ogrevanje	COP (podatki IEA)	30 – 50%	40 – 60%
	SFU (podatki ADEME)	33%	66%
	COP za toplotne črpalke zemlja-voda (podatki SVEP)	23%	47%
Hlajenje	EER (podatki IEA)	20 – 40%	30 – 50%
	SEER (podatki ADEME)	20%	-

3.3 Odvečna toplota

Odvečna toplota je toplota, ki nastaja kot stranski proizvod tehničnih procesov. Količina odvečne toplote znaša med 40 (termoelektrarna na premog) - 65 % (plinsko parno postrojenje) energije goriva, odvisno od tehnološkega procesa. Pri tem se odvečna toplota deli na visokotemperaturno in nizkotemperaturno, občasno pa se uporabijo tudi termini srednjetemperaturna ter sevalna odvečna toplota [31].

Koriščenje odvečne toplote je zapovedano tudi z novelo Energetskega zakona (EZ-1) [32], kjer bodo sistemi daljinskega ogrevanja od leta 2020 dalje obvezani doseči predpisano raven učinkovitosti z uporabo tudi odvečne toplote: minimalni delež 50% toplote iz odvečne toplote oziroma 75% toplote iz poljubne kombinacije iz obnovljivih virov, SPTE in odvečne toplote. Nadaljnja spodbuda bo tudi v okviru projektov Obzorje (Horizon) 2020. Glede na osnutek delovnega programa za področje energije se pričakuje vrsta tematskih razpisov, ki se nanašajo tudi na inovacije na področjih rabe odvečne toplote in sistemov daljinskega ogrevanja.

Odvečna toplota je razmeroma nov produkt, zato so analize stroškov in koristi nekoliko grobe. obeh partnerjev, ki bi dolgoročno opredelile vrednost tega produkta. V analizi [31] so bile tako upoštevane naslednje nakupne cene:

Tabela 6: Cena odvečne toplote

Tip odvečne toplote	Cena [EUR/MWh _t]
Visokotemperaturna odvečna toplota	22,69 oziroma 70% stroška normativne porabe zemeljskega plina za proizvodnjo toplote ⁸ .
Nizkotemperaturna odvečna toplota	9,72 oziroma 30% stroška normativne porabe zemeljskega plina za proizvodnjo toplote.

Cena odvečne toplote je odvisna od tehnologije in deloma lokacije. Hiter pregled literature navaja cene med 35 in 85 EUR/MWh_t [33]–[35].

⁸ 105,59 Sm 3 /MWh_t oziroma 32,6 EUR/MWh_t

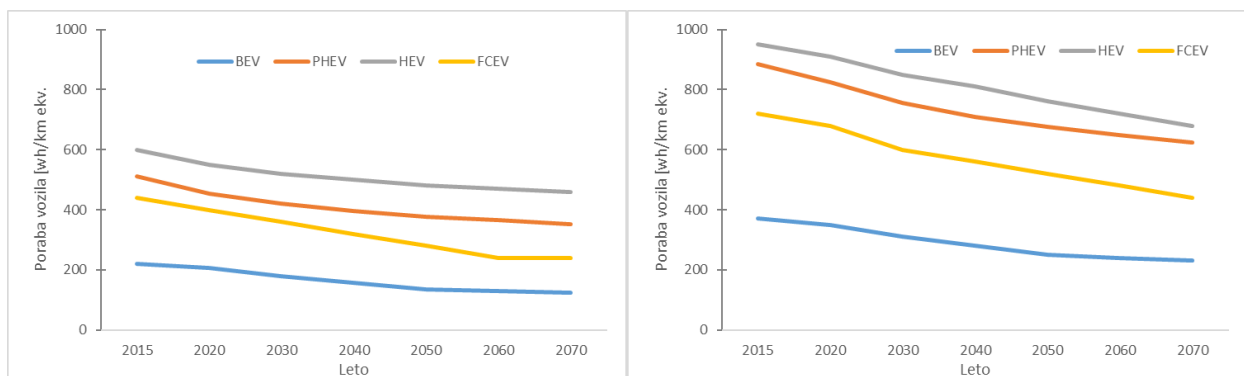
4 E-mobilnost

V okviru projekta LIFE ClimatePath 2050 je izvedena analiza potencialov za zmanjševanje emisij TGP in projekcije emisij TGP ter ocene učinkov. Za dolgoročno strategijo za nizke emisije za prihodnjih petdeset let so obdelane:

- projekcije karakteristik električnih vozil in vozil na vodik ter tehnologij za shranjevanje električne energije za aplikacije manjših dimenzij;
- oceno gibanja deležev električnih vozil in vozil na vodik, vključno z identifikacijo dejavnikov, ki vplivajo na gibanje deležev;
- analizo vpliva novih storitev in tehnologij na gibanje prometnega dela.

Projekcije karakteristik vozil so bile pripravljene po vrstah vozil (osebna, lahka in težka tovorna vozila, mopedi, električna kolesa), po vrstah pogonskih tehnologij (baterijska električna, hibrid, plug in hibrid, vodik) in za naslednj leta: bazno 2015 ter od 2020 do 2070.

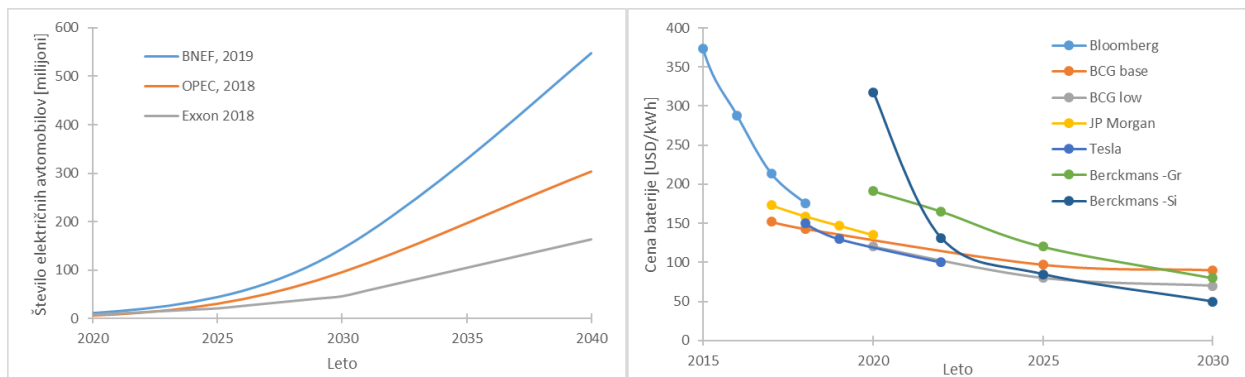
Slika 3 prikazuje predvideno prihodnjo porabo avtomobilov glede na izbiro pogona (v Wh/km). Avtomobili zajemajo tako kompaktna (mestna) kot vozila srednjega razreda ter velika (bivša kombi) vozila. Tip pogona zajema baterijska vozila (BEV), klasične hibride (HEV), priključne hibride (PHEV) in vozila z gorivno celico (FCEV). Podobni trendi so za avtobuse in tovorna vozila.



Slika 3: Predvidena prihodnja poraba kompaktnih avtomobilov (levo) in avtomobilov višjega razreda (desno) glede na izbiro pogona.

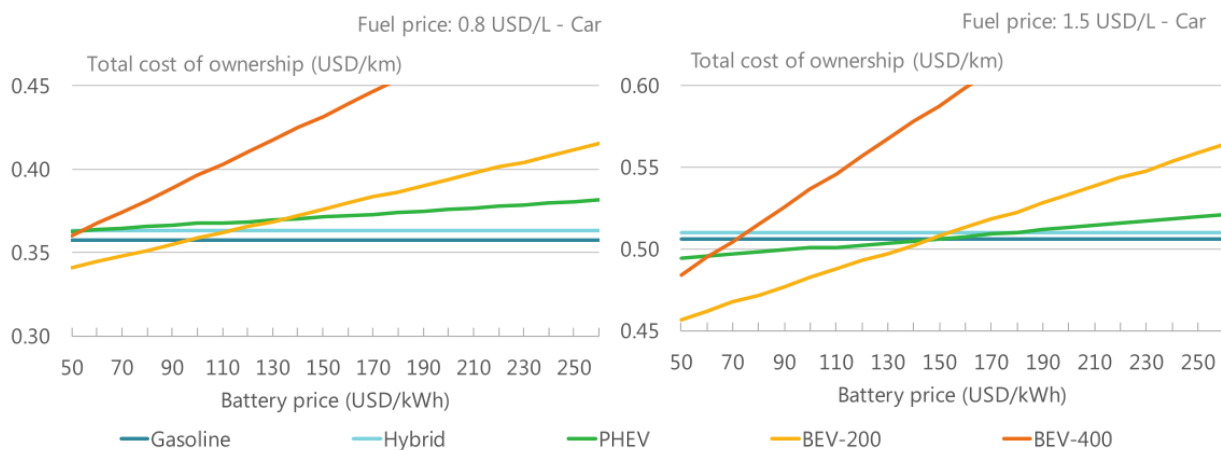
Zarad hitro spreminjajočega trga, številna podjetja ta trg tudi podrobno analizirajo in napovedujejo obnašanje v prihodnjih letih. Baterijska električna vozila predstavljajo 2,1% nove svetovne prodaje avtomobilov oziroma približno 2 milijona osebnih vozil, prodaja električnih vozil naj bi v letu 2019 dosegla 2,7 milijona, navkljub krčenju širšega avtomobilskega trga.

Slika 4 (levo) prikazuje predvideno število električnih avtomobilov glede na napovedovalca, Slika 4 (desno) pa napovedi cen avtomobilskih baterij (kot najdražje komponente v električnih avtomobilih) do leta 2030 glede na analitične družbe in proizvajalcev [36]–[40].



Slika 4: Predvideno število električnih avtomobilov glede na napovedovalca (levo) in napovedi cen avtomobilskih baterij do leta 2030 (desno)

Slika 5 prikazuje skupne stroške lastništva vozila kot funkcijo velikosti baterije (dometa) in cene goriva za avto [41], [42]. Levo je primerjava za ceno goriva 0.8 USD/l (situacija ZDA), desno pa za ceno goriva 1.5 USD/l (situacija EU).



Slika 5: Skupni stroški lastništva kot funkcija velikosti baterije (dometa) in cene goriv

Transport je v letu 2007 pripomogel kar s 26 % [43] vseh CO₂ emisij, delež pa se je do 2017 še povečal. Gledano globalno je poraba energije in delež izpustov CO₂, vezanih na transport, močno koreliran z rastočo populacijo in rastjo prihodka gospodinjev. Doseganje velikega zmanjšanja izpustov toplogrednih plinov do leta 2070 bo moralo temeljiti na bistveno hitrejših spremembah kot so se dogajale v preteklosti. Učinkovitosti pogonskih sistemov se bodo morale izboljševati vsako leto za med 3 in 4 % (do sedaj so se izboljšave učinkovitosti gibale med 0,5 in 2 %). Za doseganje ciljev o dekarbonizaciji družbe, bodo nove tehnologije morale hitreje prodirati na trg. Poleg zmanjšanja izpustov CO₂, pa bodo te spremembe pomenile tudi zmanjšanje drugih onesnaževalcev okolja, še posebej dušikovih oksidov ter trdnih masnih delcev, obenem pa pomenile tudi večjo, porazdeljeno energijsko neodvisnost in seveda nižjo porabo energije v celotnem ekosistemu. Največja poraba energije per capita je v razvitih državah, podoben trend pa se pojavi v državah v razvoju, ob določeni stopnji razvitosti. Pri tem

lahko urbanizacija dejansko delno zavre hiter porast porabe energentov za cestni transport (alternativne in učinkovitejše metode prevoza v mestih so nujnost za njihov razvoj).

Najverjetnejši scenarij predvideva vzpon alternativnih tehnologij pogona/goriv z vsemi cenovno smiselnimi načini transporta: porast vozil na zemeljski plin, hibridov, priključnih hibridov, baterijskih električnih vozil ter, deloma, tudi vozil na vodik. Tovrstni pogoni povečujejo učinkovitost rabe energije, pri čemer so goriva tipično proizvedena z nizkimi ekvivalenti izpustov toplogrednih plinov (električna energija, vodik in različna bio-goriva).

Spremembe v potovalnih vzorcih sodeč po najbolj verjetnem scenariju zmanjšajo porabo energije leta 2050 pod vrednost predvidevanj izhodiščnega scenarija za leto 2030, kar kaže na trend proti stabilizaciji porabe oziroma konkretnemu zmanjšanju. Zmanjša se tudi potreba po fosilni energiji za prevoz za skoraj polovico v primerjavi z letom 2007. Ne glede na končno razdelitev pogonov, bo prevoz na daljše razdalje še vedno zahteval gorivo z visoko energijsko gostoto pogonske energije (odvisnost od naftnih derivatov).

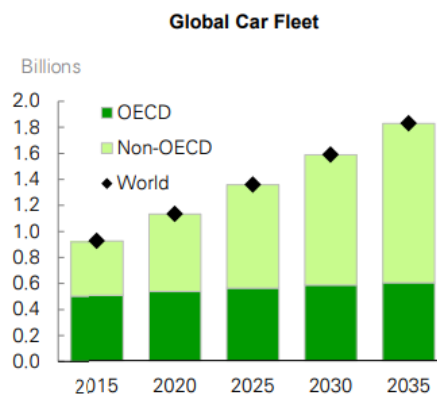
Lažja vozila, ki opravljajo krajše razdalje, bi lahko do leta 2050 postala povsem električna (energijo bi zagotavljale baterije ali vodikove gorivne celice). Po našem mnenju bo v nekaterih državah (predvsem tistih v razvoju, z izjemo Kitajske in Indije) zelo težko dosegljiv delež električnih vozil, ki bi bil večji od 90% (tržni delež električnih vozil lahko doživi maksimalno saturacijo pri letni prodaji), zato je tudi v segmentu lažjih vozil in avtomobilov pričakovati mešan vozni park. Tovorna vozila lahko v splošnem razdelimo na dostavna vozila in vozila za manipulacijo, ki delujejo v urbanem okolju in na kratke razdalje ter na tovorni transport na dolge razdalje (pretežno vlačilci). Za urbana vozila je pričakovati povečan delež alternativnih oblik pogonov, ker pa so tovorna vozila na daljše razdalje največji porabniki energije zaradi velikega števila prevoženih kilometrov, je pričakovati, da bo prispevek emisij oblikovala predvsem struktura pogona pri tovornih vozilih na daljše razdalje, celotno ravnovesje porabe energije pa se bo premikalo z rastjo tovornega cestnega prometa. V študije navajajo, da se bo povpraševanje po osebnih vozilih vsaj do leta 2030 večalo z letnim prirastkom preko 3 % [44]. Trgi v razvoju predstavljajo približno 48 % tega povpraševanja. Največja rastj deleža električnih vozil ter vozil na vodik so predvideni pri majhnih mestnih vozilih ter vozilih za osebno mobilnost, osebnih vozilih višjega cenovnega razreda, mestnih dostavnih vozilih in mestnih avtobusih [45]–[47].

Danes zaradi pogona na motor na notranje izgorevanje (MNI) HEV nudijo relativno zadovoljiv doseg z enim polnjenjem, saj ima bencinsko gorivo zelo visoko energijsko gostoto. Negativna plat je, da pri HEV ni mogoča uporaba obnovljivih virov energije za pogon. PHEV so torej logična evolucija HEV, ki pa imajo danes relativno majhno kapaciteto baterij in posledično kratke dosege za vožnjo v izključno električnem načinu. To se lahko zelo hitro spremeni v prihodnje, ko je pričakovan velik padec cen baterij.

Vozila na zemeljski plin (VZP) so delno tudi razlog diverzifikacije pogonskih goriv že danes. V primeru avtomobilov je stisnjen zemeljski plin nekako primarna izbira pri čemer se proizvaja s preprostim postopkom kompresije plina iz obstoječega omrežja. Za pogone na zemeljski plin so značilne bistveno nižje emisije CO₂ glede na energijsko gostoto, hkrati pa so motorji na

zemeljski plin v mestnem prometu na splošno manj energijsko učinkoviti kot dizelski motorji. Študija [48] zato predvideva, da bo zemeljski plin ostal le nišni tip pogona.

Vozila na vodik (VV, generator električne energije so gorivne celice) so po zgradbi pogonske arhitekture zelo podobna HEV, ključna razlika pa je da gorivne celice proizvajajo čisto električno energijo. Trenutno najbolj učinkovite so vodikove gorivne celice, čeprav je njihov izkoristek velikokrat precenjen in dejansko niso dovolj učinkovite. Trenutno se izkoristek približuje cca 60 %, kar je približno podobno, kot je pričakovan izkoristek MNI v prihodnosti. Pomembno je, da se vodik kot gorivo za tovrstne pogone proizvaja na način brez emisij CO₂, torej preko obnovljivih virov energije.



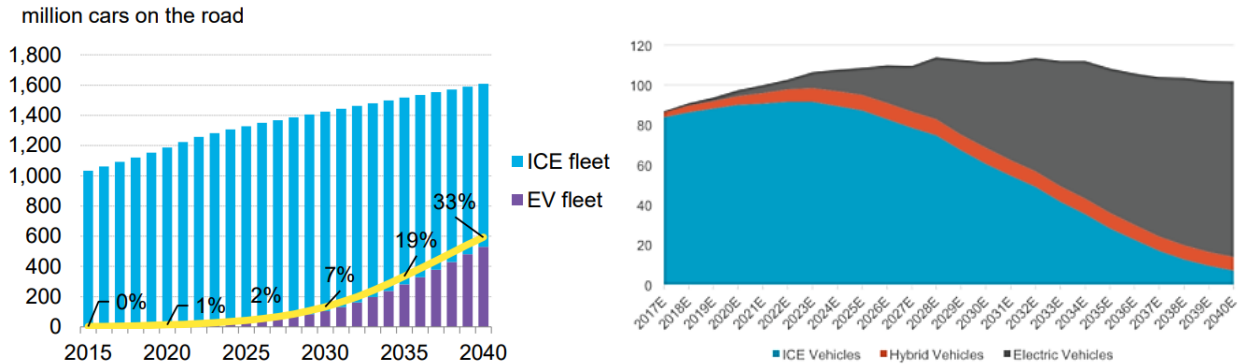
Slika 6: Predvideno gibanje števila osebnih vozil v svetovnem voznem parku, glede na razvitost držav.

Konsenz različnih študij predvideva, da se bo število vseh osebnih vozil v voznem parku približevalo dvema milijardama, po letu 2040 deloma preseglo in kasneje zmerno zmanjševalo. Na to naj bi vplivali razni dejavniki (staranje prebivalstva, nove oblike transporta, urbanizacija in rast rabe javnega transporta ter večja izkoriščenost uporabe obstoječih vozil). Slika 6 predstavlja projekcijo rasti voznega parka osebnih vozil v svetu glede na razvitost regije [48], [49]. Število vozil se bo povečalo predvsem na račun povečanja v državah v razvoju.

Vlade so začele spodbujati električno mobilnosti, zlasti v urbanih območjih, a še vedno je delež prodaje EV nizek, čemur botruje dejstvo, da so električna vozila (EV) še vedno veliko dražja od primerljivih avtomobilov MNI in da je slabo razvita infrastruktura za polnjenje vozil. OPEC [48] predvideva, da bodo prodajni deleži EV, ki vključujejo BEV in PHEV, do leta 2040 dosegli približno 35% tržni delež v Severni Ameriki. Temu sledi Evropa ter razvite države Azije in Oceanije s 33% in 31%. Na Kitajskem lahko EV dosežejo skoraj 29% tržni delež, v Indiji pa 18%. V ostalih državah v razvoju in na evrazijskem kontinentu je pričakovan delež EV približno 12%.

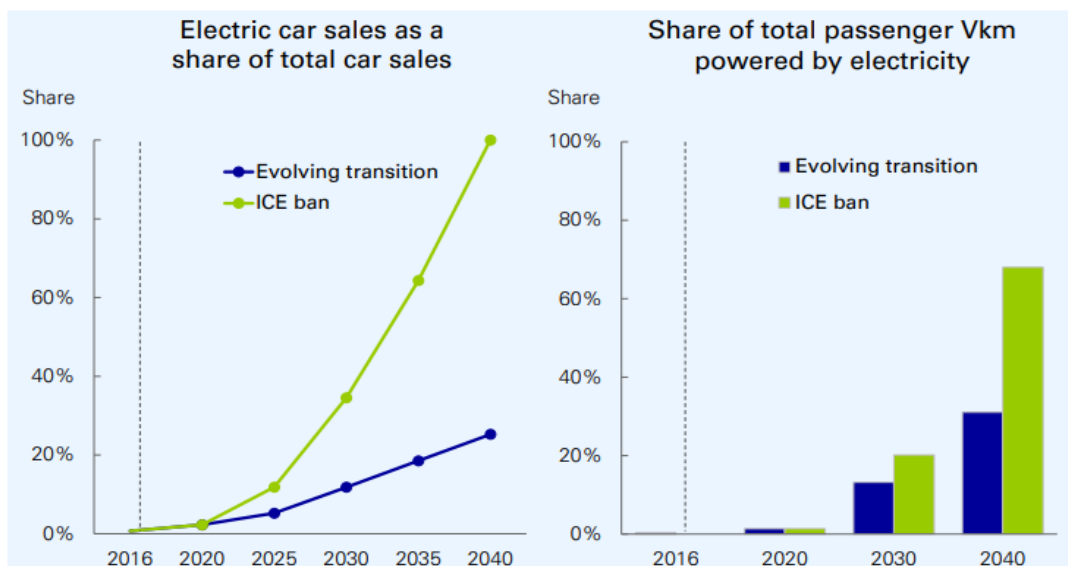
Slika 7 še bolj nazorno prikazuje vzpon BEV in PHEV ter stagnacija hibridnih vozil, pri čemer je s strani študije [50] predvideno drastično zmanjšanje v izdelavi in prodaji vozil na motorje z notranjim izgorevanjem (kot edini vir pogona). Le redka študija jasno napove tudi delež priključnih hibridov in baterijskih električnih vozil, saj je zaenkrat še preveč neznank glede cen

baterijskih paketov, tehnološkega napredka baterij ter tudi mogoč doseg priključnih hibridov. Iz tega razloga večina študij oceni v prihodnosti, vsaj do leta 2035 približno polovico PHEV in polovico BEV, po tem času pa se razmerje prične obračati vedno bolj v prid BEV.



Slika 7: Vozni park osebnih vozil 2015 – 2040 (levo) in dinamika porasta tehnologij v letni prodaji vozil do leta 2040 (desno)

Dodatno lahko tudi s stališča strukture pogonov v številu letno prodanih vozil opazimo ključni trend – da bodo električna vozila v naslednjih 25 letih predstavljala izredno velik delež vseh prodanih avtomobilov po svetu. Slika 8 prikazuje dva trenutno robna scenarija adopcije električnih vozil, ki ju lahko sprejmemo kot oceno območij, znotraj katerih se bodo gibale realne številke (trenutni in prepoved vozil z motorji z notranjim zgorevanjem). Iz strukture vseh prevoženih kilometrov na električni pogon lahko sklepamo, da bo v letu 2040 vsaj še 28% kilometrov prevoženih z vozili s konvencionalnim MNI pogonom, večji del katerih bodo po naši oceni PHEV, zagotovo pa bo vsaj 35 % prevoženih kilometrov z električno energijo brez emisij.



Slika 8: Delež EV med letno prodanimi avtomobili v svetu (levo) in število prevoženih kilometrov z avtomobili na električni pogon v obeh scenarijih desno).

Identifikacija dejavnikov in vpliv na Slovenijo:

- Strošek vozila
- Stroški energentov in izpustov CO₂
- Splošno povečanje prebivalstva in zmerno (trendno) povečanje učinkovitosti
- Urbanizacija in zmanjšanje potrebe po osebnih vozilih zaradi povečanja deleža javnega transporta ter novih oblik urbane mobilnosti
- Stopnja motorizacije

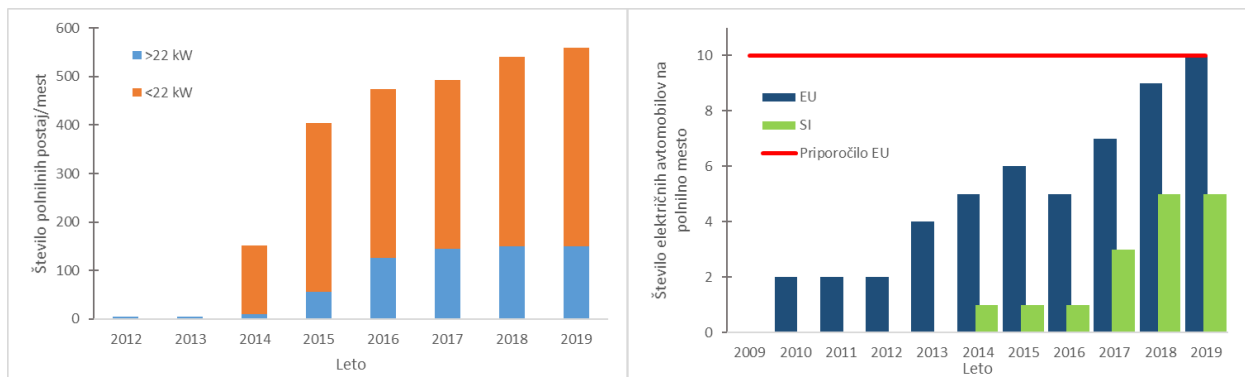
5 Alternativna goriva v prometu

5.1 Električna polnilna infrastruktura

Pri pregledu stanja infrastrukture za električna vozila se je za večjo težavo izkazalo pomanjkanje relevantnih podatkov (npr. prodajne številke, zbrane na evropski ravni pod okriljem Eurostata, so običajno stare leto ali dve). Tudi druge tovrstne evidence na evropski ravni so povečini pomanjkljive, klasifikacija polnilnic pa je prav tako razmeroma neenotna. Podatki za primerjavo so bili zajeti na spletni strani Evropskega observatorija za alternativna goriva [51], ki zbira tudi podatke o infrastrukturi drugih alternativnih goriv, vodik, SZP in UZP. Dodatne podatke smo zajeli tudi v drugih podatkovnih bazah (mpr. ChargeMap [52]). Hkrati pa so podatki o številu električnih vozil in tudi polnilni infrastrukturi osvežujejo mesečno s strani Ministrstva za infrastrukturo.

Vse države primerjave relativno uspešno vzpostavljajo polnilno infrastrukturo za električne avtomobile. Ta je trenutno povsod na takšni ravni, da zmore zadostiti potrebam uporabnikov električnih avtomobilov. Iz primerjave deleža različnih vrst polnilnic je razvidno, da je Slovenija začela relativno hitro vzpostavljati polnilno infrastrukturo, ko potrebe po hitrejšem polnjenju še niso bile izražene, oziroma ko ne polnilnice ne avtomobili še niso bili razviti za tovrstno polnjenje v večjem obsegu. Ob vsem tem trenutno velja, da je Slovenija relativno dobro pokrita s polnilnicami za hitro in ekspresno polnjenje. To potrjuje tudi razmerje med številom priključkov na hitrih in ekspresnih polnilnicah ter baterijskimi električnimi avtomobili. Ob tem se polnilna infrastruktura nenehno dograjuje, kar pomeni, da je Slovenija vsekakor pripravljena na večanje števila električnih vozil, tudi tistih z večjimi kapacitetami baterij, ki bodo na slovenski trg zapeljala v prihodnjih mesecih. Vsekakor pa velja, da se že danes ustvarjajo tako imenovana »ozka grla«. Opaziti je namreč pomanjkanje polnilnic v središču večjih mest, kjer je tudi prodana večina električnih vozil v Sloveniji. Zato je polnilna infrastruktura bolj obremenjena kot drugje v državi.

Slika 9 levo prikazuje število polnilnic za električna vozila v Sloveniji po letih glede na hitrost polnjenja (Level 2: < 22 kW in level 3: > 22 kW) [51]. Slika 9 desno prikazuje število avtomobilov PEV na polnilnico (število vozil/priključek) v Sloveniji in EU [51]. Rdeča črta prikazuje maksimalno priporočeno obremenitev polnilnice, ki znaša 10 električnih vozil na eno polnilno mesto. V EU je to priporočilo že doseženo, v Sloveniji pa še ne, kar pomeni, da je infrastruktura ustrežna.



Slika 9: Število polnilnic za električna vozila glede na hitrost polnjenja (levo) in število vozil PEV na priključek (desno)

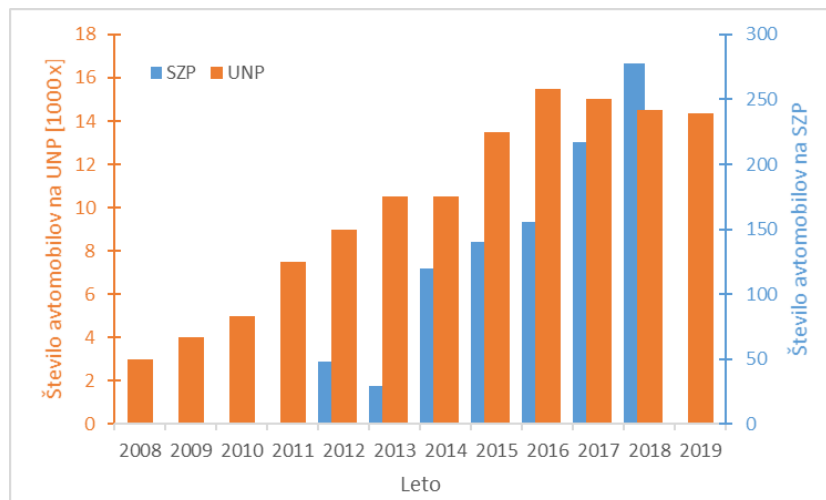
5.2 Stisnjen zemeljski plin

Skladno z Direktivo 2014/94/EU je ena izmed zahtevnejših obvez Slovenije na področju vzpostavljanja infrastrukture za alternativna goriva vzpostavitev omrežja polnilnic za stisnjen zemeljski plin (SZP) v urbanih območjih do 31. decembra 2020. Obveza je toliko zahtevnejša, ker je trenutno v Sloveniji v rabi relativno malo vozil na stisnjen zemeljski plin, temu primerna pa je slaba tudi ponudba polnilnic. V Sloveniji danes obratujejo le tri polnilnice, in sicer v Ljubljani, v Mariboru in na Jesenicah. Z vzpostavitvijo ustreznega števila javno dostopnih oskrbovalnih mest za SZP v strnjjenih mestnih/primestnih naseljih in na drugih gosto poseljenih območjih do 31. decembra 2020 se pričakuje tudi obsežnejša uporaba tega alternativnega goriva v javnem potniškem prometu in v vozilih komunalnih in drugih mestnih služb.

SZP je na enoto energije cenejši od konkurenčnih energentov, kar uporabnikom omogoča doseganje prihrankov pri uporabi avtomobilov, avtobusov in gospodarskih vozil. A poleg vozil javnega potniškega prometa (JPP) in posameznih vozil komunalne dejavnosti ter drugih mestnih služb v MO Ljubljana, v Sloveniji pravzaprav ni vozil na stisnjen zemeljski plin.

Cena avtobusov in ostalih težkih gospodarskih vozil na SZP je danes v primerjavi z vozili na dizelsko gorivo višja za približno 15 %. Strošek predelave osebnega dizelskega vozila na »dvogorivni« sistem (kombinacija SZP in dizel goriva) stane približno 2500 evrov, strošek tovrstne predelave težkih tovornih vozil in avtobusov pa znaša približno 10.000 evrov. V številnih evropskih in drugih državah uporaba SZP v prometu zaradi cenovnih, okoljskih in tehničnih prednosti močno narašča. V Nemčiji je trenutno več kot 900 polnilnih postaj, napovedujejo pa še znatno rast števila vozil na stisnjen zemeljski plin, saj naj bi bilo do leta 2020 na nemških cestah že več kot 1,4 milijona vozil na stisnjen zemeljski plin [54].

Število avtomobilov na plin popisuje EAFO [51], ki popisuje. Slika 10 prikazuje število registriranih osebnih avtomobilov na UNP in SZP v Sloveniji po letih, pri čemer je avtomobilov na SZP precej manj (desna skala).



Slika 10: Število avtomobilov na UNP in SZP v Sloveniji po letih [51]

Ključne prednosti uporabe stisnjene zemeljskega plina v prometu so: do več kot 50 % nižja cena goriva (v primerjavi z drugimi pogonskimi gorivi), nizki stroški vzdrževanja in dolga življenjska doba motorja. V primerjavi z dizelskim gorivom, pred standardom sestave izpušnih plinov EEV in Euro 6, imajo vozila na stisnen zemeljski plin posebej omejen izpust onesnaževal ozračja s skoraj ničelnim izpustom prašnih delcev in z do 95 % nižjim izpustom dušikovih oksidov (v primerjavi z nekaj let starimi in starejšimi dizelskimi vozili) ter z do 25 % nižjim izpustom CO₂ (v primerjavi z vozili na bencin). Ob tem je SZP uporaben za osebna, tovarna in vozila javnega potniškega prometa.

5.3 Utekočinjen zemeljski plin

Skladno z določili direktive 2014/94 [55] bo potrebno v Republiki Sloveniji vzpostaviti jedno omrežje oskrbovalnih mest tudi za utekočinjen zemeljski plin v morskih pristaniščih in pristaniščih na celinskih vodah, in sicer najpozneje do konca leta 2025 oziroma do leta 2030. Oskrbovalna mesta za UZP med drugim vključujejo terminale za UZP, tanke, mobilne rezervoarje, plovila z rezervoarjem in barže. Glede na opravljeno študijo Luke Koper v sklopu programa TNT kot tudi v kratkoročnih in dolgoročnih planih taka naložba trenutno ni predvidena. Ob tem je potrebno izpostaviti, da je za tovornjake v mednarodnem cestnem prometu UZP trenutno edina realna alternativa dizelskemu gorivu. UZP omogoča doseganje tako indikativnih ciljev OP TGP kot ciljev, povezanih z zmanjšanjem izpustov onesnažil zraka iz prometa. Serijsko izdelani tovornjaki na UZP so trenutno približno 30.000 evrov dražji od tovornjakov na klasičen dizelski pogon. Predelava motorja na dvogorivni sistem stane približno 10.000 evrov.

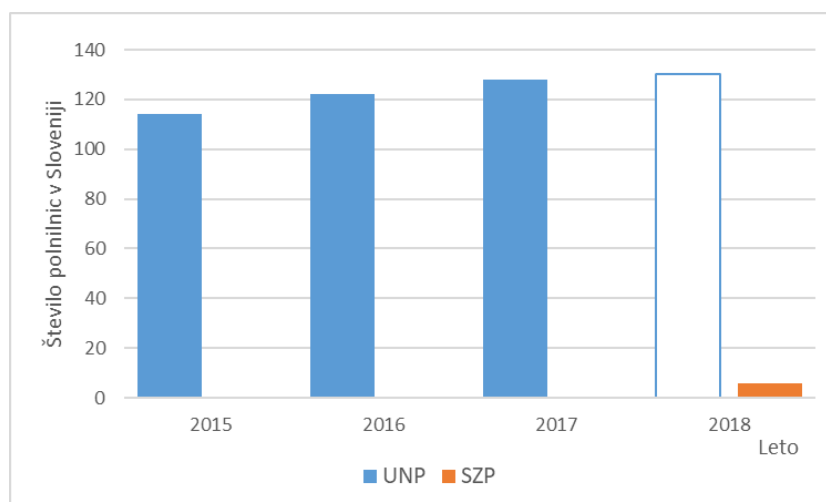
Trenutno se kot večja težava pri vzpostavitvi infrastrukture za oskrbo ladij z UZP v Luki Koper kaže umestitev polnilnice, pripadajoče infrastrukture in infrastrukture za oskrbo z energentom v prostor. Tako v omenjenem dokumentu piše, da sodi območje Luke Koper z vidika umeščanja objektov v prostor v območje DPN Luke Koper. Zato se bo umeščanje objektov in infrastrukture za UZP znotraj tega območja presojalo po merilih, ki jih predpisujeta DPN in pripadajoča zakonodaja, UZP kot gorivo pa v trenutno veljavnem DPN ni omenjen.

5.4 Utekočinjen naftni plin

Avtoplin je širše uporabljeno ime za utekočinjen naftni plin (UNP), mešanico butana in propana, prilagojeno za uporabo v vozilih. Ključno prednost avtoplina v primerjavi s klasičnimi gorivi predstavlja bistveno znižanje emisij, in sicer za 25 % manj CO₂, do 75 % manj NO_x, medtem ko trdnih delcev pri njegovem zgorevanju skoraj ni.

Slovenija sodi med države, v katerih je polnilna infrastruktura za UNP dobro razvita in sorazmerno zadovoljivo pokriva celotno cestno omrežje. Slovenija namreč prav zaradi vzpostavljene infrastrukture za UNP s tem alternativnim energentom doseže marsikateri kratkoročni in tudi srednjeročni cilj zmanjševanja ogljičnega odtisa prometa ob sočasnem večanju energetske učinkovitosti in zmanjševanju obremenitve okolja z onesnažili iz prometa. To še posebej velja za obdobje, v katerem se bo šele vzpostavljala polnilna infrastruktura za ostale alternativne energente. Zaradi ugodne ekonomike in zelo učinkovitih okoljskih lastnosti UNP danes predstavlja edino realno dosegljivo alternativo klasičnim naftnim gorivom. Z uporabo pogona na avtoplin se stroški, ki se porabijo za nakup goriva, skoraj prepolvijo, cene vozil pa so povsem primerljive s cenami klasičnih izvedb pogonskih agregatov. Tudi naknadna vgradnja sistema za uporabo UNP je dokaj enostavna in cenovno relativno ugodna. Kljub temu, da predstavlja dodaten strošek, se uporabniku povrne relativno hitro, odvisno od obsega prevoženih kilometrov. Zato se vedno več uporabnikov, tako pri nas kot tudi drugod v Evropi, odloča za predelavo svojih vozil za pogon na UNP. V Sloveniji, kjer doslej ni bilo posebnih državnih spodbud, delež vozil na avtoplin rahlo presega 1 %.

Uporabnikom je UNP na voljo na več kot 100 lokacijah v Sloveniji, tako na avtocestnem križu kot tudi v mestih in na podeželju. Danes ni večjega kraja v Sloveniji brez prodajnega mesta za UNP. Zaradi stalne rasti števila uporabnikov vozil na UNP se nenehno povečuje tudi število prodajnih mest. **Error! Reference source not found.** Slika 11 prikazuje trend naraščanja števila polnilnic v Sloveniji za vozila na UNP in SZP [51].



Slika 11: Števila polnilnic za vozila na UNP in SZP [51]

Podatki o številu in deležu prodaje je povzeto po poročilu Združenja evropskih avtomobilskih proizvajalcev ACEA (European Automobile Manufacturers Association), ki dokaj realno in na kvartalni ravni podaja podatke o prodaji vozil na alternativni pogon. Žal so podatki za UNP in SZP združeni, vendar je vseeno mogoče trditi, da večino teh vozil predstavljajo vozila na avtoplin.

5.5 Vodik

Uporaba vodika in gorivnih celic v transportu je le del novega energetskega koncepta, ki bo združil do sedaj ločena sektorja energetike in prometa v povsem novo celoto. S tega vidika so vozila z gorivnimi celicami na vodik povsem primerljiva z baterijskimi električnimi vozili in bodo igrala ključno vlogo pri razogljičenju prometa. Trenutno se razvoju in proizvodnji vozil na vodik resneje posvečajo le Hyundai, Toyota in Honda, delno tudi Daimler in BMW. Prav evropski proizvajalci so na osnovi novih trendov in zahtev po čistejših tehnologijah v zadnjem času začeli intenzivneje oživljati aktivnosti razvoja vozil na vodik. Razvoj in ponudba vozil na vodik sta ključna za nadaljnji razvoj polnilnic ter seveda tudi za ponudbo vodika kot pogonskega energenta. V Sloveniji je bila leta 2014 postavljena prva javna polnilnica za vodik na bencinskem servisu v Lescah [56]. Polnilnica je bila postavljena v okviru pilotskega projekta, s katerim naj bi v Sloveniji postavili dve 300–350-barski polnilnici, a zaradi pomanjkanja vozil ne deluje niti prva.

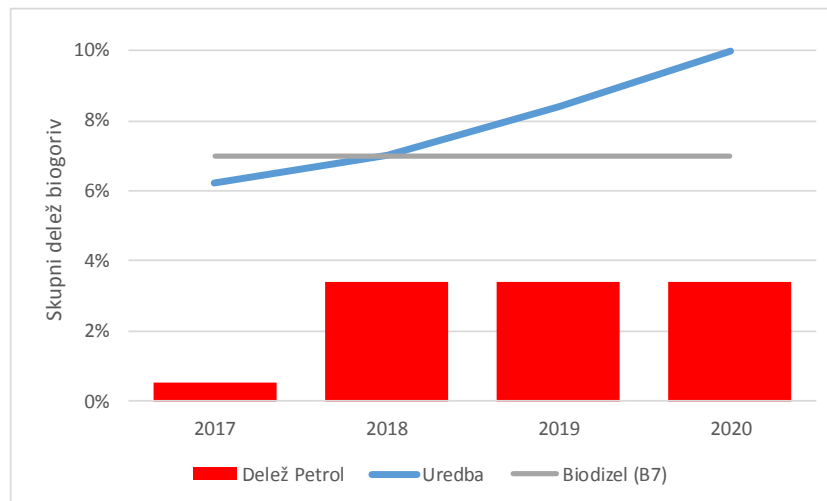
5.6 Biogoriva

Uvajanje biogoriv in cilji na tem področju v Sloveniji zaostajajo za referenčnimi vrednostmi iz Direktive EU o spodbujanju rabe biogoriv in drugih obnovljivih virov [57] v prometu [58]. Do tega prihaja zaradi omejenih možnosti proizvodnje biogoriv, ki izhajajo iz nesorazmerij med cenami mineralnih goriv in biogoriv ter obremenitvami biogoriv, primešanih fosilnim gorivom, s trošarino, kar povzroča nestimulativne tržne razmere, ki ne spodbujajo potrošnikov/končnih uporabnikov k uporabi biogoriv.

V skladu z Direktivo 2009/28/EC o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, je treba do leta 2020 zagotoviti 10 % delež energije iz obnovljivih virov v vseh vrstah prometa. Ob tem Direktiva določa, da je treba vključiti le biogoriva in tekoča biogoriva, ki izpolnjujejo trajnostna merila. Direktiva EU 2003/30/ES je v Slovenijo prinesla pomembne spremembe na področju alternativnih goriv, saj so bile na njeni osnovi sprejete zakonodajna podlaga in finančne spodbude kot osnova izvajanje ukrepov za spodbujanje rabe biogoriv. Zakon o trošarinah (Ur. l. RS, št. 02/07) je določal vrsto biogoriv, ki so bila prav tako izključena iz sistema trošarinskega nadzora in plačila trošarinskih dajatev, in sicer če so bila uporabljena kot pogonska goriva v čisti obliki. Če pa se je biogorivo mešalo s fosilnimi gorivi, je bilo mogoče uveljavljati zgolj do 5% oprostitev plačila trošarine (do ukinitve olajšave maja 2014). Zaradi nestimulativnega tržnega okolja in reguliranega trga naftnih derivatov distributerji svojih obveznosti niso mogli več izpolnjevati, s tem pa se je delež biogoriv v prometu zmanjšal glede na predhodna leta.

V letu 2016 je Vlada RS sprejela novo uredbo, imenovano Uredba o obnovljivih virih energije v prometu, ki na novo določa tudi rabo biogoriv in zamenjuje obstoječo Uredbo o biogorivih. Ta

temelji na novih osnovah, oziroma je usklajena z Direktivo 2009/28/ES in na njeni osnovi sprejetim Akcijskim načrtom za obnovljive vire energije (AN OVE) do leta 2020. Akcijski načrt določa deleže biogoriv po posameznih letih, ki znašajo: leta 2017 6,2 %, leta 2018 7,0 %, leta 2019 8,4 % in leta 2020 10,0 %. Slika 12 prikazuje predviden delež biogoriv, označena sta tudi predpis iz Uredbe in meja 7 % za biodizel (B7).



Slika 12: Delež biogoriv med vsemi gorivi

Precejšen del ovir je ekonomske narave (visoka cena biogoriv), kar verjetno pomeni, da bi bilo za doseganje višjih deležev biogoriv potrebno poiskati ustreznejšo davčno politiko.

6 Pametna omrežja

Prevladujoči elektroenergetski sistemi še vedno temeljijo na centralizirani proizvodnji električne energije v velikih elektrarnah, ki prek prenosnega in distribucijskega sistema pripotuje do končnih potrošnikov. Vendar pa nove smernice jasno kažejo, da je integracija manjših in porazdeljenih enot za proizvodnjo električne energije velik razvojni izziv, ki bo imela zelo veliko vlogo pri prihodnjem delovanju celotnega energetskega sektorja [59], [60].

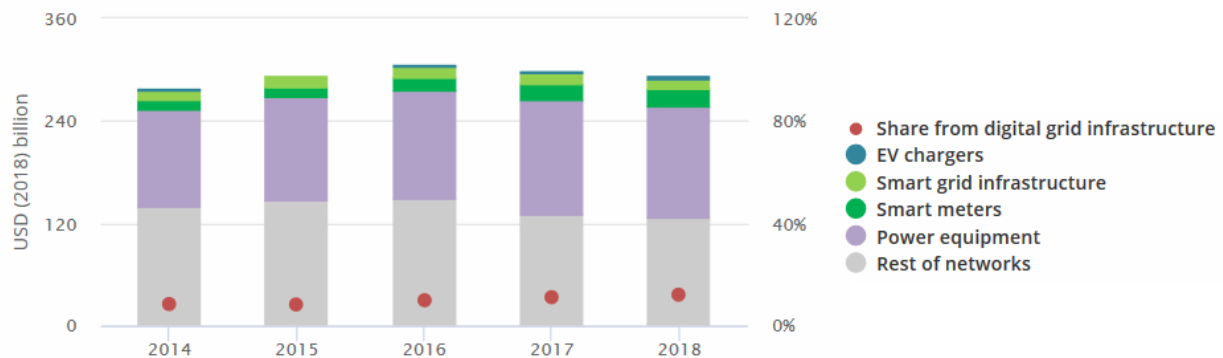
Leta 2006 je Evropska tehnološka platforma trajnostnih energetskega sistemov predstavila koncept električnega omrežja prihodnosti imenovano napredno oziroma pametno omrežje (ang. Smart Grid) [61]. Po tem konceptu bi napredno omrežje moralo biti sposobno vključiti regulacijo za vse udeležence na trgu, od velikih in malih proizvajalcev, prek porazdeljenih proizvajalcev, do najmanjših uporabnikov, ki bi lahko hkrati bili proizvajalci. Pri tem bi moralo ohraniti stabilnost in zanesljivost sistema in kar se da učinkovito vsem uporabnikom omogočiti robustno oskrbo z energijo. Podobno opredelitev je sprejela Skupina evropskih regulatorjev za električno energijo in plin [62]. Koncept naprednega omrežja obsega zbirko tehnoloških rešitev, ki uporabljajo velike količine dostopnih podatkov za zagotavljanje učinkovitejših povezovanj malih in razpršenih proizvajalcev električne energije v celovit energetskega sistem.

Poleg želje po povečanju gospodarske učinkovitosti in stabilnosti elektroenergetskega sistema je dodatna spodbuda za razvoj naprednih omrežij predvsem povečevanje deleža razpršene proizvodnje električne energije in znižanje nivoja napetosti, na katero se navezujejo novi proizvajalci. Obstoječi evropski elektroenergetski sistem bi lahko po ocenah brez večjih sprememb sprejeli le 30% novih porazdeljenih proizvajalcev električne energije, kar lahko pomeni ogrožanje dolgoročnih okoljevarstvenih ciljev. Proizvodnja električne energije iz spremenljivih obnovljivih virov v obstoječem elektroenergetskem sistemu pomeni motnjo in zahteva prilagodljivost, ki je sestavni del koncepta naprednih omrežij. Hkrati pa je treba opozoriti na pozitivni razvoj dogodkov glede novih rešitev na področju informacijskih tehnologij, ki omogočajo agregirano zbiranje podatkov, povečanje uporabe koncepta virtualnih elektrarn in drugih podobnih poslovnih modelov [63].

Napredni števeci ali drugačni inteligentni merilni sistemi, ki se jih pospešeno vgrajuje v domove končnih uporabnikov, bodo v naprednih omrežjih dodatni vir informacij s katerimi bi lahko nadalje spodbudili prihranke energije. Upoštevač pomen električne energije v sodobni družbi in prisotnosti naprednih števecv električne energije pri večini končnih uporabnikov, lahko napredni merilni sistemi odpira dodatne poslovne možnosti elektrodistribucijskih podjetij, ki z ustrezno podporo telekomunikacijskih operaterjev, lahko prevzame vlogo zbiralca podatkov meritev porabe vseh energentov in vode. Tako so lahko napredni števeci električne energije vhodni in povezovalni člen za vse ostale števecce, ki se uporabljajo na lokaciji merjenja. Uporaba pametnih števecv za električno energijo spodbuja tudi Direktiva ES 2009/72 z dne 13. julija 2009 o skupnih pravilih za notranji trg z električno energijo. Direktiva zahteva, da države članice zagotovijo pogoje za namestitvev inteligentnih merilnih sistemov, ki prispevajo k dejavni udeležbi potrošnikov na trgu, pri čemer je uvedba pametnih števecv za elektriko velja stroškovno

učinkovit ukrep pri čemer je treba do leta 2020 vsaj 80% potrošnikov opremiti s pametnimi merilnimi sistemi [86].

Program razvoja pametnih omrežij v Sloveniji [64] navaja, da bo do leta 2020 potrebno investirati 320 milijonov €, pri čemer bi 90% stroškov namenjenih investicijam pripadlo izvedbi naprednega merjenja. Glede na dogajanje se je ocena izkazala za očno pretirano. Na drugi strani IEA nadzira investicije v pametna omrežja. Slika 13 prikazuje trend v letih 2014-2018 [65].



Slika 13: Investicije v pametna omrežja glede na tehnologijo

Pri tem prevladujejo investicije v klasično opremo in ostale dele omrežja. Na pametna omrežja vezanih investicij je nekje okoli 25-40 milijard € letno, kar potrjuje počasnost prehoda. Tako je verjetno smiselno ceno pametnega omrežja videti kot delež vzdrževanja/širjenja celotnega omrežja. Glede na podatke [65] to znaša nekje 10-15 % vlaganja v omrežje.

Agencija za energijo Republike Slovenije je leta 2011 objavila prve smernice za uvedbo naprednih meritev v Sloveniji. Pomen in vloga naprednega omrežja so bile objavljene tudi v drugih strateških dokumentih Republike Slovenije, npr. Akcijski načrt za obnovljive vire energije [66] in Akcijski načrt za energetska učinkovitost [67]. Agencija za energijo pričakuje, da bo do leta 2020 izpolnjen prvi cilj prej navedene direktive – 80% končnih uporabnikov opremiti z naprednimi števci porabe električne energije.

S stališča razvoja novih poslovnih modelov v okolju pametnih energetskih omrežij, so glavne značilnosti pametnih omrežij sledeče: združuje informacijske in komunikacijske tehnologije v obstoječe električno omrežje, da se omogoči dvosmerni pretok informacij in elektrike med proizvajalci in odjemalci. Te tehnologije se štejejo kot osnova za ponudbo pametnih energetskih storitev. Vključevanje obnovljivih virov energije (OVE) v pametna omrežja je sestavljeno iz dveh kategorij storitev. Prva kategorija se nanaša na dejansko povezavo in dostop obnovljivih virov energije v omrežje. Druga kategorija pa se nanaša na storitve, ki omogočajo energetskim družbam in sistemskim operaterjem, da se lažje spopadajo s sporadičnostjo obnovljivih virov energije in s tem povečajo količino energije proizvedene iz obnovljivih virov integriranih v energetski sistem.

Pri teh storitvah dobavitelji energije ali sistemski operaterji pošiljajo odjemalcem signale za prilagoditev njihovih bremen (prilagajanje porabe električne energije). Pripravljenost odjemalca,

da prilagodi porabo, omogoča dobavitelju energije ali sistemskemu operaterju zmanjšanje konične obremenitve za zagotavljanje zanesljivosti oskrbe in zanesljivosti sistema [69]. V praksi lahko te storitve temeljijo na cenah energije ali pa na spodbudah.

7 Potencial za energijsko učinkovitost s snovno učinkovitostjo

Krožno gospodarstvo je v Sloveniji umeščeno med strateške razvojne prioritete. Povezujemo ga s cilji trajnostnega razvoja (SDG) in upoštevamo v ključnih nacionalnih dokumentih kot sta Vizija Slovenije 2050 [70] in Strategija razvoja Slovenije 2030 [71] ter v Strategiji pametne specializacije [72].

V Strategiji razvoja Slovenije 2030 [71] je izpostavljenih več področnih ciljev preko katerih bi naj izboljšali kakovost življenja. Strateške usmeritve države za doseganje kakovostnega življenja, podane v strategiji so:

- vključujoča, zdrava, varna in odgovorna družba;
- učenje za in skozi vse življenje;
- visoko produktivno gospodarstvo, ki ustvarja dodano vrednost za vse;
- ohranjeno zdravo naravno okolje;
- visoka stopnja sodelovanja, usposobljenosti in učinkovitosti upravljanja.

Cilj strategije [71] je tudi prehod v nizkoogljično gospodarstvo, ki se prepleta z naslednjimi usmeritvami: vključujoča, zdrava, varna in odgovorna družba, učenje za in skozi vse življenje, visoko produktivno gospodarstvo in ohranjeno zdravo naravno okolje (Tabela 7).

Tabela 7: Kazalniki za spremljanje cilja nizkoogljično gospodarstvo

Kazalnik	vir	Izhodiščna vrednost	Ciljna vrednost za leto 2030	Povprečje EU
Snovna produktivnost	Eurostat	1,79 SKM/kg (2015)	3,5 SKM/kg	2,19 SKM/kg (2015)
Delež obnovljivih virov v končni rabi energije	Eurostat	22 % (2015)	27 %	16.7 % (2015)
Emisijska produktivnost (BDP/izpusti toplogrednih plinov)	Eurostat, ARSO	2,9 SKM/kg CO ₂ ustreznik (2015)	Povprečje EU v letu 2030	3,3 SKM/kg CO ₂ ustreznik (2015)

Za nizkoogljično krožno gospodarstvo Strategija razvoja Slovenije 2030 [71] navaja, da sta učinkovita raba surovin in energije soodvisni, saj lahko strategije za dvig snovne učinkovitosti prispevajo k zmanjšanju porabe energije vsaj toliko kot ukrepi energetske učinkovitosti. Zanesljiva, trajnostna in konkurenčna oskrba z energijo je ključnega pomena za razvoj, pri

čemer je dajanje prednosti učinkoviti rabi (URE) in obnovljivim virom energije (OVE) eno od temeljnih načel razvoja energetike. Prednostno povečevanje URE in obenem porabe OVE bo omogočalo zmanjševanje izpustov toplogrednih plinov (TGP).

Ključne usmeritve za doseg cilja [71]:

- Okrepiti povezavo med razvojem gospodarstva in ukrepi za zmanjšanje rabe virov ter izpustov TGP
- Spodbujati inovacije, uporabo oblikovanja in IKT za razvoj novih poslovnih modelov in produktov za učinkovito rabo surovin, energije ter prilagajanje na podnebne spremembe.
- Ob spodbujanju URE in rabe OVE nadomestiti fosilna goriva v vseh segmentih rabe energije, ob usklajevanju interesov na presečnih področjih: voda – hrana – energija – ekosistemi.
- Zagotavljati, da infrastruktura in raba energije v prometu podpirata prehod v nizkoogljeno krožno gospodarstvo ter omogočata trajnostno mobilnost, tudi s pomočjo uvajanja novih konceptov mobilnosti.
- Uporabiti prostorsko načrtovanje za oblikovanje vozlišč nizkoogljivega krožnega gospodarstva in razvojnih rešitev na regionalni in lokalni ravni.

Aprila 2018 je Vlada Republike Slovenije predstavila Kažipot prehoda v krožno gospodarstvo Slovenije [73]. Za načrtovanje modelov v okviru projekta LIFE ClimatePath 2050 sta še posebno relevantni področji predelovalnih dejavnosti in mobilnosti.

Predelovalna industrija je eden glavnih in najbolj izvozno naravnanih sektorjev v državi, obenem pa močno odvisna od uvoza in eden glavnih porabnikov materialov, vode in energije ter eden največjih proizvajalcev odpadnih snovi. Ključni akterji so industrijska podjetja, ki surovine predelujejo v izdelke ter polizdelke, in podjetja, ki delujejo znotraj njihovih oskrbnih verig. Potenciali projekta so prehajanje od produktov do storitev, od potrošnikov do uporabnikov, od posedovanja do souporabe. Izpostavljene priložnosti so v eko dizajnu, industrijska simbioza, uporaba sekundarnih virov, prehod na OVE, inovativni materiali, omejevanje uporabe redkih materialov, transparentnost v oskrbovalnih verigah, zmanjševanje uporabe plastike ter zmanjševanje uporabe nevarnih kemikalij.

Mobilnost je prav tako ena od bistvenih družbenih funkcij in področje, ki je zaradi specifičnosti Slovenije (razpršene poselitve) eden ključnih izzivov za prehod v krožno gospodarstvo. Slovenija kot tranzitna država je soočena tudi z izzivi reševanja tovornega prometa in pripadajočega razvoja infrastrukture. Področje zajema vse sisteme, ki so povezani s premikanjem ljudi in tovora, različni načini transporta, od javnih do zasebnih, infrastruktura, navade, povezane z mobilnostjo, itd. Zaradi geografske lege in obvladljive velikosti lahko Slovenija postane referenčni laboratorij zelene mobilnosti in vodilna država v demonstraciji in prenosu tehnologij zelene mobilnosti na mednarodne trge. Poleg močne zastopanosti izvoznih podjetij, imamo močan inovacijski potencial na področju razvoja električnih vozil in podporne infrastrukture kot tudi že uveljavljene modele delitvene ekonomije v mobilnosti. Izpostavljene priložnosti so eko mobilnost, elektrifikacija prometa, souporaba električnih vozil, bio-plin kot

alternativno gorivo (tudi za tovorni promet), druga alternativna goriva, javni prevoz, povezovanje mest in podeželja, deljenje prevozov («car sharing»), spodbujanje kolesarjenja ipd.

8 Nove tehnologije v kmetijstvu

Predstavljene so tehnologije za zmanjšanje emisij metana in didušikovega oksida v kmetijstvu, ki so še v fazi preizkušanja, torej relativno nove ali pa jih v slovenskem kmetijstvu zaradi specifičnih naravnih in socio-ekonomskih razmer še ne uporabljamo. Te tehnologije bi lahko v prihodnosti pomembno zmanjšale emisije toplogrednih plinov. Pri pregledu smo upoštevali strukturo emisij, pri čemer je poudarek na tehnologijah, ki bi lahko zmanjšale emisije najpomembnejših kmetijskih virov.

8.1 Tehnologije za zmanjšanje emisij metana iz prebavil rejnih živali

V Sloveniji prispevajo emisije metana iz prebavil rejnih živali 53,7 % vseh emisij toplogrednih plinov v kmetijstvu, od tega približno 90 % emisije iz prebavil goved. Emisije je mogoče zmanjšati:

- Povečanje učinkovitosti reje (hitrejša rast, večja mlečnost, večja nesnost), pri čemer je to mogoče izvesti s selekcijo (genetiko) in z optimalno oskrbo živali.
- Izboljšanjem zdravja živali (preventivni in kurativni ukrepe, s katerimi je mogoče izboljšati proizvodne parametre in zmanjšati pogine).
- Usmerjanjem fermentacije v prebavilih v smeri manjšega sproščanja metana (Pri prežvekovalcih lahko zmanjšanje emisij dosežemo z zaviranjem delovanja metanogenih arhej ipd).
- Neposredna selekcija rejnih živali na manjše izpuste metana (živali s podobnimi rezultati reje se med seboj razlikujejo v emisijah metana, pri čemer je ta lastnost dedna).

8.2 Tehnologije za zmanjšanje emisij metana iz skladišč živinskih gnojil

V Sloveniji prispevajo emisije metana iz skladišč živinskih gnojil 14,6 % vseh emisij toplogrednih plinov v kmetijstvu, pri čemer prednjačijo govedorejske kmetije. Na emisije metana vplivajo načini skladiščenja živinskih gnojil. Izpuste metana iz skladišč živinskih gnojil je mogoče zmanjšati z zajemom bioplina (anaerobni digestorji; bioplin zajamemo in uporabimo v energetske namene) ali pa s povečanjem obsega pašne reje živali (zaradi aerobnih razmer pri izločkih rejnih živali je količina sproščenega metana na paši majhna).

8.3 Tehnologije za zmanjšanje emisij didušikovega oksida iz skladišč živinskih gnojil

V Sloveniji prispevajo emisije didušikovega oksida iz skladišč živinskih gnojil 4,1 % vseh emisij toplogrednih plinov v kmetijstvu. Skladiščenje živinskih gnojil prispeva tudi k posrednim izpustom didušikovega oksida, ki so posledica uhajanja dušikovih spojin v zrak in njihovega odlaganja v okolje (2,0 % od vseh emisij toplogrednih plinov v kmetijstvu). Največ didušikovega oksida se sprosti na govedorejskih kmetijah. Možnosti za zmanjšanje emisij so omejene, saj so za načine skladiščenja z manjšimi emisijami didušikovega oksida značilne večje emisije metana

(npr. gnojevka proti hlevski gnoj). Izjema je anaerobna digestija, ki vodi v zmanjšanje emisij obeh plinov.

8.4 Tehnologije za zmanjšanje emisij didušikovega oksida, ki se sprosti zaradi gnojenja kmetijskih rastlin

V Sloveniji prispevajo emisije didušikovega oksida sproščene zaradi gnojenja kmetijskih rastlin 13,9 % vseh emisij toplogrednih plinov v kmetijstvu. Poleg tega prispeva gnojenje kmetijskih rastlin še znaten del posrednih emisij didušikovega oksida, ki so posledica uhajanja dušikovih spojin v zrak in izpiranja nitratov v vode. Tovrstne emisije je mogoče zmanjšati predvsem s povečanjem učinkovitosti kroženja dušika v kmetijstvu, na voljo in v razvoju pa so tudi nekatere specifične tehnologije:

- Z izboljšanjem izkoriščanja dušika je mogoče zmanjšati količino dušika v gnojilih, s tem pa se zmanjšajo emisije didušikovega oksida pa tudi emisije drugih dušikovih plinov v zrak in nitratov v vode. Učinkovitost kroženja dušika v kmetijstvu je mogoče izboljšati z naslednjimi tehnologijami: precizno krmljenje rejnih živali, tehnologije za zmanjšanje izpustov dušikovih spojin v zrak iz hlevov, skladišč živinskih gnojil in pri gnojenju z živinskimi gnojili, precizno gnojenje kmetijskih rastlin in ozelenitve njiv.
- Povečanje obsega gojenja metuljnic, ki so sposobne v sožitju z bakterijami iz rodu *Rhizobium* vezati dušik iz zraka. S tem se zmanjšajo potrebe po dušiku iz mineralnih gnojil in posledično tudi emisije didušikovega oksida.
- Inhibitorji nitrifikacije so snovi, ki upočasnijo pretvorbo amonijaka v nitrite in nitrate (nitrifikacija). S tem se zmanjša tudi obseg nadaljnje pretvorbe nitratov v molekularno obliko dušika (denitrifikacija).

9 Seznami

9.1 Reference

- [1] "DOE Global Energy Storage Database." [Online]. Available: <https://www.energystorageexchange.org/projects>. [Accessed: 06-Mar-2018].
- [2] A. A. Akhil *et al.*, "Electricity storage handbook in collaboration with NRECA," *Report SAND2013-5131*, Sandia National Laboratories, Feb. 2015.
- [3] Gardner, Paul; Sharp, Graeme; Ramirez, Pedro, "The Benefits of Pumped Storage Hydro to the UK," DNV KEMA Ltd, London, SCOTTISH RENEWABLES_PSH_OPE_SEA_01, 2016.
- [4] EASE-EERA, "Joint EASE-EERA Recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap Towards 2030 - update," Jan. 2017.
- [5] IRENA, "Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030," 2017.
- [6] de Bucy, J. et al, "Non-individual transport – Paving the way for renewable power-to-gas (RE-P2G): Sector Analysis and Policy Recommendation," ENEA Consulting and Fraunhofer IWES, IEA Technology Collaboration Programme for Renewable Energy Technology Deployment, Utrecht, 2016.
- [7] IRENA, "Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition," International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ISBN 978-92-9260-077-8, Sep. 2018.
- [8] M. Bailera, P. Lisbona, L. M. Romeo, and S. Espatolero, "Power to Gas projects review: Lab, pilot and demo plants for storing renewable energy and CO₂," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 292–312, Mar. 2017.
- [9] G. Gahleitner, "Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 38, no. 5, pp. 2039–2061, Feb. 2013.
- [10] T. Schaaf, J. Grünig, M. R. Schuster, T. Rothenfluh, and A. Orth, "Methanation of CO₂ - storage of renewable energy in a gas distribution system," *Energ Sustain Soc*, vol. 4, no. 1, p. 2, Dec. 2014.
- [11] Benjaminsson, Gunnar; Benjaminsson, Johan; Boogh Rudberg, Robert, "Power-to-Gas – A technical review," Svenskt Gastekniskt Center AB, Malmö, SGC Rapport 2013:284, 2013.
- [12] K. Ghaib and F.-Z. Ben-Fares, "Power-to-Methane: A state-of-the-art review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 433–446, Jan. 2018.
- [13] M. Götz *et al.*, "Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review," *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 1371–1390, Jan. 2016.
- [14] "IRENA-ETSAP-Tech-Brief-E17-Thermal-Energy-Storage.pdf," Brief Report, Jan. 2013.
- [15] M. Kovač, A. Urbančič, and D. Staničič, "Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050," Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia, LIFE ClimatePath2050 (LIFE16 GIC/SI/000043), Jun. 2018.
- [16] K. Brecl, "Pregled fotovoltaičnega trga v Sloveniji: Poročilo za leto 2017," PV Portal, Ljubljana, 2018.
- [17] M. Baier, V. Bhavaraju, W. Murch, and S. Teleke, "Making Microgrids Work - Practical and technical considerations to advance power resiliency," Eaton, Cleveland, USA, WP027009EN, Jul. 2017.
- [18] P. Komarnicki, P. Lombardi, and Z. Styczyński, *Electric Energy Storage Systems: Flexibility Options for Smart Grids*. Berlin: Springer-Verlag, 2017.

- [19] A. Sani Hassan, L. Cipcigan, and N. Jenkins, "Optimal battery storage operation for PV systems with tariff incentives," *Applied Energy*, vol. 203, pp. 422–441, Oct. 2017.
- [20] G. Merei, J. Moshövel, D. Magnor, and D. U. Sauer, "Optimization of self-consumption and techno-economic analysis of PV-battery systems in commercial applications," *Applied Energy*, vol. 168, pp. 171–178, Apr. 2016.
- [21] Kovač, Marko; Stegnar, Gašper; Al-Mansour, Fouad; Pečjak, Andrej; Merše, Stane, "Assessing Solar Potential and Battery Instalment for Self-Sufficient Buildings With Simplified Model," *Energy*, vol. 173, pp. 1182–1195, Apr. 2019.
- [22] "Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030," IRENA International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ISBN 978-92-9260-038-9 (PDF), 2017.
- [23] Kovač, Marko; Stegnar, Gašper; Česen, Matjaž; Merše, Stane, "Assessing Solar Potential and Battery Instalment for Self-Sufficient Buildings With Simplified Model," in *Proceedings of SEEP2018*, Glasgow, Scotland, 2018.
- [24] L. April, "Batteries perform many different functions on the power grid," *Today in Energy*, vol. January 2018, 2018.
- [25] IRENA, "Innovation Outlook: Renewable Mini-Grids," International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ISBN 978-92-95111-44-8 (PDF), 2016.
- [26] "Letting in the Light: How solar PV will revolutionise the electricity system," IRENA, Abu Dhabi, 2016.
- [27] H. Smit, "Nissan V2G project in Germany shows results," *electrive.com*, 29-Jan-2019. .
- [28] G. Garcia-Villalobos, I. Zamora, J. I. San Martín, I. J. Martínez, and P. Eguia, "Delivering Energy from PEV batteries: V2G, V2B and V2H approaches," in *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPEQ'15)*, La Coruna, 2015.
- [29] "Gorivne celice," *VTO, Jure Oblak s.p.*, 2018. .
- [30] *Developed to serve as input to the POTEnCIA model*. POTEnCIA, JRC C.6, 2018.
- [31] D. Staničić, S. Merše, A. Urbančič, M. Pečkaj, J. Čižman, and B. Sučić, "Toplarna Ravne na Koroškem po letu 2017: Predinvesticijska zasnova," Center za energetska učinkovitost, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Predinvesticijska zasnova (PZ), verzija 2.0 IJS-DP-12003, maj 2015.
- [32] *Energetski zakon*. 2014.
- [33] M. Langan and K. O'Toole, "A new technology for cost effective low grade waste heat recovery," *Energy Procedia*, vol. 123, pp. 188–195, Sep. 2017.
- [34] Z. Chuan, A. Romagnoli, J. Y. Kim, A. Athirah Mohd Azli, S. Rajoo, and A. Lindsay, "Implementation of industrial waste heat to power in Southeast Asia: an outlook from the perspective of market potentials, opportunities and success catalysts | Request PDF," *Energy Policy*, vol. 106, Jul. 2017.
- [35] R. Pili, A. Romagnoli, H. Spliethoff, and C. Wieland, "Techno-Economic Analysis of Waste Heat Recovery with ORC from Fluctuating Industrial Sources," *Energy Procedia*, vol. 129, pp. 503–510, Sep. 2017.
- [36] N. Lutsey and M. Nicholas, "Update on electric vehicle costs in the United States through 2030," International Council on Clean Transportation, Working Paper 2019–06, Apr. 2019.
- [37] X. Mosquet, H. Zablit, A. Dinger, G. Xu, M. Andersen, and K. Tominaga, "The Electric Car Tipping Point," The Boston Consulting Group, Jan. 2018.
- [38] M. Erich and J. Witteveen, "Breakthrough of electric vehicle threatens European car industry," ING Economics Department, Jul. 2017.
- [39] "UBS Evidence Lab Electric Car Teardown – Disruption Ahead?," UBS Limited, May 2017.

- [40] "Low-carbon cars in Europe: A socio-economic assessment," Cambridge Econometrics, Final Report, Feb. 2018.
- [41] "Global EV Outlook 2018: Towards cross-modal electrification," OECD/IEA, Paris, France, 2018.
- [42] "Global EV Outlook 2019: Scaling-up the transition to electric mobility," OECD/IEA, Paris, France, 2019.
- [43] "Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050," OECD/IEA, Paris, France, Text, 2010.
- [44] "Automotive Research and Forecast," Euromonitor International and JATO Dynamics, 2015.
- [45] P. Harrop and F. Gonzalez, "Electric Vehicles 2018-2038: Forecasts, Analysis and Opportunities: Forecasts and assessment of 46 vehicle categories including land, water and airborne; hybrid and pure electric," IDTechEx, 2017.
- [46] P. Harrop, "Electric Buses 2018-2038: Forecasts, Technology Roadmap, Company Assessment," IDTechEx, 2018.
- [47] P. Harrop, "Last Mile Electric Vehicles 2018-2028: EVs taking goods or people to their final destination," IDTechEx, 2018.
- [48] OPEC, "World oil outlook," 2017.
- [49] BP, "2018 BP Energy Outlook," 2018.
- [50] Bloomberg Finance Energy, "Electric vehicle outlook 2017," no. July, pp. 1–5, 2017.
- [51] "European Alternative Fuels Observatory," 2018. [Online]. Available: <https://www.eafo.eu/>. [Accessed: 18-Jan-2019].
- [52] "Chargemap - charging stations for electric cars." [Online]. Available: <https://chargemap.com/>. [Accessed: 18-Jan-2019].
- [53] G. Stegnar *et al.*, "Lokalni semafor podnebni aktivnosti," Institut Jožef Stefan, Center za energetska učinkovitost, Ljubljana, Web archive, 2018.
- [54] "Zemeljski plin." [Online]. Available: <https://www.zemeljski-plin.si/>. [Accessed: 23-Jan-2019].
- [55] EC, *Direktiva 2014/94/Eu Evropskega Parlamenta in Sveta o vzpostavitvi infrastrukture za alternativna goriva*, vol. 2014/94/EU. 2014, p. 20.
- [56] P. Pa, "Polnilnica, za katero so dobili evropska sredstva, sameva," 21-Aug-2017. [Online]. Available: <https://www.slovenskenovice.si/novice/slovenija/polnilnica-za-katero-so-dobili-evropska-sredstva-sameva>. [Accessed: 10-Jul-2019].
- [57] EC, *Direktiva 2009/30/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. aprila 2009 o spremembah Direktive 98/70/ES glede specifikacij motornega bencina, dizelskega goriva in plinskega olja ter o uvedbi mehanizma za spremljanje in zmanjševanje emisij toplogrednih plinov ter o spremembi Direktive Sveta 1999/32/ES glede specifikacij goriva, ki ga uporabljajo plovila za plovbo po celinskih plovih poteh, in o razveljavitvi Direktive 93/12/EGS*, vol. 2009/30/ES. 2009, p. 16.
- [58] M. Gaberšček, "Študija o potrebnih dodatnih ukrepih za povečanje deleža vozil na alternativna goriva v Sloveniji in predlog Strategije razvoja na področju alternativnih goriv: Faza 1: Analiza stanja," Konzorcij: Kemijski inštitut et al., 2550-16–311023, Dec. 2016.
- [59] "Technology Roadmap - Smart Grids," International Energy Agency, Paris, 2011.
- [60] "Clean Energy Solutions Center | How 2 Guide for Smart Grids in Distribution Networks," International Energy Agency, Paris, 2015.
- [61] "European Technology Platform SmartGrids - Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future," European Commission, Luxembourg, 2006.

- [62] K. Brekke *et al.*, “European Energy Regulators’ Position on Smart Grids,” in *Proceedings of CIRED Workshop Sustainable Distribution Asset Management & Financing*, Lyon, France, 2010, p. 4.
- [63] “Tracking Clean Energy Progress 2016 – Energy Technology Perspectives 2016 Excerpt IEA Input to the Clean Energy Ministerial,” International Energy Agency, Paris, France, 2016.
- [64] I. in ost. Papič, “Program razvoja pametnih omrežij v Sloveniji,” UL FE, EIMV in SODO, Ljubljana, Maribor, 2012.
- [65] L. Munuera, “Tracking Clean Energy Progress,” *Smart grids*. .
- [66] “Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010 – 2020,” Republika Slovenija, Ministrstvo za infrastrukturo, Ljubljana, Slovenia, 2010.
- [67] “Akcijski načrt za energetska učinkovitost za obdobje 2014-2020 (AN URE 2020),” Republika Slovenija, Ministrstvo za infrastrukturo, Ljubljana, Slovenia, 2015.
- [68] “Projekt NEDO | Eles d.o.o.” [Online]. Available: <https://www.eles.si/projekt-nedo>. [Accessed: 24-Sep-2018].
- [69] L. Lo Schiavo, M. Delfanti, E. Fumagalli, and V. Olivieri, “Changing the regulation for regulating the change: Innovation-driven regulatory developments for smart grids, smart metering and e-mobility in Italy,” *Energy Policy*, vol. 57, pp. 506–517, Jun. 2013.
- [70] “Vizija Slovenije 2050,” Vlada Republike Slovenije, 2018.
- [71] “Strategija razvoja Slovenije 2030 - osnutek.,” Vlada Republike Slovenije, 2017.
- [72] “Slovenska Strategija Pametne Specializacije,” Služba Vlade Republike Slovenije za razvoj in evropsko kohezijsko politiko, 2017.
- [73] “Kažipot prehoda v krožno gospodarstvo Slovenije,” Vlada Republike Slovenije, 2018.
- [74] “SRIP - Krožno gospodarstvo,” 2017.

9.2 Seznam slik

Slika 1: Primerjava življenjske dobe, izkoristka in investicijskih stroškov za različne tipe baterij	14
Slika 2: Ocena stroškov (LCOE) za proizvedeno električno energijo iz vodika prek tehnologije gorivnih celic	22
Slika 3: Predvidena prihodnja poraba kompaktnih avtomobilov (levo) in avtomobilov višjega razreda (desno) glede na izbiro pogona	24
Slika 4: Predvideno število električnih avtomobilov glede na napovedovalca (levo) in napovedi cen avtomobilskih baterij do leta 2030 (desno)	25
Slika 5: Skupni stroški lastništva kot funkcija velikosti baterije (dometa) in cene goriv	25
Slika 6: Predvideno gibanje števila osebnih vozil v svetovnem voznem parku, glede na razvitost držav.	27
Slika 7: Vozni park osebnih vozil 2015 – 2040 (levo) in dinamika porasta tehnologij v letni prodaji vozil do leta 2040 (desno)	28
Slika 8: Delež EV med letno prodanimi avtomobili v svetu (levo) in število prevoženih kilometrov z avtomobili na električni pogon v obeh scenarijih desno)	28
Slika 9: Število polnilnic za električna vozila glede na hitrost polnjenja (levo) in število vozil PEV na priključek (desno)	31
Slika 10: Število avtomobilov na UNP in SZP v Sloveniji po letih [51]	32
Slika 11: Števila polnilnic za vozila na UNP in SZP [51]	33
Slika 12: Delež biogoriv med vsemi gorivi	35
Slika 13: Investicije v pametna omrežja glede na tehnologijo	37

9.3 Seznam tabel

Tabela 1: Izkoristki cikla, življenjske dobe in specifični stroški investicije za hranilnike električne energije	15
Tabela 2: Tehnološko ekonomske lastnosti ALK in PEM elektrolize za leto 2017 in napoved za leto 2025	16
Tabela 3: Tipični parametri sistemov za shranjevanje toplote	18
Tabela 4: Ekonomska izvedljivost sistemov TES kot funkcije števila ciklov skladiščenja letno	18
Tabela 5: Prihodnji trendi in pričakovan razvoj učinkovitosti tehnologije na področju ogrevanja (COP, sCOP, SPF) in hlajenja (EER, SEER) do leta 2030 in 2050	22
Tabela 6: Cena odvečne toplote	23
Tabela 7: Kazalniki za spremljanje cilja nizkoogljično gospodarstvo	39