

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

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-12633, ver. 1.0

DATUM/DATE:

25. september 2019
(14. december 2022, dopolnjeno s povzetkom)

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, Part1: Role of new technologies and fuels and their perspectives by sector

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

Vsebina

VSEBINA	3
POVZETEK.....	7
SUMMARY.....	11
1 UVOD	15
2 SHRANJEVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IN TOPLOTE - KRATKOROČNO IN SEZONSKO....	18
2.1 SHRANJEVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE	18
2.1.1 ČRPALNE ELEKTRARNE	23
2.1.2 BATERIJSKI HRANILNIKI	24
2.1.3 HRANILNIKI NA STISNjen ZRAK	30
2.1.4 VZTRAJNIKI	32
2.1.5 POWER-TO-GAS	33
2.1.6 POTENCIALI	40
2.1.7 TEHNIČNI IN EKONOMSKI PARAMETRI TEHNOLOGIJ	41
2.1.8 TRENDI V KAPACITETI, SPECIFIČNI MOČI IN CENAH BATERIJ ZA VOZILA	43
2.2 SHRANJEVANJE TOPLOTE	45
2.2.1 STANJE TEHNOLOGIJE	49
2.2.2 USPEŠNOST IN STROŠKI	50
2.2.3 POTENCIAL IN OVIRE	51
3 VPLIV SHRANJEVANJA ENERGIJE NA RAZVOJ DRUGIH TEHNOLOGIJ.....	55
3.1 SHRANJEVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE	58
3.2 HRANILNIKI TOPLOTE	63
4 GORIVNE CELICE, TOPLOTNE ČRPALKE IN ODVEČNA TOPLOTA.....	66
4.1 GORIVNE CELICE	66
4.1.1 OPIS TEHNOLOGIJE	66
4.1.2 INTEGRACIJA VODIKA	68
4.1.3 GLOBAL TRENDS AND OUTLOOK FOR HYDROGEN	70
4.1.4 STROŠKOVNA UČINKOVITOST VODIKOVE GORIVNE CELICE S KOGENERACIJO	72
4.1.5 OCENA STROŠKOV PROIZVODNJE VODIKA ZA POTEBE GORIVNIH CELIC	76
4.1.6 VRZELI	76
4.2 TOPLOTNE ČRPALKE	77

4.2.1	TEHNOLOŠKI STATUS	77
4.2.2	UČINKOVITOST	78
4.2.3	POTENCIALI IN OVIRE	79
4.3	ODVEČNA TOPLOTA.....	80
5	E-MOBILNOST.....	84
5.1	PROJEKCIJA TEHNIČNIH KARAKTERISTIK VOZIL	85
5.1.1	OSEBNA VOZILA	86
5.1.2	OSTALA VOZILA – DVOKOLESNIKI, AVTOBUSI IN TOVORNA VOZILA	91
5.1.3	ĀKONOMSKE KARAKTERISTIKE VOZIL	95
5.2	OCENE GIBANJA DELEŹEV VOZIL	99
5.2.1	PREGLED TUJIH ANALIZ	102
5.2.2	OCENA DELEŹEV POGONSKIH TEHNOLOGIJ V VOZNEM PARKU OSEBNIH VOZIL -AVTOMOBILOV	106
5.2.3	OCENA DELEŹEV POGONSKIH TEHNOLOGIJ V VOZNEM PARKU GOSPODARSKIH (TOVORNIH) VOZIL	123
5.2.4	OSTALA VOZILA (DVOKOLESNIKI IN DRUGA LAHKA VOZILA, ITN..)	137
5.2.5	IDENTIFIKACIJA DEJAVNIKOV IN VPLIV NA SLOVENIJO	138
5.2.6	DELEŹ VOZIL PO TIPU POGONA V SLOVENIJI	143
6	ALTERNATIVNA GORIVA V PROMETU	146
6.1	TEHNOLOŠKI PREGLED POGONOV VOZIL	146
6.1.1	BODOĀA CENA VOZIL	149
6.1.2	TEHNIĀNE LASTNOSTI VOZIL	149
6.2	PREGLED STANJA INFRASTRUKTURE IN VOZIL NA ALTERNATIVNI POGON	151
6.2.1	STANJE Z OSKRBO Z ALTERNATIVNIMI GORIVI V SLOVENIJI	152
6.2.2	UTEKOĀINJEN NAFTNI PLIN	163
6.2.3	VODIK	166
6.2.4	BIOGORIVA	168
7	PAMETNA OMREŹJA	177
7.1	ZAHTEVE ZA PAMETNA OMREŹJA	177
7.2	RAZVOJNA ŹTUDIJA PAMETNIH OMREŹIJ V SLOVENIJI.....	179
7.3	MULTI UTILITY	181
7.3.1	KOMPONENTE MCES NA STRANI PORABE	182
7.4	POSLOVNI MODELI V PAMETNIH OMREŹJIH	183

7.4.1	PAMETNA OMREŽJA IN PRIMERI POSLOVNIH MODELOV	183
7.4.2	INTEGRACIJA OVE	185
7.4.3	PRILAGAJANJE ODJEMA	186
7.5	SODELOVANJE V PAMETNIH OMREŽJIH Z VEČJIMI ODJEMALCI (INDUSTRIJA).....	187
7.5.1	UVOD (PAMETNA OMREŽJA IN SODELOVANJE Z INDUSTRIJO)	187
7.5.2	OBSEG SODELOVANJA KOLABORATIVNIH MREŽ	190
7.5.3	CILJNA PODROČJA SODELOVANJA	190
8	POTENCIAL ZA ENERGIJSKO UČINKOVITOST S SNOVNO UČINKOVITOSTJO	195
8.1	KROŽNO GOSPODARSTVO IN SNOVNA UČINKOVITOST – STRATEGIJA RAZVOJA SLOVENIJE	197
8.2	KROŽNI POTENCIALI SLOVENIJE – KAŽIPOT PREHODA V KROŽNO GOSPODARSTVO SLOVENIJE	198
8.2.1	PREDELOVALNE DEJAVNOSTI	199
8.2.2	MOBILNOST	200
9	NOVE TEHNOLOGIJE V KMETIJSTVU.....	202
	/(NAVEDENE OB VSAKI METODI)	202
9.1	TEHNOLOGIJE ZA ZMANJŠANJE EMISIJ METANA IZ PREBAVIL REJNIH ŽIVALI	202
9.1.1	POVEČANJE UČINKOVITOSTI REJE	203
9.1.2	IZBOLJŠANJE ZDRAVJA ŽIVALI	203
9.1.3	USMERJANJE FERMENTACIJE V PREBAVILIH	204
9.1.4	NEPOSREDNA SELEKCIJA REJNIH ŽIVALI NA MANJŠE IZPUSTE METANA	204
9.2	TEHNOLOGIJE ZA ZMANJŠANJE EMISIJ METANA IZ SKLADIŠČ ŽIVINSKIH GNOJIL	204
9.2.1	ANAEROBNI DIGESTORJI	204
9.2.2	PAŠNA REJA TRAVOJEDIH ŽIVALI	205
9.3	TEHNOLOGIJE ZA ZMANJŠANJE EMISIJ DIDUŠIKOVEGA OKSIDA IZ SKLADIŠČ ŽIVINSKIH GNOJIL	205
9.4	TEHNOLOGIJE ZA ZMANJŠANJE EMISIJ DIDUŠIKOVEGA OKSIDA, KI SE SPROSTI ZARADI GNOJENJA KMETIJSKIH RASTLIN	205
9.4.1	POVEČANJE UČINKOVITOSTI KROŽENJA DUŠIKA V KMETIJSTVU	206
9.4.2	POVEČANJE OBSEGA GOJENJE METULJNIC	207
9.4.3	INHIBITORJI NITRIFIKACIJE	207
10	SEZNAMI	208
10.1	SEZNAM KRATIC	208
10.2	SEZNAM SLIK	210
10.3	SEZNAM TABEL.....	213
10.4	REFERENCES.....	216



Povzetek

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 prenovе 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. Vključuje poglavja o ukrepih za zmanjšanje emisij TGP v prometu, dejavnikih, ki vplivajo na prometno delo, analizo novih tehnologij in storitev ter osnove za ocenjevanje vpliva na prometno delo, zmanjšanje emisij 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*.

druge koristi in vplive, obširno poglavje o e-mobilnost ter o alternativnih gorivih v prometu;

- **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 drugih horizontalnih tehnologij. Podani so rezultati ankete o porabi energije v industriji, ocena tehničnega potenciala za zmanjšanje emisij TGP v energetske 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 potenciale 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 vrednotenje 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*).

Pričujoči dokument je **Zvezek 1, Vloga novih tehnologij in goriv ter njihova perspektiva po sektorji**.

Pregled novih tehnologij je osredotočen na tehnologije, za katere se na podlagi inženirske ocene predvidevamo, da bi lahko v nekoliko daljši prihodnosti (do 2050, kot je zastavljen cilj projekta LIFE ClimatePath 2050, in naprej) lahko pomembno prispevale k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Ob tem se zavedamo teže zastavljene naloge, saj je dolgoročno napovedovanje uspešnih tehnologij praktično nemogoče, zato bo treba zaradi novih spoznanj napovedi redno obnavljati. Ne glede na izmuzljivost cilja, pa je pregled novih, prihodnjih in bodočih tehnologij smiseln, saj ustvarja plodno podlago za razvoj novih idej in tehnologij.

V obzir pri pregledu so prišle tehnologije, ki lahko po stanju vedenja danes, v prihodnje najbolj zmanjšajo najpomembnejše emisije: shranjevanje energije – tako toplotne kot tudi električne, vpliv shranjevanja energije na razvoj drugih tehnologij, gorivne celice, toplotne črpalke in odvečna toplota, vozila na električen in alternativne pogone, pri čemer pri energentih poleg elektrike pregledujemo tudi vodikove, plinske in druge tehnologije. Preiskana so tudi pametna omrežja, ki bodo vso to tehnologijo šele dodobra omogočila, posebno poglavje je namenjeno snovni učinkovitost, končamo pa 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. A povečini je težko napovedovati že kratkoročne trende, zato so bili dolgoročni trend marsikje izpuščeni ali pa izračunani glede na dosedanje trende. Hitre spremembe tako tehnologij kot njihova percepcija v družbi pa pomeni, da je tako ekonomske kot tudi tehnične lastnosti težko konkretno napovedati vnaprej, zato je smiselno razvoj tehnologij spremljati redno in po potrebi prilagajati ugotovitve.

Summary

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**, highlight 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. Includes chapters on GHG reduction measures in transport, factors influencing

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,.

transport load, analysis of new technologies and services and basis for estimation of the impacts on transport load, emission reduction, other benefits and impacts, e-mobility and alternative fuels in transport;

- **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*).

This document contains **Part 1, Role of new technologies and fuels and their perspectives by sector**.

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.

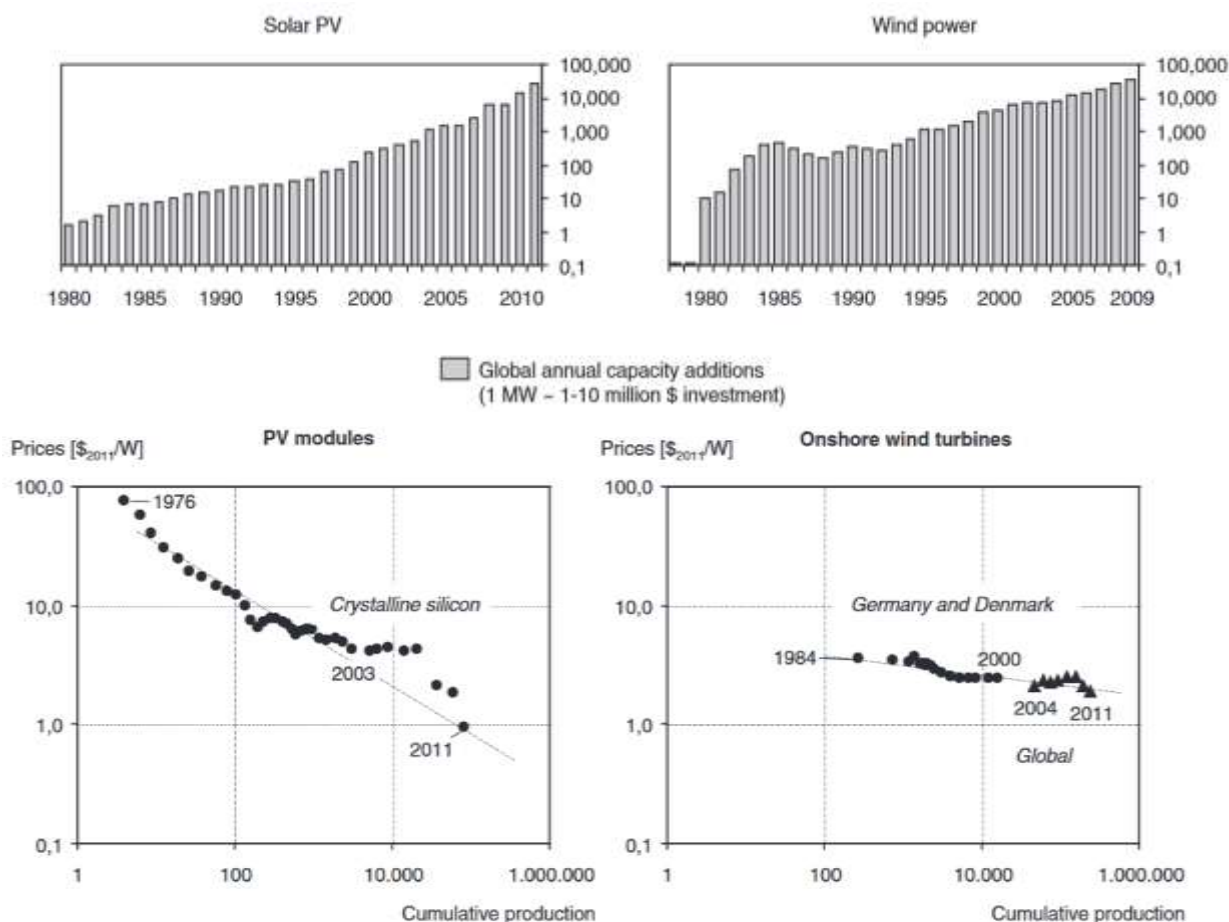
In this review, we've tried to obtain forecasts of future energy costs from the literature – both investments and also operating costs (per unit of energy). We were also aiming to obtain future

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 Uvod

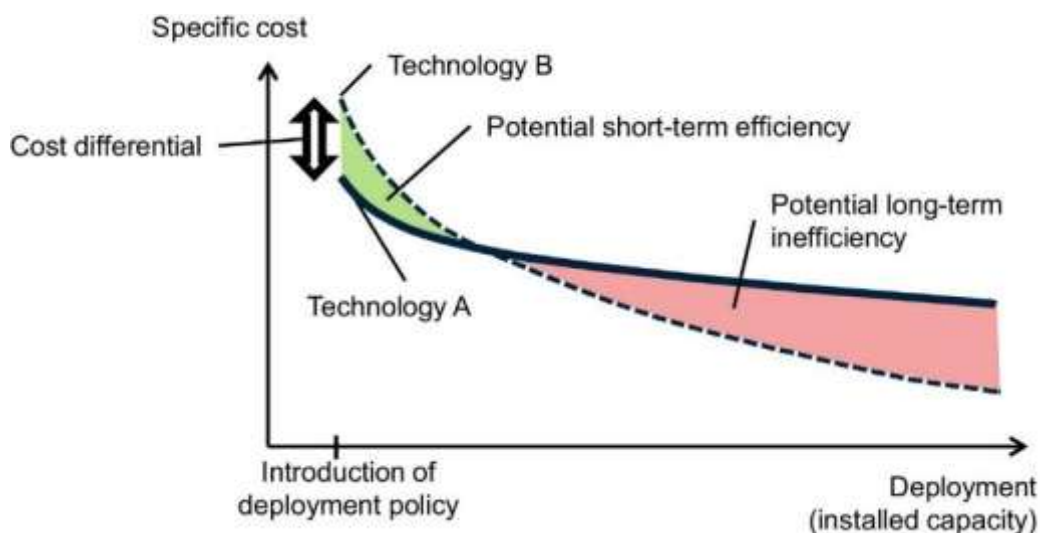
Poročilo *Vloga novih tehnologij in goriv ter njihova perspektiva* nudi pregled nad obetajočimi tehnologijami na katere moramo biti pozorni v naslednjih nekaj letih. Seznam zaradi hitrega razvoja okoljevarstvenih tehnologij še zdaleč ne more biti zaključen, vendar ne glede na to smo izbirali tehnologije ki so povečini v raziskovalni-razvojni fazi, ki razmeroma veliko obetajo, pri čemer pa so nekatere že dosegle nivo demonstracijskih projektov.

Časovni okvir, ki ga skušamo s poročilom premostiti, je dolg prek 30 let. V tem času lahko obetavna tehnologija preide svoj celotni tehnološki življenjski cikel [1]. Pri tem je smiselno uporabiti ekvivalenten pogled nazaj za trenutno najbolj zaželenih virov obnovljivih virov v svetu – PV in vetrno energijo. Rast investicij v obdobju 1980-2010 je bil kar 10 000-kraten za PV in 4000 za vetrno energijo, hkrati se je strošek investicije zmanjšal za približno 2,5-krat (veter) oziroma kar 100-krat (PV), ob hkratni podvojitvi razpoložljivosti (za vetrne turbine) in podvojitvi učinkovitosti (za PV) [2]. Slika 1 kaže glavne poudarke glede naraščanja skupnih investicij v omenjene tehnologije in hkratnega nižanja cen relativno na inštalirano moč.



Slika 1: Skupne investicije v tehnologije (zgoraj) in cena na enoto inštalirane moči (spodaj) za PV (levo) in vetrno energijo (desno) [2].

Različno hiter razvoj fokusnih tehnologij pa lahko na dolgi rok tudi spremeni pogled in bodoče preference [3]. Slika 2 shematsko prikazuje takšno dogajanje, ko nekoliko hitrejši razvoj (in s tem korelirana specifična cena) pomeni precejšnje razlike prav v fazi široke implementacije tehnologije.



Slika 2: Primerjava dolgoročnih stroškov različno se razvijajočih tehnologij [3]

Ne glede na silovit razvoj v zadnjih nekaj letih, pa lahko zagotovimo, da bo shranjevanje električne energije in toplote ob povečevanju spremenljivih obnovljivih virov energije (ang. Variable Renewable Energy, VRE) v naslednjih desetletjih dobilo veliko pomembnejšo vlogo. Pri tem bodo morale sodelovati že obstoječe tehnologije kot na primer črpalne elektrarne, ki so geografsko omejene, hranilniki (tako baterijski kot na stisnjen zrak ipd.), in vztrajniki pa vse do novih koncepton, na primer Power-To-Gas, kjer se iz presežkov električne energije elektrolizira vodik, le-tega pa lahko sintetiziramo v metan in uporabimo v obstoječi plinski infrastrukturi. Prav tako je pomembno shranjevanje toplote, kjer za to uporabljamo obstoječe danosti, na primer ogrevanje vode, podzemnih skalnih gmot ipd, pri čemer uporabljamo ustrezne kolektorje.

Uspešno shranjevanje energije – tako električne kot toplotne, lahko bistveno vpliva tudi na razvoj drugih tehnologij. Na primer hiter padec cen fotovoltaičnih sistemov je prispeval k potrebi po višjem deležu baterij, kar pa je za posledico imelo hiter padec tudi njihovih cen. Padec cen pa po drugi strani spreminja strukturo energetske zmesi (mixa).

Naslednje poglavje je razdeljeno med gorivne celice, kjer je povzeta tehnologija in dodane ugotovitve. Poseben poudarek je bil sintetizaciji vodika in njegovi uporabi v gorivnih celicah. Predvidene so tudi bodoče cene vodika. Pri pregledu toplotnih črpalk so navedene predvideni izboljšani poglobitni parametri, ki vplivajo na izboljšavo izkoristka do leta 2050 tako na področju ogrevanja kot tudi hlajenja. Nadaljnje so analizirani potenciali pri uporabi odvečne toplote, ki bo prav tako del bodoče energetske zmesi (miksa). V tem poročilu smo se osredotočili na nove obetavne tehnologije. Hkrati pa so širše industrijske tehnologije v okviru projekta LIFE Climate Path 2050 pregledane tudi v posebnem poročilu [4].

Pregled stanja infrastrukture in vozil na alternativni pogon je povzet po študiji *Strategija na področju razvoja trga za vzpostavitev ustrezne infrastrukture v zvezi z alternativnimi gorivi v prometnem sektorju v Republiki Sloveniji*. Pri električnih vozilih je narejen pregled flote električnih vozil in ustrezne infrastrukture. Nadaljnje je obravnavan zemeljski plin – tako stisnjen kot tudi utekočinjen, pri čemer je smiselno izkoriščati že obstoječo transportno infrastrukturo v navezi s sintetično generacijo pogonskih goriv, konkretnije metana. Pregled vodikovih tehnologij je narejen v luči novega energetskega koncepta, ki naj bi združil do sedaj ločena sektorja energetike in prometa v povsem novo celoto. Uporaba utekočinjenega naftnega plin (avtoplin) je smiselna pri vozilih, če nadomeščajo manj ekološka goriva in to na območjih kjer drugačna goriva niso optimalno dosegljiva (na primer prehodna uporaba v mestih). Tudi tu bo v podporo obstoječa infrastruktura. V primeru biogoriv je izdelan pregled stanja, pri čemer je proizvodnja na osnovi obstoječe tehnologije precej draga.

Pri specifičnem pregledu e-mobilnosti je izvedena analiza potencialov za zmanjševanje emisij TGP in projekcije emisij TGP ter ocene učinkov izvedenih ukrepov. Pri tem so izdelane projekcije karakteristik električnih vozil in vozil na vodik ter tehnologij za shranjevanje električne energije za aplikacije manjših dimenzij in izdelane ocene gibanja deležev električnih vozil in vozil na vodik ter analizo vpliva novih storitev in tehnologij na gibanje prometnega dela.

V poglavju pametna omrežja so navedene ključni izzivi, ki čakajo tako proizvajalce, distributerje in porabnike električne energije. Predhodno sprejeti zakonski okvirji so omogočili močan razvoj na tem področju v zadnjih letih, kar kaže na to, da so distribucijska podjetja uspešno prevzela pobudo. Čeprav so standardi in postopki še v fazi dokončnega izoblikovanja, pa aktivna vpletenost udeležencev kaže na sposobnost, da se omrežje v prihodnjih letih in desetletjih uspešno nadgradi in tako kljubuje izzivom povečane razpršenosti in nestanovitnosti obnovljivih virov energije.

Poglavje Potencial za energijsko učinkovitost s snovno učinkovitostjo obravnava razvoj krožnega gospodarstva v Sloveniji, ki je umeščeno med strateške razvojne prioritete in ga povezujemo s cilji trajnostnega razvoja Slovenije. Cilj izpostavlja kakovost življenja za vse, pri čemer strateške usmeritve zajemajo vključujočo, zdravo in varno družbo; učenje skozi vse življenje, visoko produktivno gospodarstvo; ohranjeno zdravo naravno okolje in visoka stopnja sodelovanja, usposobljenosti in učinkovitosti upravljanja.

Na koncu so predstavljene nove tehnologije, ki potencialno lahko zmanjšajo emisije metana in didušikovega oksida v kmetijstvu. Navedene tehnologije so še v fazi preizkušanja ali pa gre za tehnologije, ki so sorazmerno nove ter se v praksi še niso razširile. Prav tako so navedene tehnologije, ki se v Evropi že širijo, a jih v slovenskem kmetijstvu zaradi specifičnih naravnih in socio-ekonomskih razmer še ne uporabljamo oziroma je njihova uporaba omejena.

Predstavljene so tehnologije ki bi v prihodnosti lahko pomembno prispevale k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Pri pregledu novih tehnologij pa je bila upoštevana struktura emisij, pri čemer je poudarek na tehnologijah, ki bi lahko zmanjšale emisije najpomembnejših kmetijskih virov.

2 Shranjevanje električne energije in toplote - kratkoročno in sezonsko

2.1 Shranjevanje električne energije

Shranjevanje električne energije je v elektroenergetiki prisotno že od njenih začetkov. Potreba po shranjevanju električne energije v elektroenergetskem sistemu (EES) se je pojavila zaradi dejstva, da morata biti proizvodnja in poraba električne energije v EES vedno v ravnovesju. Zato so inženirji zgodovinsko gledano že zelo zgodaj začeli iskati tehnološke rešitve, ki bi omogočale shranjevanje električne energije, ko je te dovolj in njeno uporabo, ko ni na voljo dovolj drugih virov (oz. je njihova aktivacija prepočasna) ali pa so bistveno dražji.

V zadnjih desetletjih je problematika dobila še večjo težo zaradi večanja deleža obnovljivih virov, ki imajo v veliki meri nepredvidljivo naravo. Ravnotežje med takšno zelo 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.

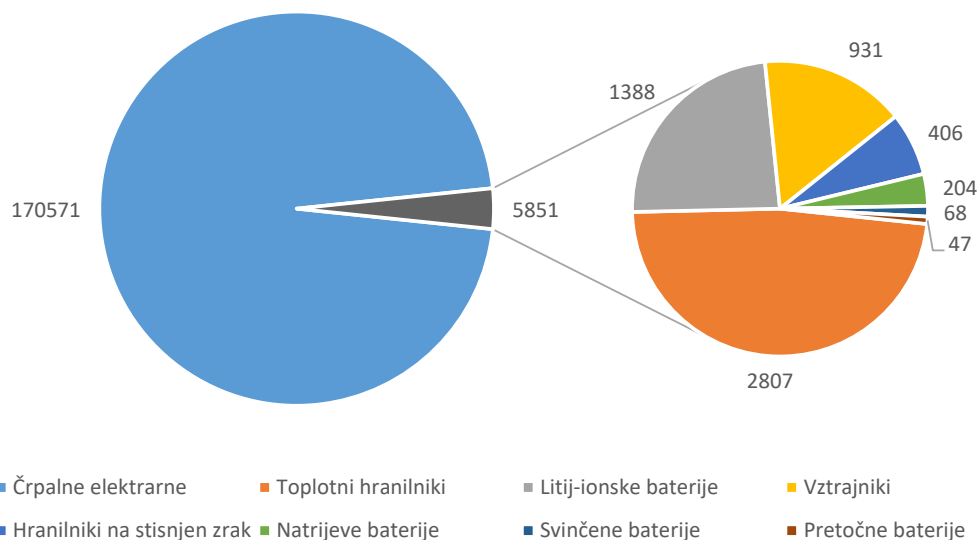
Tabela 1 povzema lastnosti sistemov za shranjevanje električne energije. Pri kratkotrajnem shranjevanju so velik napredek naredile baterije, ki se s cenitvijo selijo v dolgoročneje aplikacije, čeprav cena shranjevanja še vedno ostaja pomemben faktor [5]. Na drugi strani so vodikove/metanske tehnologije še pod izivom ustreznega skaliranja.

Tabela 1: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij shranjevanja električne energije

Lastnosti	Podrobno	Opis
Tehnične karakteristike tehnologij	Učinkovitost	25% (P2G pri upoštevanju razpoložljivosti energije ipd). 60 % (hranilniki na stisnjen zrak) 60-80 % (črpalna elektrarna) 90 % (Li-ion baterije)
	Tipična velikost	1 kW (baterije) do 1 GW (črpalne elektrarne, hranilniki na stisnjen zrak, P2G)
	Možnost skaliranja	Da, nekatere tehnologije (npr. baterije)
	Časovna namebnost	Kratkoročno (ure, dnevi): večina tehnologij Srednjeročno (tedni): črpalne elektrarne Dolgoročno (sezonsko): P2G, deloma

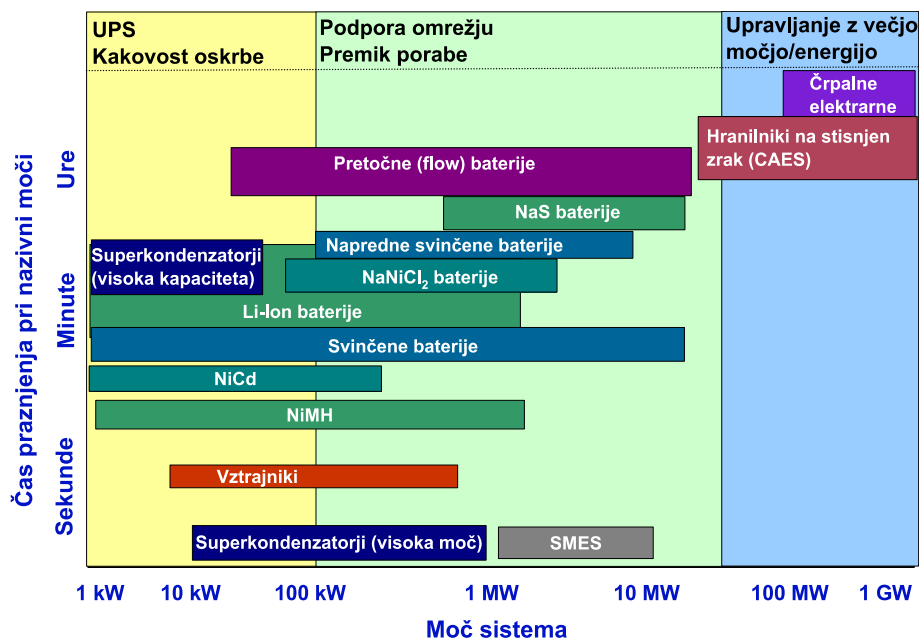
Lastnosti	Podrobno	Opis
Ekonomske karakteristike tehnologij	Štrošek investicije	Srednje do velik: 350-1500 €/ kW _{el} črpalne elektrarne 1000 €/kW _{el} Li-ion baterije 3000 € kW _{el} vztrajnik
	LCOE	10 – 120 €/kWh _{el}
Perspektiva razvoja do leta 2050	Pombno vplivati na razpoložljivost obnovljive energije, zmanjševanje cene v obdobjih pomanjkanja energije ipd.	
Ekonomski in tehnični potenciali po sektorjih	Hitro uveljavljanje: Transport Srednje-hitro uveljavljanje: gospodinjstva Počano uvajanje: Industrija	
Ključni izzivi do leta 2030	Nižanje cen (baterije) Prostorsko umeščanje (črpalne elektrarne) Skaliranje pri zmanjšani razpoložljivosti, pogon na obnovljive vire (P2G)	
Diskusija okoljske karakteristike	Vpliv novih kemijskih postopkov (baterije) Prostor (črpalne elektrarne)	

Med tehnologijami za shranjevanje električne energije imajo danes daleč največji delež črpalne elektrarne (slika 3), vendar postajajo vse zanimivejše tudi druge tehnologije shranjevanja električne energije.



Slika 3: Inštalirana moč hranilnikov električne energije na svetovni ravni (podatki za leto 2016; številka označuje inštalirano moč v MW, [6])

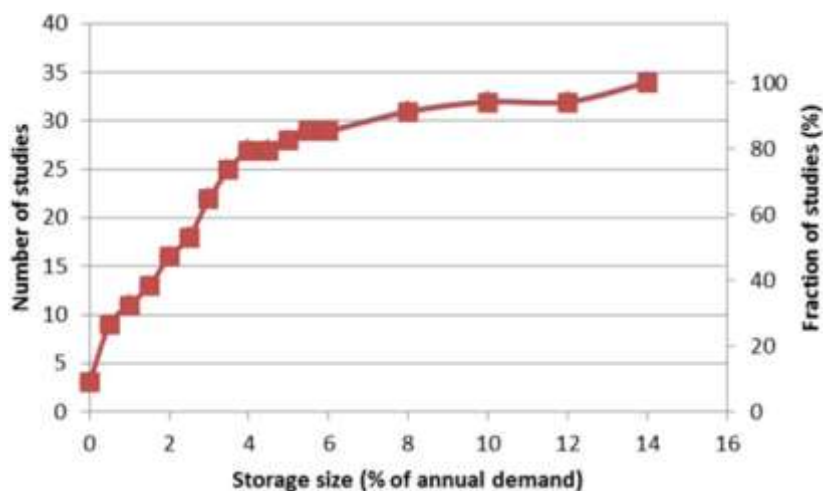
Raznovrsten nabor tehnologij hranilnikov električne energije je mogoče v EES uporabljati za različne namene. Nekatere aplikacije na primer zahtevajo izredno hiter odziv z veliko močjo, druge čim večjo količino shranjene energije, včasih pa je potrebno oboje hkrati. Na sliki 4 so shematsko prikazane osnovne značilnosti hranilnikov. V ozir je potrebno vzeti tudi, da se bodo tehnologije v prihodnje dodatno razvijale, kar bo vplivalo tudi na širitev možnosti njihove rabe.



Slika 4: Primerjava tehnologij hranilnikov električne energije [7]

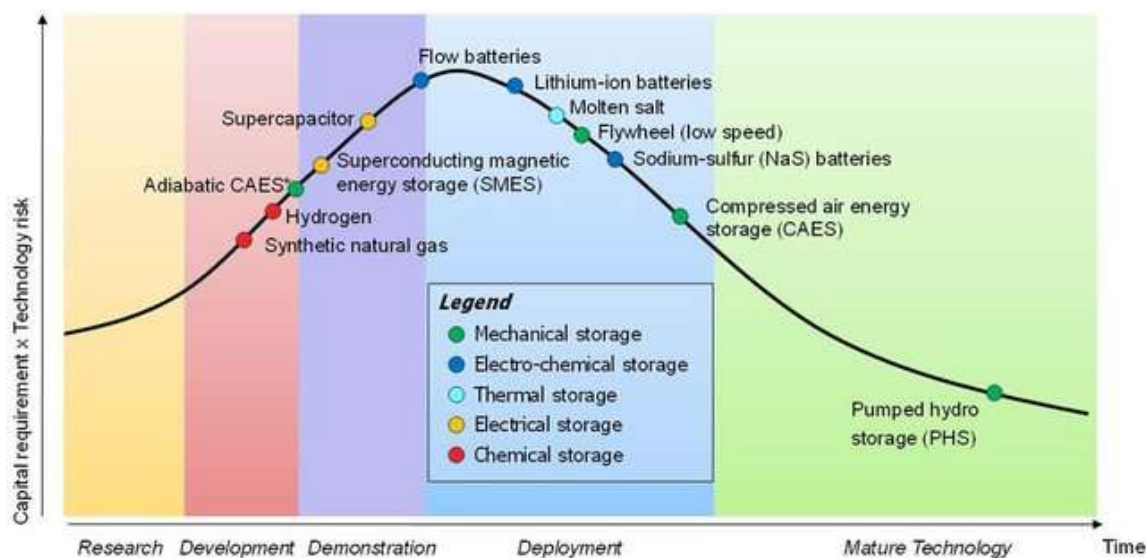
V nadaljevanju je podan opis tehnologij, ki so primernejše za uporabo v EES oz. se predvideva, da se bo v prihodnje z razvojem njihova uporabnost še širila.

Slika 5 kaže kakšno velikost hranilnikov električne energije (glede na letne potrebe) predvidevajo različne študije zbrane v [8]. Veliko študij predvideva hranilnike v velikosti 5% letnih potreb (približno 18 dni), individualne študije pa tudi manj, na primer 1-2% [9].



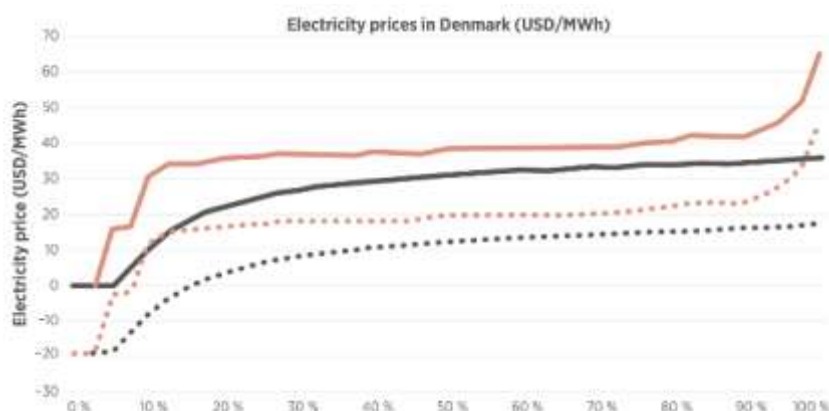
Slika 5: Študije hranilnikov električne energije in njihova velikost glede na letne potrebe

Slika 6 kaže stopnjo zrelosti tehnologij za shranjevanje električne energije [10]. Na abscisi so od leve proti desni nanizane stopnje: raziskave, razvoj, demonstracija, uvajanje in zrela tehnologija. Na ordinati pa je potreba po (zagonskem) kapitalu v navezi s tehnološkim tveganjem. Mehanski hranilniki toplote so večinoma v zrelejših fazah (razen adiabatnega hranilnika na stisnjen zrak), sledijo jim mehansko-kemijski hranilniki in shranjevanje toplote. Popolnoma električni in kemijski hranilniki pa so še v zgodnjo raziskovalno-razvojnih fazah.

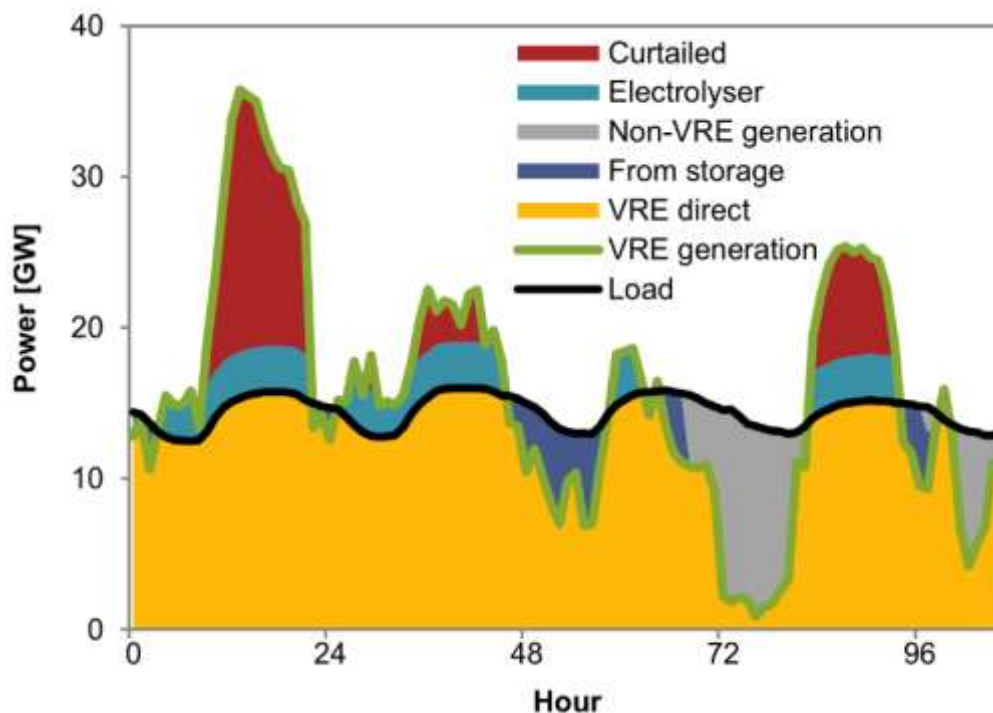


Slika 6: Stopnja zrelosti tehnologij za shranjevanje električne energije [10]

Pri shranjevanju električne energije bo poleg zanesljivosti dobave pomembna tudi cena tako investicije kot tudi tako shranjene energije. Slika 8 kaže tipičen potek generacije elektrike v obdobju približno 100 ur (~4 dni) [11]. Čeprav se dobršen del dnevnih viškov shrani v hranilnike, pa to prav zaradi marginalne cene ne bo smiselno za celotno proizvodnjo, kar je vidno tudi iz Slika 7, kjer so podatki o cenah električne energije na Danskem, neto in ob upoštevanju stroška omrežja [7]. Razviden je velik razkorak v cenah med zgornjim in spodnjim decilom, razlike v osrednjih decilih pa so precej manjše in je vprašanje ali je shranjevanje ekonomsko opravičljivo.

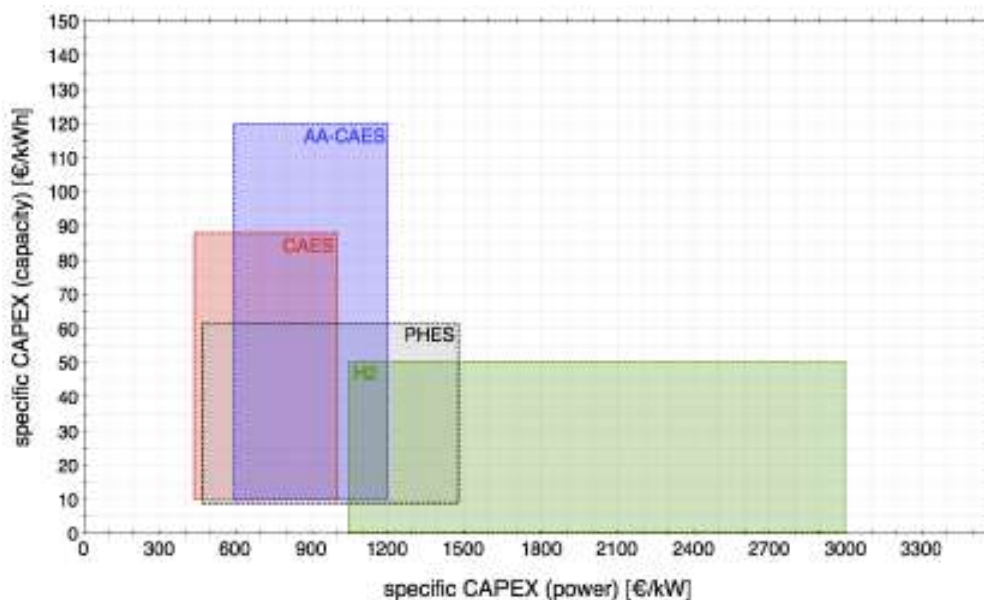


Slika 7: Cena električne energije na Danskem, neto in ob upoštevanju stroška omrežja [12]



Slika 8: Tipičen poteg generacije električne energije [11]

Ekonomika shranjevanja je trenutno preširoka tema za to pregledno poročilo, a nekoliko širšo obdelavo je mogoče najti v razpravah [13]–[16]. V slednjem je primerna primerjava investicijskih in vzdrževalnih stroškov različnih tehnologij v obliki diagrama - Slika 9.



Slika 9: Primerjava investicijskih in vzdrževalnih stroškov različnih tehnologij shranjevanja energije [16]

2.1.1 Črpalne elektrarne

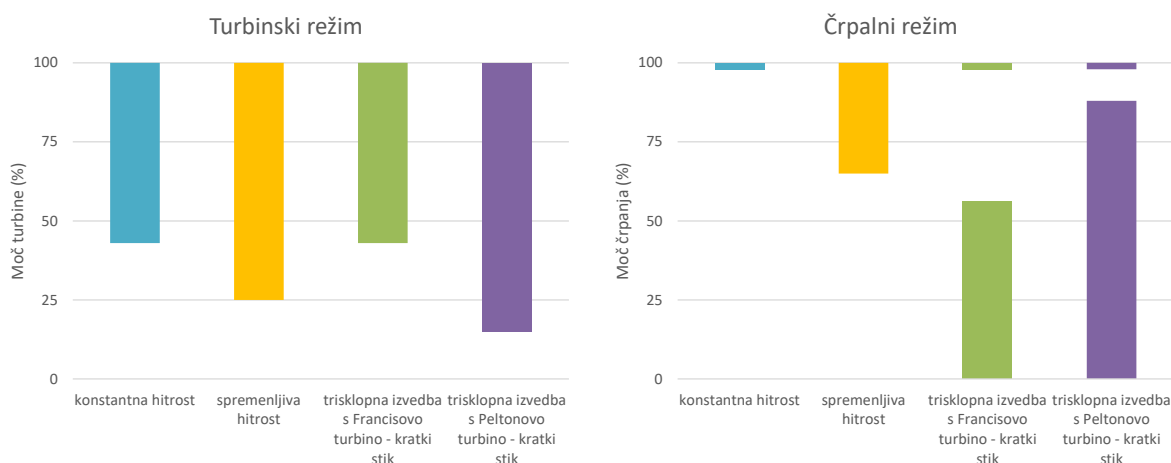
Črpalne elektrarne (ČE) so najbolj pogost način shranjevanja električne energije z največjo inštalirano močjo (več kot 170 GW, [6]) na svetovni ravni. ČE lahko v splošnem obratuje v dveh režimih, in sicer v turbinskem, kot proizvajalec električne energije, in črpalnem, kot odjemalec električne energije. V turbinskem režimu izkorišča pozitivno razliko med nivoji vode v zgornjem in spodnjem akumulacijskem bazenu, naloga črpalnega režima pa je polnjenje zgornjega akumulacijskega bazena s pomočjo črpanja 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.

ČE veljajo za najbolj zrelo tehnologijo za shranjevanje večjih količin električne energije. 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.

Potencial na področju povečanja fleksibilnosti:

- **Uporaba agregatov s spremenljivo hitrostjo** (angl. variable speed, var-speed): tehnologija poveča razpon prilagajanja moči v turbinskem in omogoča regulacijo moči v črpalnem režimu delovanja; tehnologija se že uporablja v novejših ČE.
- **Hidravlični kratki stik**: gre za princip obratovanja pri katerem ČE hkrati obratuje v črpalnem in turbinskem režimu obratovanja (izvedba je mogoča pri trisklopnih ČE ali pri enotah z več agregati). Na ta način se poveča obratovalno območje (fleksibilnost) elektrarne, kar je pomembno pri zagotavljanju sistemskih storitev (regulacija frekvence); negativni vidik predstavljajo višji investicijski stroški v primerjavi s klasično dvosklopno izvedbo.
- **Nadgradnja moči obstoječih enot**: v nekaterih enotah se predvideva povečanje moči z dodatnimi turbini. Na ta način se ne poveča kapaciteta shranjene energije, ampak se poveča fleksibilnost enote, ki omogoča obratovanje z večjimi močmi v krajšem časovnem obdobju;



Slika 10: Obratovalna področja za različne tipe ČE

Ker ozek nabor ustreznih lokacij omejuje izgradnjo novih ČE, je bilo predlaganih nekaj novih idej za širitev nabora ustreznih lokacij za ČE:

- **Nadgradnja konvencionalne HE s črpalnim agregatom:** možnosti so tudi pri nadgradnji konvencionalnih hidroelektrarn s črpalnim agregatom, kar omogoči delovanje v črpalnem režimu; za znižanje stroškov in okoljskega vpliva se razvijajo črpalni agregati, ki jih je mogoče vgraditi v obstoječe strojnice.
- **Uporaba obstoječih podzemnih rezervoarjev** kot so opuščeni rudniki: kot spodnji akumulacijski bazen se uporabi podzemni rezervoar; nabor lokacij je omejen z ustrežno geološko strukturo.
- **ČE na morsko vodo:** ČE se zgradi ob morju, v zgornji bazen pa se črpa morsko vodo, tako da ni potrebna izgradnja spodnjega bazena. Glavne ovire pri izvedbi tovrstnih objektov so povezane s črpanjem morske vode - korozivnost slane vode povečuje vzdrževalne stroške, nabiranje morskih organizmov na hidravličnih komponentah, okoljske omejitve. Do sedaj je bila zgrajena (leta 1999) ena tovrstna demonstracijska enota z močjo 30 MW na Japonskem, ki je bila leta 2016 ustavljena;

Na področju investicijskih stroškov za ČE ni pričakovati bistvenih premikov. Sicer strožje okoljske zahteve podaljšujejo čas izvedbe investicij in s tem višajo njeno ceno, vendar je na drugi strani potencial pri napredku na področju gradnje in s tem povezanimi prihranki. Pričakovati je da bodo investicijski stroški ostali na ravni podobni današnji (350-1500 EUR/kW, [17]).

2.1.2 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:

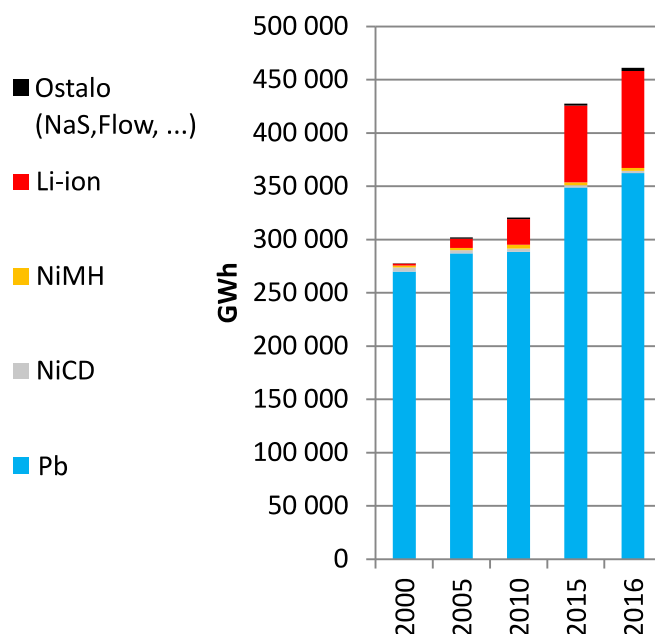
- **prenosne baterije:** baterije manjših kapacitet za napajanje prenosnih naprav, prevladujejo Li-ion baterije in v nekaterih segmentih baterije na osnovi niklja);

- industrijske baterije: vir napajanja za premične industrijske naprave ali stacionarne sisteme, kot je brezprekinitveno napajanje (UPS); prevladujejo svinčene baterije in v nekaterih segmentih baterije na osnovi niklja in NaS-baterije);
- zagonske baterije (zaganjači za vozila; prevladujejo svinčene baterije);

V zadnjem obdobju se večja uporaba na naslednjih področjih:

- baterije za pogon vozil: električna vozila, hibridna vozila; prevladuje Li-ion tehnologija; morebitna uporaba V2H in V2G tehnologij.
- baterijski hranilniki za uporabo v EES: povečevanje fleksibilnosti EES, zagotavljanje sistemskih storitev; uporabljajo se različni tipi baterij (odvisno od zahtev projekta);

Slika 11 prikazuje globalni tržni delež prevladujočih tehnologij baterij. Daleč največji delež je v preteklosti pripadal svinčnim (Pb) baterijam. Le-te so večinski delež ohranile do danes, vendar se je v zadnjem obdobju začel manjšati predvsem na račun litij-ionskih (Li-Ion) baterij.



Slika 11: Tržni delež po posameznih tipih baterij za obdobje 2000-2016 [18]

Baterijski hranilniki prevladujejo predvsem v mobilnih aplikacijah. V zadnjih nekaj letih je bilo izvedenih več projektov vključitve velikih (z močjo reda nekaj deset megavatov) baterijskih hranilnikov v EES. Večina teh enot temelji na Li-ion tehnologiji (tudi NaS). Največji projekt (konec leta 2017) je bil izveden v Avstraliji, in sicer Li-ion hranilnik z močjo 100 MW in kapaciteto 129 MWh.

Uporabi baterij v EES se v prihodnjem obdobju napoveduje strma rast, na katero bo v veliki meri vplival razvoj stroškov. V nadaljevanju so opisane najbolj razširjene tehnologije baterijskih hranilnikov.

2.1.2.1 Baterije na osnovi litija

Litij-ionske (Li-ion) baterije so se pojavile v začetku 90. let in se trenutno najpogosteje uporabljajo v prenosnih napravah, kot so telefoni in računalniki ter v električnih vozilih, vedno pogostejše pa so tudi v sistemih podpore EES. Zaradi relativno visoke napetosti celice (3,7 V) jih za doseganje zelene napetosti potrebujemo manj (npr. NiMH ali NiCd celice imajo napetost 1,2-1,4 V). Njihova prednost je velika gostota energije, izkoristek cikla 85-95 % ter obeti nižjih cen ob masovni proizvodnji. Imajo pa nekaj težav s kompleksno zgradbo ter drago zaščito pred prenapolnjenjem, kar ima velik vpliv na varnost ter ceno, ki je zaradi dodatnih varnostnih ukrepov, višja. Občutljive so tudi na previsoke temperature, ki zelo oslabijo delovanje baterije ter zmanjšujejo tako njeno kapaciteto kot zmožnost hitrega praznjenja, lahko pa tudi vodijo v termični pobeg baterije. Da se termični pobeg prepreči, mora biti temperatura celice pod 105 – 145 °C, odvisno od napolnjenosti.



Slika 12: Notranjost (levo) in zunanost (desno) baterijske postaje Laurel Mountain, izvedene z Li-ion baterijami

Glede na aplikacijo je možno skonstruirati Li-ion baterijo, ki je bolj primerna za sproščanje večjih moči v kratkem času ali pa za sproščanje manjših moči v daljšem času. Izrazita pomanjkljivost Li-ion baterij so težave s termično nestabilnostjo. Pri prenapolnjenju ali kratkem-stiku lahko pride do reakcije, ki povzroči sproščanje vnetljivih plinov in toplote ter posledično vžig. O prisotnosti težave pričajo številni vpoklici naprav z Li-ion baterijami po svetu. Z ustrezno izbiro materialov, je možno doseči kompromis med varnostjo in drugimi lastnostmi.

V preteklosti je bilo razvitih več tipov Li-ion baterij, ki se razlikujejo po materialih, uporabljenih za pozitivno ali negativno elektrodo in svojih značilnostih. Pomembnejše tehnologije Li-ion baterij so:

- **NMC** – litij nikelj kobalt mangan oksid (visoka kapaciteta in moč, dolga življenjska doba 1000-2000 ciklov);
- **LCO** – litij kobaltat (visoka specifična energija, najpogosteje se uporabljajo v prenosnih elektronskih napravah);
- **LTO** – litij titanat (nizka specifična energija, dolga življenjska doba 3000-7000 ciklov);
- **LFP** – litij železo fosfat (nizka kapaciteta, ustrezne za aplikacije, kjer je potrebna visoka moč in vzdržljivost);

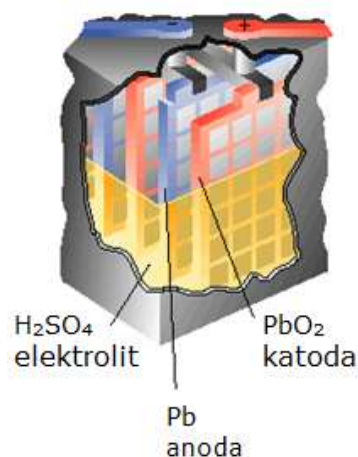
- **LMN** – litij mangan oksid (visoka moč, nizka kapaciteta, dobra temperaturna stabilnost);
- **NCA** – litij nikelj kobalt aluminij oksid (visoka specifična energija, življenjska doba približno 500 ciklov);

2.1.2.2 Svinčene baterije

Svinčene oz. svinčeno-kislinske baterije se trenutno uporabljajo v različne namene, od avtomobilskih zagonskih baterij do hranilnikov energije v elektroenergetskih sistemih. Vsi različni tipi svinčeno-kislinskih baterij so sestavljeni iz pozitivne svinčeno dioksidne elektrode ter iz negativne svinčene elektrode. Obe elektrodi sta izredno porozni, s čimer se poveča uporabna površina. Kot elektrolit je uporabljena žveplena kislina, ki predstavlja približno 37 % celotne teže baterije, ko je baterija popolnoma napolnjena. V naprednih svinčenih baterijah je elektrolit (ki ga je tudi precej manj kot v navadnih svinčenih baterijah) absorbiran v ločevalnikih iz steklenih vlaken.

Stacionarne baterije so pogosto uporabljene za zagotavljanje enosmerne napetosti za nadzor, krmiljenje in stikalne operacije ter kot vir rezervnega, nujnega napajanja. Tovrstne baterije se polnijo neprestano z majhnim tokom, praznijo pa se zgolj občasno, ob izvedbi stikalnih operacij, vklopu motorjev ter ob izpadih glavnih napajanj. Ob takšni uporabi kapaciteta ni tako pomembna kot sta dolga življenjska doba in dolgi vzdrževalni intervali. Tipična življenjska doba je od 3 – 15 let ob 1500 ciklih praznjenja do 20 % kapacitete. V optimalnih pogojih dosegajo 80-90 % izkoristke cikla.

Cene stacionarnih baterij so trenutno precej višje kot cene zagonskih baterij, njihova masovna proizvodnja pa bi lahko vodila v znižanje.



Slika 13: Pb baterije na testiranju (levo) in zgradba Pb baterije (desno)

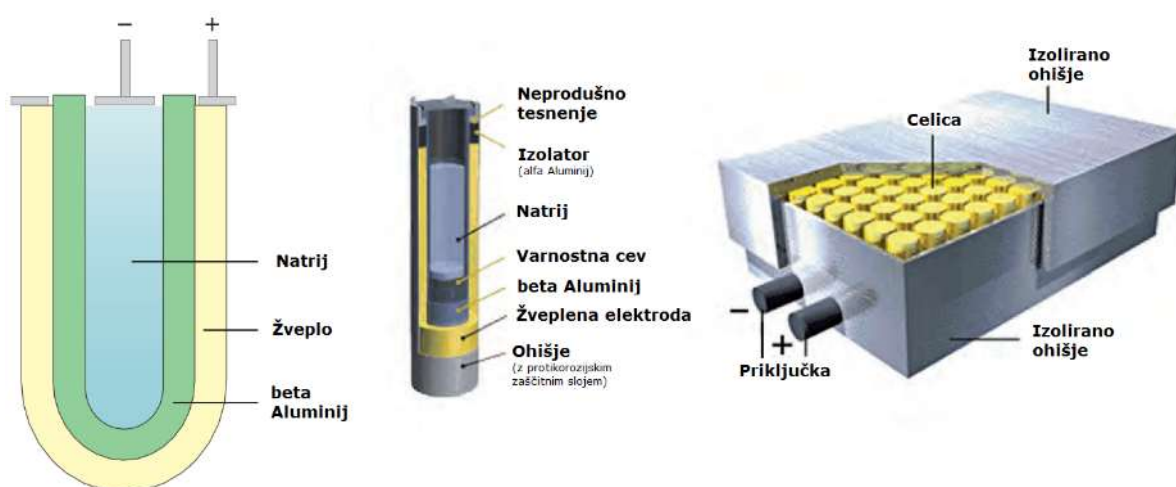
Slabost svinčenih baterij je zmanjšanje uporabne kapacitete v primeru sproščanja velikih moči – če se baterija sprazni v eni uri, je na voljo le 50-70 % nazivne kapacitete. Druge slabosti so nizka gostota energije in pa uporaba ekološko spornega svinca. Prednosti so preprost sistem polnjenja,

preprosta reciklaža in ugodno razmerje med ceno in zmogljivostjo ter seveda utečen proces reciklaže.

V preteklosti je bilo zgrajenih nekaj večjih objektov s svinčnimi baterijami, tako da so na voljo komercialne rešitve. Nekateri ponudniki, ki ponujajo svoje sisteme baterijskih hranilnikov, lahko le-te izvedejo tudi s svinčnimi baterijami.

2.1.2.3 Natrij-žveplove baterije

Natrij-žveplove (NaS) baterije so začeli razvijati v 60. letih prejšnjega stoletja. Glede na svinčene baterije imajo trikrat večjo gostoto energije, daljšo življenjsko dobo ter zahtevajo manj vzdrževanja. Sestavlja jih negativna elektroda iz tekočega natrija, pozitivna elektroda iz tekočega žvepla in trdni, β -aluminijasti, elektrolit.



Slika 14: Zgradba ene celice in kompletne NaS baterije

Da elektrodi ostaneta v tekočem stanju, mora biti temperatura baterije vzdrževana pri okoli 300 °C, kar se doseže z vgraditvijo v posebno, izolirano, ohišje. NaS baterije tipično dosežejo od 2500 do 4500 ciklov. Njihov izkoristek je približno 80 % in so zelo odzivne, kar jih naredi primerne tudi za aplikacije stabilizacije elektroenergetskega omrežja.

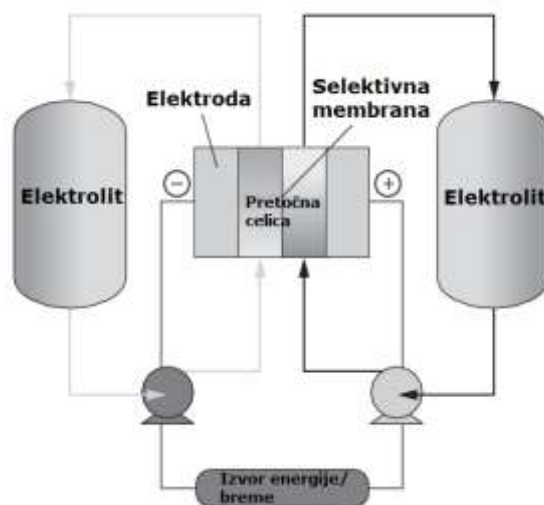
NaS celice proizvaja le eno podjetje na Japonskem. Moč ene celice je 50 kW s kapaciteto energije 300 kWh, 360 kWh ali 430 kWh. Komercialne baterije so sestavljene iz 20 celic, kar da moč 1 MW in energijo 6 MWh ali 7,2 MWh. Posamezne celice so lahko optimirane za dva načina obratovanja: hitre praznitve za izboljšanje kakovosti oskrbe ali počasna praznitve za zmanjšanje konice.

2.1.2.4 Pretočne baterije (flow)

Med pretočnimi baterijami se najbolj pogosto uporabljajo vanadij-redox baterije (VRFB) in polizveplove-brom baterije (PSB).

V pretočnih **VRFB** se uporabljata dva elektrolita, ki vsebujeta raztopljene kovinske ione. Elektrolita sta iz rezervoarja črpata vsak na svojo stran reakcijske celice. Velika prednost VRFB baterij je, da sta elektrolita med seboj zelo podobna, saj sta oba sestavljena iz žveplene kisline, v kateri so raztopljene vanadijeve soli, ki pa so v različnih oksidacijskih stanjih.

Elektrodi pri kemičnem procesu ne sodelujeta, ampak služita le kot kraj, kjer poteka reakcija, zato je njuna življenjska doba lahko zelo dolga. Reakciji na obeh elektrodah sta reverzibilni.



Slika 15: Zgradba Vanadij-redox pretočne baterije

Elektrode se nahajajo v reakcijskih celicah, ki so med seboj povezane v skupine. Vsaka skupina vsebuje serijo bipolarnih plošč, s pozitivnim elektrolitom na eni strani ter negativnim na drugi. Ker vse celice uporabljajo isti elektrolit, so med seboj praktično enake, kar je velika razlika glede na klasične baterije, kjer so njene lastnosti dostikrat omejene na najslabšo celico vezano v serijo. Ker je elektrolit shranjen v rezervoarjih, je moč neodvisna od kapacitete energije sistema. Torej, če se potrebuje večja moč sistema, se doda nove skupine reakcijskih celic, če se potrebuje večja zaloga energije, se doda nove rezervoarje z elektrolitom.

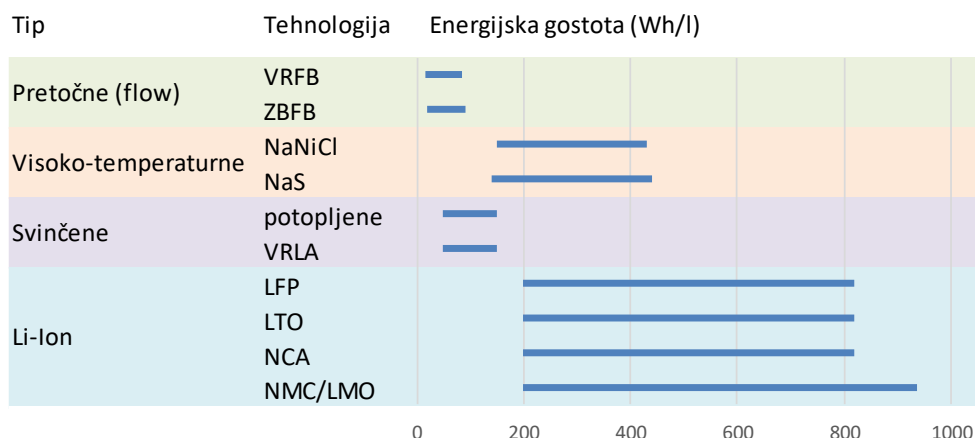
V svetu je v obratovanju več VRFB baterij v funkciji izravnave bremena, podpore obnovljivim virom in nižanjem konic moči.

PSB spadajo v družino pretočnih baterij. Tako kot pri ostalih pretočnih baterijah, tudi pri njih lahko prosto izbiramo moč sistema in kapaciteto energije, saj sta med seboj neodvisni. Te baterije se lahko tudi preveč napolnijo ali preveč spraznijo, brez večjega vpliva na življenjsko dobo baterije, kar jih naredi zelo primerne za vrsto aplikacij. Izkoristek celotnega sistema se giblje med 60 in 75 %, ocenjena življenjska doba je med 10 in 15 leti.

2.1.2.5 Primerjava tehnologij baterij

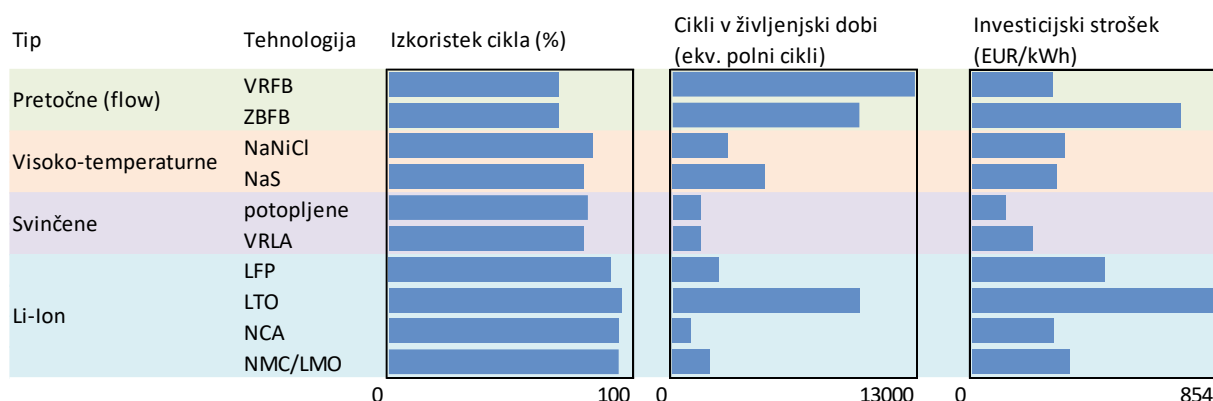
V nadaljevanju je predstavljena primerjava osnovnih značilnosti baterijskih hranilnikov. Slika 16 prikazuje razpone energijske gostote za posamezne tehnologije [19]. Najvišja je pri Li-Ion baterijah, kjer se sicer giblje v širokem razponu, vendar je običajno višja od 200 Wh/l.

Matching demand with supply at low cost in 139 countries among 20 world regions with 100% intermittent wind, water, and sunlight (WWS) for all purposes



Slika 16: Primerjava energijske gostote baterij (vir podatkov: [19])

Slika 17 prikazuje primerjavo izkoristkov v ciklu polnjenja in praznjenja, življenjsko dobo (največje število ekvivalentnih polnih ciklov) ter specifične investicijske stroške posameznih tehnologij baterij [19].



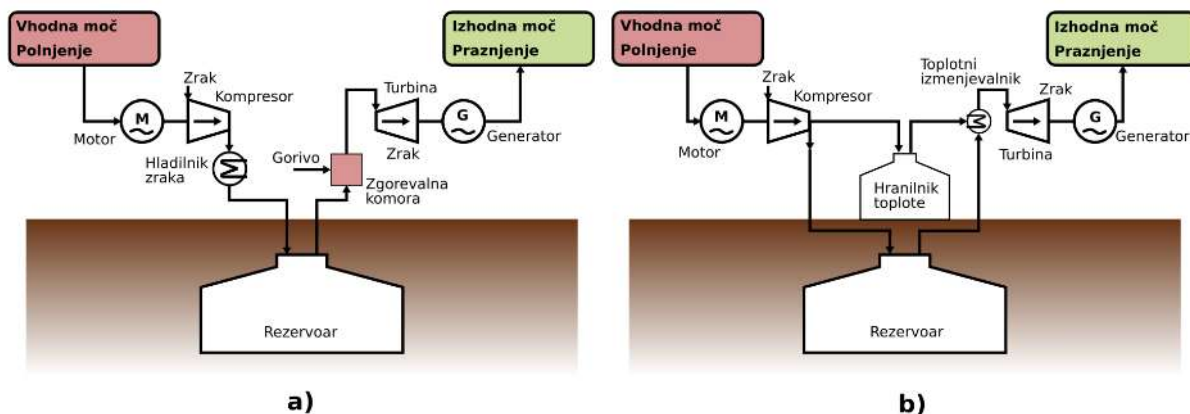
Slika 17: Primerjava življenjske dobe, izkoristka in investicijskih stroškov za različne tipe baterij [19]

2.1.3 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 shranjevanja 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 [7]:

- **diabatni proces** (tehnologija velja za preizkušeno in zanesljivo, izkoristek cikla ~40-55 %);

- **adiabatni proces** (shranjevanje toplote - višji izkoristki ~65 %);
- **izotermni proces** (tehnologija v razvoju).



Slika 18: Hranilnik na stisnjen zrak - a) diabatni proces, b) adiabatni proces

Pri enotah na stisnjen zrak lahko le-tega shranjujemo v podzemnih ali pa nadzemnih rezervoarjih. Običajno se stisnjen zrak shranjuje v podzemnih naravnih ali pa umetno izkopanih rezervoarjih (npr. opuščeni rudniki). Lokacije podzemnih rezervoarjih so omeje z geologijo terena. Za rezervoarje so primerna območja s podzemnimi skladi soli ter s trdnimi in poroznimi kamninami. Območij z ustreznimi geološkimi danostmi je po svetu veliko – v ZDA je na primer geološko primernege čez 80 % ozemlja države [8]; v Evropi se območja s solnimi skladi, deloma pokrivajo z območji primernimi za izkoriščanje vetrne energije. Obstoječi enoti v Huntorfu (Nemčija) in Mcintoshu (ZDA) kot rezervoarje uporabljata podzemne kaverne v skladih soli [20].

Glavne prednosti CAES sistemov so predvsem velika kapaciteta, relativno hiter zagon in hitre spremembe delovne točke, ni samopraznjenja ter dolga življenjska doba. Kot slabost velja omeniti emisije v zrak (pri sežigu fosilnih goriv), ki pri drugih tehnologijah hranilnikov niso prisotne. Objekti so zasnovani tako, da omogočajo pogoste zagone/zaustavitve in hitre prehode iz praznjenja na polnjenje (tudi hkratno izvajanje obeh procesov). Tehnologija je tako primerna za prilagajanje proizvodnje/obremenitve, časovni premik porabe/proizvodnje, nižanje vršnih obremenitev, izravnava cen električne energije, regulacija frekvence, regulacijo sezonskih nihanj, odmaševanje prenosnih poti, preložitve naložb, regulacijo napetosti idr. [7].

Hranilnikom na stisnjen zrak v štirih desetletjih uporabe ni uspelo pridobiti občutnejšega deleža med svetovnimi kapacitetami za shranjevanje električne energije. Do sedaj sta bili v EES priključeni le dve enoti:

- enota v Huntorfu (Nemčija): prva enota na stisnjen zrak zgrajena leta 1978 z močjo polnjenja 60 MWe (čas polnjenja 8 ur) in močjo praznjenja 321 MWe (čas praznjenja 2 uri; ob postavitvi je moč praznjenja znašala 290 MWe, leta 2006 pa je bila nadgrajena na 321 MWe), izkoristek cikla približno 42 %;
- enota v Mcintoshu (ZDA): enota zgrajena leta 1991 z močjo polnjenja 60 MWe (čas polnjenja 45 ur) in močjo praznjenja 110 MWe (26 ur), izkoristek cikla približno 54 %.

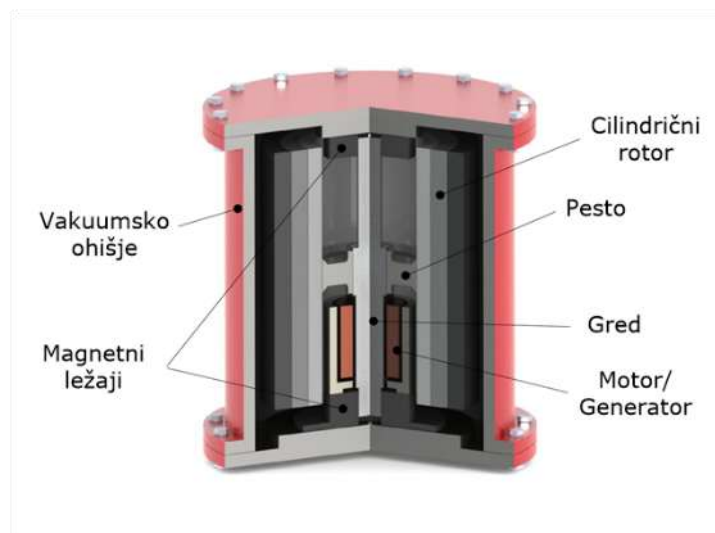
Investicijski stroški in obeti

Investicijski stroški hranilnikov na stisnjen zrak so v veliki meri odvisni od lokacije enote. Če je mogoče uporabiti naravni ali obstoječi rezervoar, so stroški nižji kot v primeru, da je potreben izkop. Ocena investicije je težka tudi zaradi majhnega števila zgrajenih enot, ki so bile zgrajene v preteklosti. Poleg tega so bili pretekli projekti izvedeni v različnih obdobjih z različnimi ekonomskimi in energetskega značilnostmi.

Tipični investicijski stroški hranilnikov na stisnjen zrak so ocenjeni na 43 EUR/kWh (podatek za leto 2016) in bi se do leta 2030 po predvidevanjih lahko znižali na 36 EUR/kWh [19]. Potencial za izboljšanje tehnologije je v večji izrabi toplote, ki nastane v procesu stiskanja zraka, in s tem višjimi izkoristki naprav. Izziv ostaja majhno število projektov v razvoju in konkurenca drugih tehnologij za shranjevanje električne energije, ki izkazujejo boljše rezultate.

2.1.4 Vztrajniki

Koncept shranjevanja kinetične energije v vrteče mase s pomočjo vztrajnikov (angl. flywheels) je človeku že dolgo poznan, v zadnjih desetletjih pa se tehnologija uporablja tudi za shranjevanje električne energije. V tem smislu so vztrajniki 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 (najboljše lastnosti izkazujejo materiali na osnovi ogljikovih vlaken). V fazi shranjevanja električno energijo s pomočjo električnega stroja povečujemo hitrost vrtenja vztrajnika, ko pa električno energijo potrebujemo, jo proizvedemo na račun zmanjšanja kinetične energije (hitrosti) vztrajnika.



Slika 19: Osnovni sestavni deli vztrajnika

Glavne prednosti vztrajnikov so dolga življenjska doba (dvajset in več let), veliko število ciklov v življenjski dobi, nizki stroški vzdrževanja, velika moč glede na prostornino ter kratek odzivni čas. Pomembna slabost vztrajnikov je visoka stopnja samopraznjenja zaradi trenja, ki jo skušajo odpraviti z razvojem novih tehnologij ležajev. V primerjavi z baterijami je energijska gostota vztrajnikov približno 5 do 10-krat večja (potrebujejo manj prostora), so pa bolj omejeni s kapaciteto shranjene energije. Večina vztrajnikov se danes uporablja za shranjevanje električne energije v

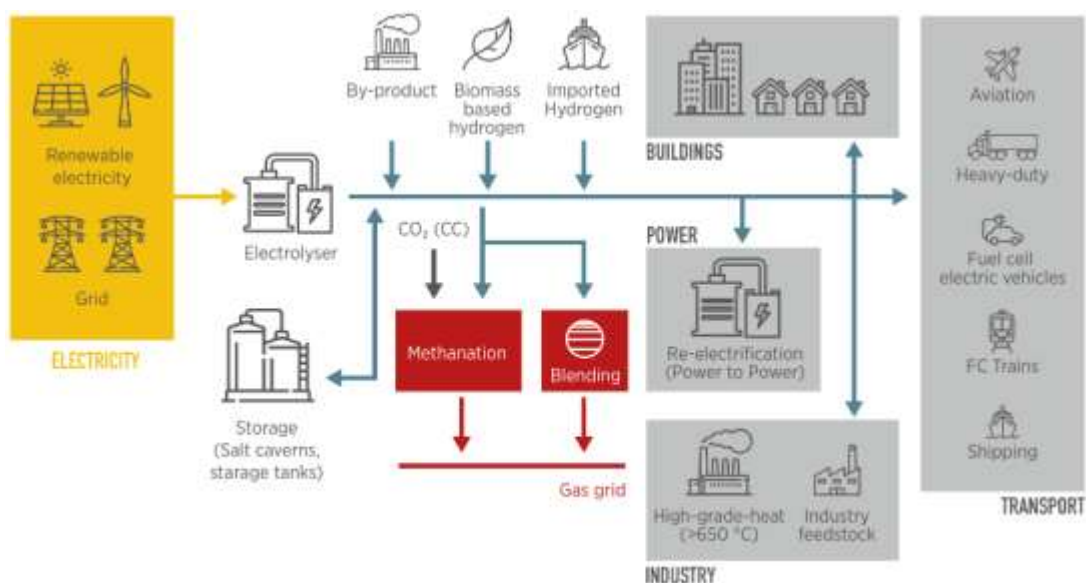
manjšem obsegu, tako da se večinoma ne uporabljajo za aplikacije, pri katerih so potrebne večje električne moči in kapacitete shranjene električne energije. Enote večjih moči in kapacitet so sestavljene iz več modulov. Tipični obsegi moči enega modula se gibajo med nekaj kilovati pa do približno megavata (kapaciteta do ene ure) [21].

Investicijski stroški

Danes se vztrajniki najbolj pogosto uporabljajo za izboljšanje kvalitete električne energije v industrijskih postrojih, za potrebe brezprekinitvenega napajanja za prekinitve s trajanjem do 10 minut ter regulacijo napetosti. Zaradi visokih investicijskih stroškov na enoto shranjene energije, tehnologija ni primerna za aplikacije, kjer so potrebne večje kapacitete. Investicijski stroški vztrajnikov se gibljejo med 1200 in 4900 EUR/kWh. Do leta 2030 se pričakuje, da bodo padli na nivo med 800 in 3200, pri čemer je pričakovati tudi podaljšanje tipične življenjske dobe [19]. Razvoj gre tudi v smeri povečanja energijske kapacitete (za več ur neprekinjenega obratovanja) za potrebe shranjevanja energije v EES kot tudi za uporabo v vozilih.

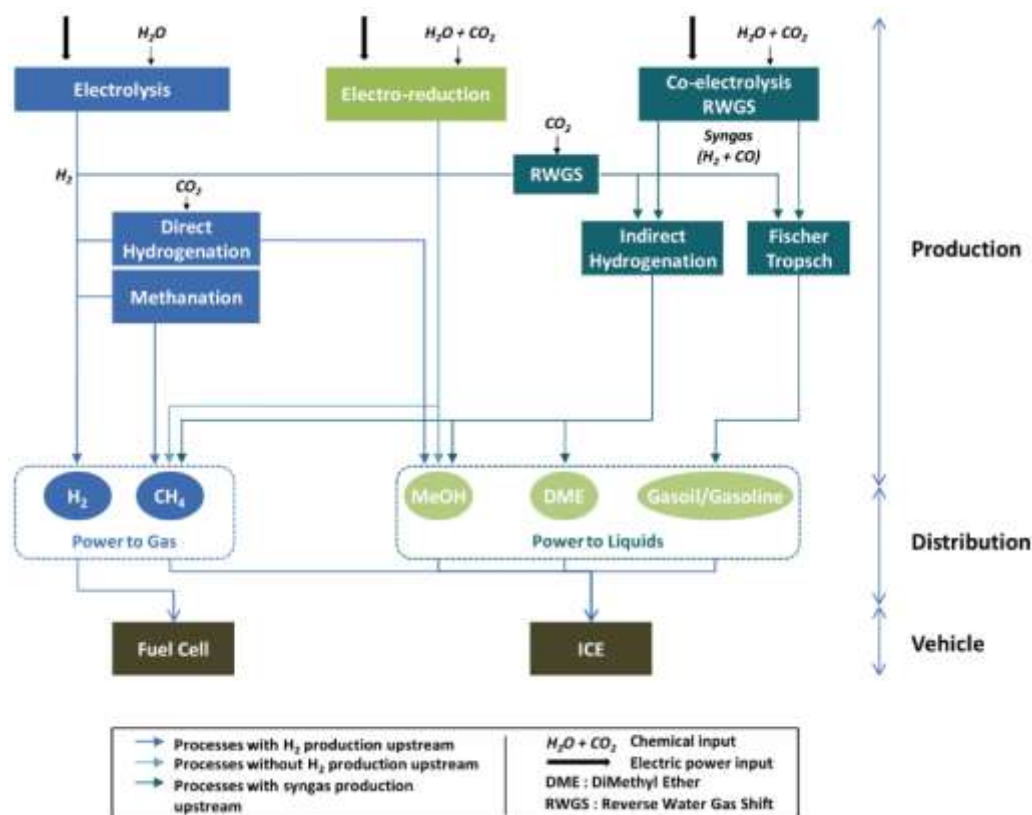
2.1.5 Power-to-Gas

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). Slika 20 prikazuje uporabo obnovljivih virov pri elektrolizi vodika, morebitni predelavi le-tega in končni uporabi [12].



Slika 20: Uporaba obnovljivih virov energije za uporabo vodika

Zaradi visoke koncentracije in uporabe obstoječe infrastrukture je vodik pridelan iz obnovljivih virov primeren tudi za širšo uporabo v transportu (Slika 21) [22].



Slika 21: Uporaba vodika in njegovih produktov v transportu

Do leta 2050 pričakujemo nekje okoli 16 TW inštalirane moči iz obnovljivih virov, ki bodo povečini zelo volatilni (npr. PV, vetrna energija). Takšno količino bo težko pokrivati s konvencionalnim skladiščenjem, zato je uvedba P2G tehnologije smiselna.

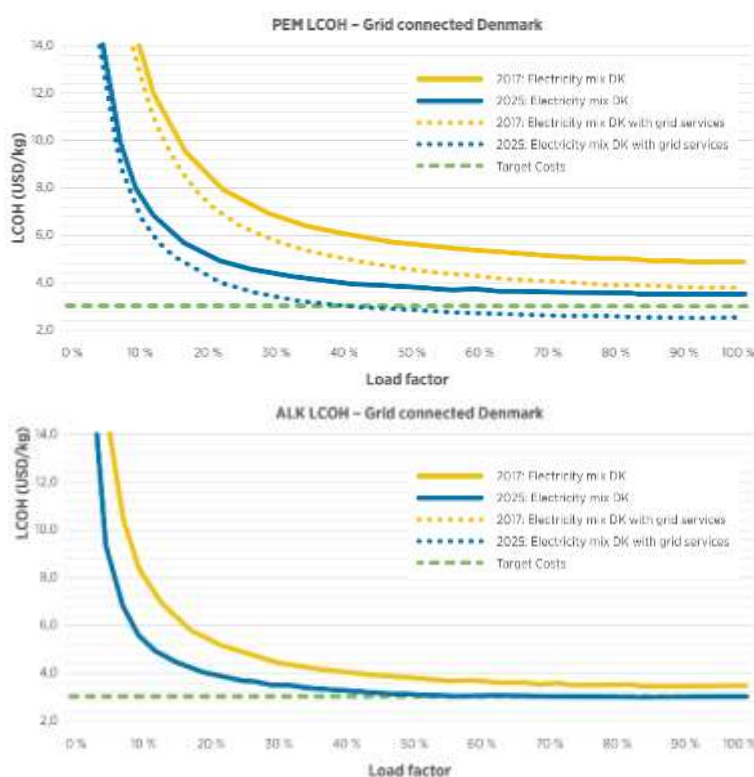
Tabela 2 navaja tehnološko ekonomske lastnosti alkalne (ALK) elektrolize in elektrolize s protonsko izmenjalno membrano (PEM) za leto 2017 in napoved za leto 2025 [12].

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

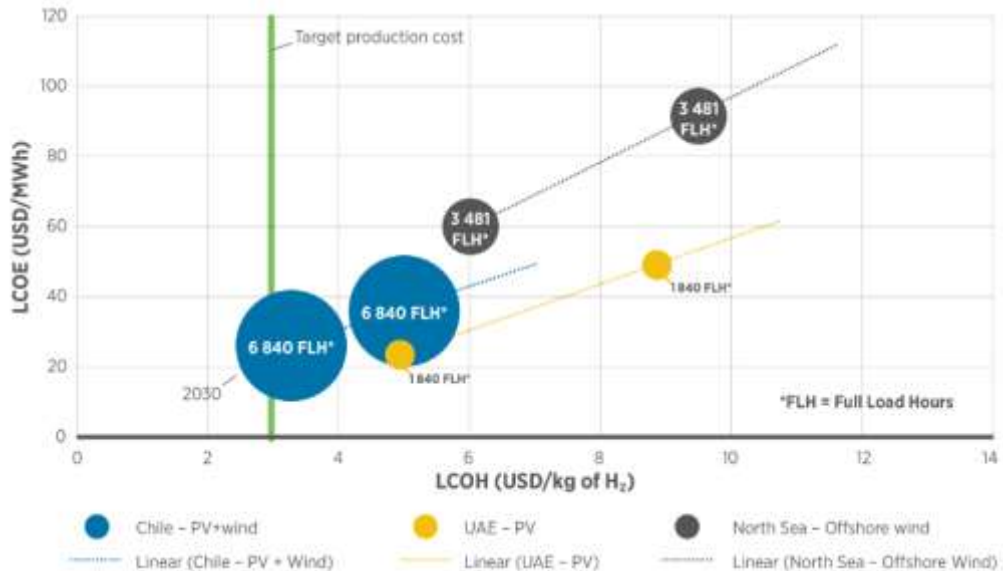
Operativne ure	[h]	80 000	90 000	40 000	50 000
Skupni stroški (CAPEX)	EUR/kW	750	480	1200	700
Operativni stroški (OPEX)	delež CAPEX [% na leto]	2 %	2 %	2 %	2 %
Obnova (CAPEX)	EUR/kW	340	215	420	210
Tipični tlak H₂	bar	atmosferski	15	30	60
Življenjska doba	leta	20		20	

Skaliranje tehnologije P2G pri zniževanju razpoložljivost (če kot vir uporabljamo nestalne obnovljive vire energije) je nekoliko slabše, saj se stroški (LCOH) hitro povečujejo. Slika 22 kaže odvisnost stroškov elektrolize vodika za ALK in PEM elektrolizo v odvisnosti od faktorja razpoložljivosti. Vneseni so podatki za leto 2017 (rumene črte) in predvidevanja za leto 2025 (modre črte). Ciljna vrednost 3 USD/kg H₂ je vrisana z zeleno črtkano črto. 1 kg H₂ ima 120-142 MJ energijske vrednosti, kar ustreza 33-39 kWh/kg [12]. Cena 3 USD/kg H₂ tako ustreza 80 EUR/MWh.



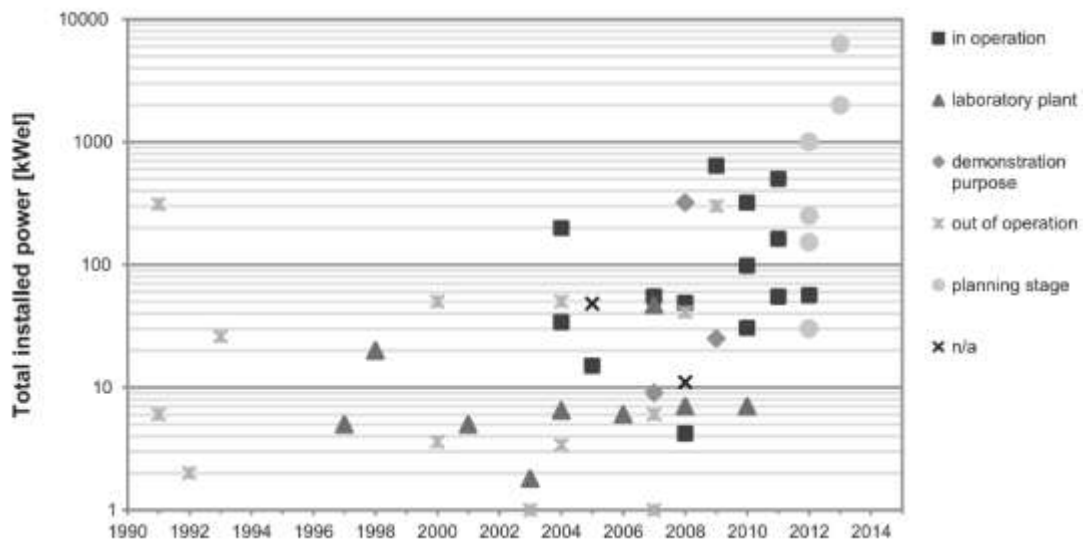
Slika 22: Stroški elektrolize vodika za ALK in PEM elektrolizo v odvisnosti od faktorja razpoložljivosti

Slika 23 prikazuje stroški energije vodika v odvisnosti od stroškov električne energije za elektrolizo in faktorja razpoložljivosti za elektrolizo PEM. Navedeni so trije primeri: Čile s kombinacijo PV in veter z razpoložljivostjo 6840 ur (78 %; modra barva), Severno morje z vetrno energijo in razpoložljivostjo 3481 ur (40%, siva barva) in Združeni arabski emirati s PV in 1840 ur (21%, rumena barva). Prikazano je stanje za leto 2017 in predvidena cena za leto 2030 (levi balončki) [12]. Hiter preračun za Slovenijo kaže, da je razpoložljivost sicer odvisna od potre, toda največja je nekje okoli 30 % [9].

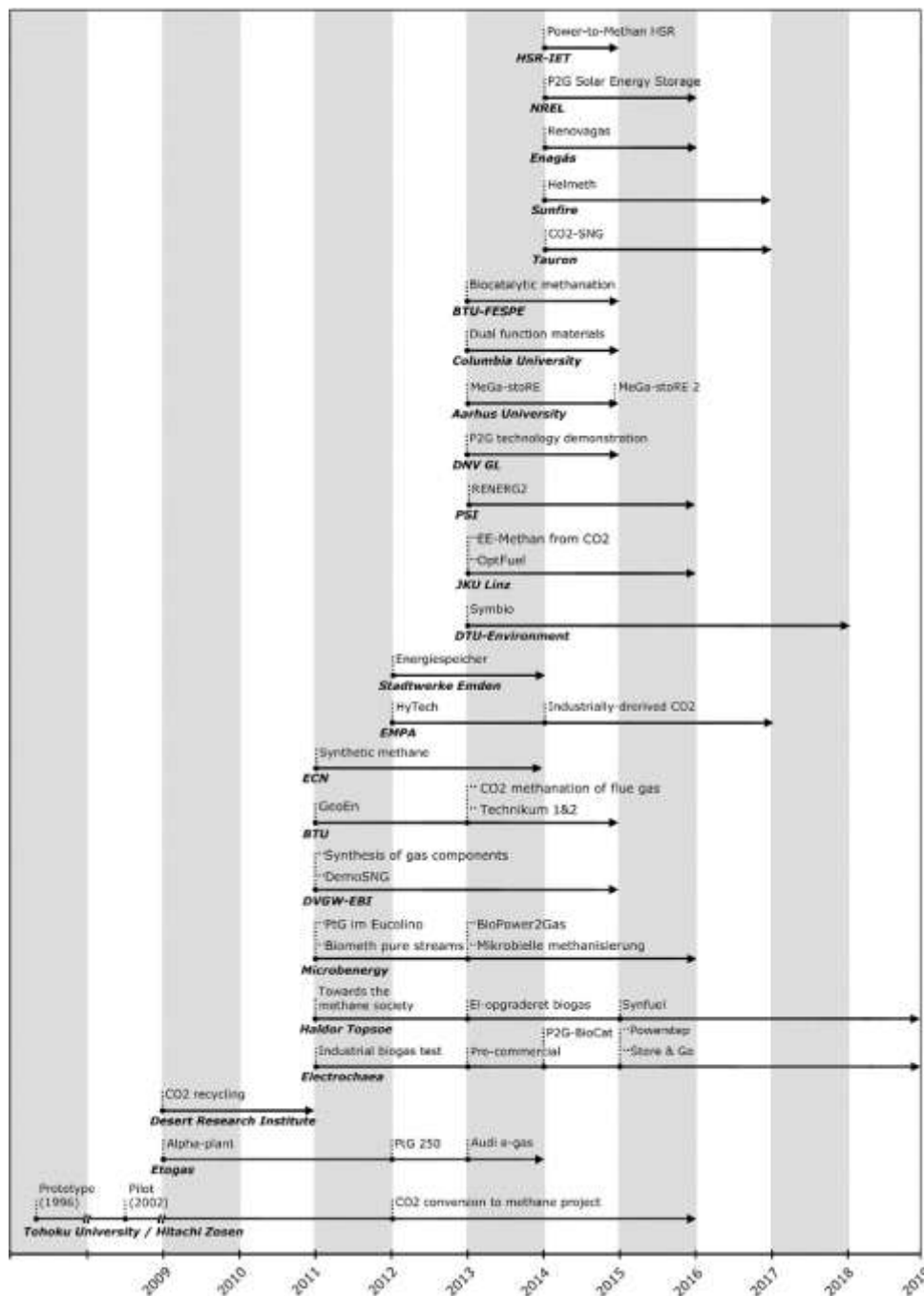


Slika 23: Stroški energije vodika v odvisnosti od stroškov električne energije in faktorja razpoložljivosti za elektrolizo PEM

Soliden pregled sistemov P2G je naveden v pregledu projektov [23], kjer je navedeno 44 različnih projektov po letu 2010. Slika 25 kaže grafični povzetek stanja P2G projektov, pri čemer so le nekateri trajni. Ker navkljub velikemu številu preizkusnih in pilotnih projektov še ni prišlo do večjih komercialnih, je razlog verjetno v še nedodelani tehnologiji.



Slika 24: Zgodovina pilotskih P2G projektov in njihova moč



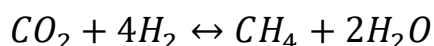
Slika 25: Časovni razpored obstoječih P2G projektov

Drug pregled projektov [24] prikazuje povečavo moči pilotskih P2G projektov, še posebej v zadnjem desetletju (Slika 24). V letih 2012 in 2013 smo tako dobili prve projekte, ki imajo več kot 1MW nazivne moči.

Pregled literature [23]–[28] kaže na to, da je tehnologija P2G še vedno v zagonski fazi. Čeravno se ciljna cena (~25-80 EUR/MWh) zdi ugodna [26], pa smo trenutno še precej oddaljeni od te, tako zaradi stroškov tehnologije kot tudi zaradi slabega faktorja razpoložljivosti, ki pa je seveda odvisen on narave uporabljenih obnovljivih virov.

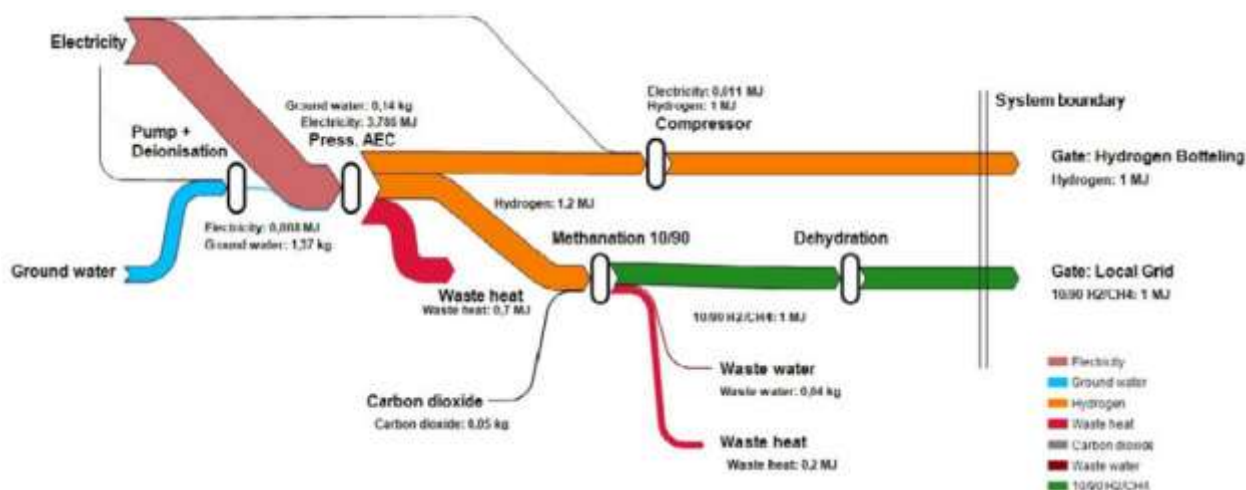
Prav tako cena generacije vodika pomeni dodaten strošek k cenam obnovljivih virov, kar seveda dela kombinacijo manj privlačno. Zato težnja po uporabi že obstoječe infrastrukture in ekonomije obsega z uporabo pri večjih napravah (npr. ladijski prevoz, tovorna vozila ipd.).

Neposreden produkt elektrolize je vodik, ki pa 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. Metanizacija je kemijska reakcija pri kateri iz vodika in ogljikovega dioksida pridobivamo metan in vodo⁸:



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). Mogoči sta dve verziji reakcije: katalitična in biološka metanizacija, zaradi industrijskega vpliva pa je bolj verjetna uporaba prve. 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).

Slika 26 kaže energijski tok elektroliznega in metanizacijskega procesa z dvema možnima produktoma: vodikom in/ali metanom [29].



Slika 26: Energijski tok elektroliznega in metanizacijskega procesa

Pri tem pa je je učinkovitost metanizacije močno odvisna od čistosti CO₂, pri čemer je najlažje neposredno zajemanje tega s CCS tehnologijami, na primer po izogrevanju v motorjih ali neposredni oksidaciji. Druga možnost zajem bioplina, ki je proizveden z anaerobna razgradnja biomase ali odpadkov. V tem primeru se metanacija lahko izvede z neposrednim dodajanjem vodika, saj je bioplina v glavnem sestavljen iz CO₂ in CH₄. Pri tem je potrebno poudariti, da je metanizacija 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 dosega 250–700 barov (pri temperaturi 293 K). Če upoštevamo 5% rezervo celoletne potrebe po električni energiji (ta za

⁸ Poleg tega je mogoče metan pridobivati tudi iz ogljikovega monoksida.

Slovenijo znaša 13 TWh), potrebujemo, z upoštevanjem približno 1/3 izkoristka nazaj v elektriko, 2.0 TWh energije v obliki vodika. Gorilna vrednost 1 kg vodika znaša 120-142 MJ, kar pomeni 33–39 kWh. Za 1 kWh torej rabimo 0.03 kg H₂. Stisnjen vodik (CGH₂) pa ima povprečno gostoto 30 kg/m³, kar za 1 kWh znese 0.001 m³ oziroma 1 l. Ustrezna rezerva bi torej bila 2 milijona m³ plina (pod tlakom 250-700 bar).

2.1.6 Potenciali

Podnebno-energetska politika EU temelji na povečevanju deleža OVE v energetske mešanici, tako da se tudi v prihodnje pričakuje hitra rast inštaliranih moči elektrarn na OVE. Predvsem se pričakuje prirast v kapacitetah vetrnih in sončnih elektrarn, za katere je značilna velika nepredvidljivost načrtovanja proizvodnje električne energije, kar bo vodilo do velikih odstopanj med napovedano in dejansko proizvodnjo električne energije. Že sedaj velik delež nepredvidljive proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov se bo v prihodnjih letih predvidoma še povečal, kar bo poslabševalo obratovalne pogoje EES in bistveno vplivalo na njihovo zanesljivost in kakovost oskrbe.

Hranilniki električne energije so ena izmed možnosti za povečanje fleksibilnosti EES, ki bi omogočal vključevanje večjega deleža OVE v EES. Sprememba strukture EES in manjšanje deleža konvencionalnih elektrarn, bo narekovala tudi drugačno zasnovo sistemskih storitev, ki bi jih lahko zagotavljali tudi hranilniki električne energije. V zadnjih letih je opazno tudi večanje viškov proizvodnje iz OVE, ki jih v danih obdobjih ni mogoče porabiti, vendar bi jih bilo mogoče z dovoljnimi kapacitetami hranilnikov shraniti.

Pri zagotavljanju zgoraj omenjenih nalog bodo imeli hranilniki električne energije konkurenco oz. se bodo pri določenih nalogah dopolnjevali s fleksibilnimi proizvodnimi enotami, sprotnim prilagajanjem porabe, nadgradnjami omrežja (večanje zmogljivosti za izmenjavo električne energije in s tem manjšanje viškov).

Med analiziranimi tehnologijami shranjevanja električne energije gre največji potencial uporabe (v luči sedanjih in predvidenih razmer) v EES pripisati ČE in baterijskim hranilnikom. ČE so že sedaj pomemben gradnik EES, uveljavljen kot zanesljiva in fleksibilna tehnologija, ki je trenutno ekonomsko najugodnejša za shranjevanje večjih količin električne energije. Na drugi strani so baterijski hranilniki, ki so se v preteklosti redko uporabljali za energetske zahtevnejše aplikacije v EES, vendar so zanimivi za prihodnje investicije, zaradi dobrih obetov na področju tehnološkega napredka in nižanja investicijskih stroškov.

Trenutno edina ČE v slovenskem EES, ČE Avče, je bila zgrajena leta 2009 in ima inštalirano moč 185 MW (180 MW v črpalnem režimu). V preteklosti je bilo predvideno tudi črpalno obratovanje HE Moste, ki pa ni bilo nikoli izvajano. Med načrtovanimi objekti se je v zadnjem obdobju v glavnem omenjalo le projekt izgradnje ČE Kozjak (projekt družbe Dravske elektrarne Maribor, d.d.). Projekt je vključen v aktualni razvojni načrt prenosnega omrežja družbe ELES [30], kjer je predvidena izgradnja do leta 2025. V navedenem obdobju je izgradnja ČE Kozjak malo verjetna, saj kazalci tržnih razmer niso dajali signala za gradnjo tovrstnega objekta. Zaradi velike inštalirane moči (420 MW v dveh enotah) bi bil objekt vključen na 400 kV napetostni nivo.

V preteklosti so bile izvedene tudi analize možnosti izgradnje ČE za področje reke Save. Med analiziranimi lokacijami sta največji potencial izkazovali lokaciji Matica in Požarje. Za objekta je bila predvidena inštalirana moč približno 200 MW. ČE Matica bi kot spodnji bazen izkoriščala akumulacijo načrtovane HE Suhadol, ČE Požarje pa akumulacijo HE Renke. V primeru realizacije omenjenih objektov bi bilo med drugim potrebno razrešiti tudi problematiko priključitve v prenosni sistem.

V primeru izkazanih potreb po hranilnikih električne energije v EES, bi se v Sloveniji lahko iskale še druge tehnično primerne lokacije za postavitev ČE, vendar so glavne omejitve za njihovo izgradnjo predvsem okoljske narave.

V slovenski EES v preteklosti ni bil priključen večji baterijski hranilnik električne energije. Družba ELES načrtuje [30] vgradnjo 10 MW baterijskih hranilnikov v Li-ion tehnologiji (v okviru projekta SINCRO.GRID), ki bi se uporabljali pretežno za zagotavljanje sistemskih storitev. O vgradnji baterijskih hranilnikov razmišljajo tudi v drugih elektroenergetskih podjetjih, vendar trenutno še ni javno dostopnih podrobnejših podatkov.

Nadaljnje vključevanje hranilnikov v EES bo odvisno od tehnološkega razvoja tehnologij, njihove ekonomske konkurenčnosti, energetske politike (finančne vzpodbude), razvoja trgov z električno energijo in sistemskimi storitvami ter ostalih dejavnikov.

2.1.7 Tehnični in ekonomski parametri tehnologij

Za potrebe shranjevanja električne energije je dandanes na razpolago širok nabor tehnologij. Njihove tehnično-ekonomske značilnosti so odvisne od mnogih dejavnikov (kot so specifični nameni uporabe, velikostni razredi naprav, zrelost tehnologij), zaradi česar jih je težko neposredno primerjati. Vseeno je v nadaljevanju podana primerjava osnovnega nabora parametrov, ki opredeljujejo možnosti rabe posamezne tehnologije.

V tabelah 3 do 5 je prikazana primerjava izkoristkov (celotni cikel polnjenja in praznjenja), življenjskih dob in specifičnih investicijskih stroškov (energijska komponenta) za različne tehnologije hranilnikov električne energije. Podatki so zbrani na podlagi različnih virov ([19], [17], [31]). Zaradi omenjene raznolikosti tehnologij in različnih virov podatkov, so podatki ponekod podani v obliki razponov, v katerih se gibljejo tipične vrednosti posameznih parametrov.

Podani so podatki za leto 2016, ki veljajo za današnje stanje tehnologij in ocena prihodnjega razvoja. Podatki za leto 2070 vsebujejo veliko mero negotovosti in predstavljajo vrednosti, ki bi lahko bile dosežene z nadaljnjim razvojem tehnologij. Določeni viri podajajo ekonomske parametre v ameriških dolarjih. Pri pretvorbi v evre je bil uporabljen povprečni letni tečaj ECB za leto 2016.

Tabela 3: Izkoristki cikla za hranilnike električne energije

Tehnologija		Izkoristek cikla (%)		
		2016	2030	2050
Baterije	Li-Ion	85-90	85-95	85-95
	NaS	80-85	85-87	85-90
	Pretočne	65-70	65-78	70-85
	Pb	80-82	83-85	85-93
Črpalna elektrarna		75-80	80-85	80-85
Hranilnik na stisnjen zrak		60-65	65-70	65-75
Vztrajnik		70-85	80-87	85-90

Tabela 4: Življenjske dobe hranilnikov električne energije

Tehnologija		Življenjska doba (leta)		
		2016	2030	2050
Baterija	Li-Ion	12-15	15-23	15-30
	NaS	15-20	20-30	20-40
	Pretočne	10-12	16-19	15-30
	Pb	8-12	10-15	10-20
Črpalna elektrarna		60-80	60-80	60-80
Hranilnik na stisnjen zrak		20-40	20-40	20-40
Vztrajnik		15-25	25-40	25-40

Življenjska doba pri hranilnikih električne energije je odvisna tudi od števila ciklov polnjenja in praznjenja. To je še posebej izrazito pri baterijskih hranilnikih, ki jim s številom opravljenih ciklov pada kapaciteta. Zato je za baterijske hranilnike življenjska doba pogosto podana s številom ekvivalentnih polnih ciklov (glej sliko 17). Življenjske dobe baterijskih hranilnikov v tabeli 4 so podane v koledarskih letih pri normalni uporabi, ki jo predvidi proizvajalec. Pri netipično uporabi se lahko življenjska doba drastično zmanjša (npr. pri uporabi baterijskih hranilnikov za regulacijo frekvence v EES).

Tabela 5: Specifični stroški investicije za hranilnike električne energije

Tehnologija		Specifični investicijski strošek (EUR/kWh)		
		2016	2030	2050
Baterije	Li-Ion	350-1050	150-500	75-150
	NaS	370	160	50-150
	Pretočne	350	120	50-100
	Pb	150-250	75-150	75-150
Črpalna elektrarna		15-80	15-80	15-80
Hranilnik na stisnjen zrak		40-70	35-60	35-60
Vztrajnik		500-3000	<2000	<350

Investicijski stroški hranilnikov električne energije imajo komponento odvisno od inštalirane moči (EUR/kW) in komponento odvisno od shranjene energije (EUR/kWh). Močnostna komponenta zajema strošek sistemov za prilagajanje moči in pomožnih sistemov, medtem ko energijska komponenta, predstavlja strošek shranjevalnih kapacitet (baterija, akumulacijski bazen pri ČE, vztrajnik). Celotni strošek hranilnika pa predstavlja vsota omenjenih komponent.

2.1.8 Trendi v kapaciteti, specifični moči in cenah baterij za vozila

V trenutnem in prihajajočem obdobju se zdijo aktualne predvsem naslednje tehnologije shranjevanja električne energije za aplikacije manjšega obsega kot so na primer električna vozila:

- Li-ion,
- Li-žveplo,
- Li-zrak

V nadaljevanju so navedene projekcije tehničnih in ekonomskih njihovih karakteristik. Za leti 2060 in 2070 študije še ne navajajo podatkov. Sklepamo lahko na nadaljnje izboljšave skladne s preteklimi trendi.

Tabela 6: Li-ion velika specifična energija

	Kapacitete [Wh/kg]	Specifična vršna moč [kW/kg]	Življenjska doba [ciklji]	Cena [EUR/kWh]
2020	250	1000	>1000	250
2030	300	2000	>2000	120
2040	320	?	>3000	90
2050	340	?	?	70

Tabela 7: Li-ion velika specifična moč

	Kapacitete [Wh/kg]	Specifična vršna moč [kW/kg]	Življenjska doba [ciklji]	Cena [EUR/kWh]
2020	150	3000	>1000	400
2030	200	4000	>2000	200
2040	230	5000	>3000	120
2050	250	?	?	80

Tabela 8: Li-S

	Kapacitete [Wh/kg]	Specifična vršna moč [kW/kg]	Življenjska doba [ciklji]	Cena [EUR/kWh]
2020	300	1	300	2500
2030	500	2	1500	500
2040	>500	3	2000	90
2050	>500	>3	>2000	70

Tabela 9: Li-zrak

	Kapacitete [Wh/kg]	Specifična vršna moč [kW/kg]	Življenjska doba [ciklji]	Cena [EUR/kWh]
2020	<1	<1	1009	>10000
2030	<100	<100	500	>1000
2040	500	1000	1000	<1000
2050	1000	2000	>1000	<200

Na preostala vrednost akumulatorja lahko sklepamo iz podatka, da se za električna vozila iz strani proizvajalcev v garancijskih rokih tretira baterije kot uporabne do točke, ko premorejo še 80 % začetne kapacitete. Seveda bodo v praksi uporabljene nekoliko dlje, npr. tudi do 50, 60 ali 70 % cele kapacitete. V povprečju verjetno lahko uporabimo predpostavko o 60 %.

Mehanizmi staranja baterij so različni, praviloma pa se ne manjša le kapaciteta ampak se nižajo tudi izkoristki energije in skupna moč. Baterija s 60 % kapacitete ima tako upoštevajoč nižji izkoristek uporabno rednost le v obliki 50 %.

Za samo uporabo baterij v razne druge namene bo kar nekaj dela in stroškov z odstranitvijo iz vozila, prevozom, testiranjem, integracijo v nov sistem in podobno. Zelo verjetno lahko pričakujemo, da bo cena baterij po odstranitvi iz vozil precej pod četrtnino njihove začetne vrednosti, pri čemer so morda realne vrednosti med 5 in 10 %.

2.2 Shranjevanje toplote

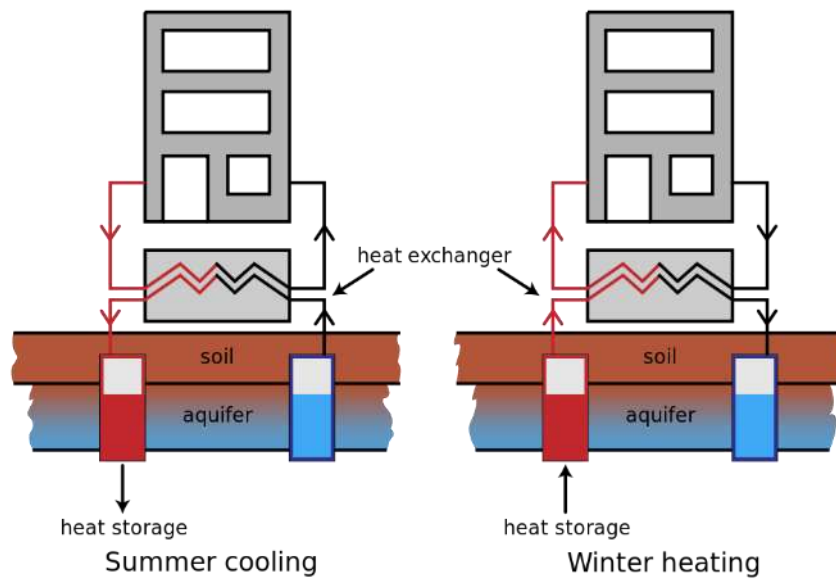
Shranjevanje toplote (ang. *Thermal energy storage, TES*, Slika 27) je tehnologija, ki zaloge toplotne energije bodisi zaradi ogrevanja ali hlajenja shranjuje in kasneje uporablja za ogrevanje in hlajenje ter proizvodnjo energije. Sistemi TES se uporabljajo predvsem v zgradbah in industrijskih procesih. 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 uravnotežiti 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 [32].

Tabela 10 povzema lastnosti sistemov za shranjevanje toplotne energije. Kratkotrajne shranjevanje tu ni najbolj smiselno, zato je primarna uporaba za srednjeročno in sezonsko shranjevanje, čeprav cena shranjevanja še vedno ostaja pomemben faktor.

⁹ Rezultati FP7 projekta STABLE, kjer je bil Elaphe tudi partner.

Tabela 10: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij shranjevanja električne energije

Lastnosti	Podrobno	Opis
Tehnične karakteristike tehnologij	Učinkovitost	25% (Senzibilna) 99 % (TCS)
	Tipična velikost	1 kW (Senzibilna, PCM)) do 10 MW (senzibilna)
	Možnost skaliranja	Da, do 10 000×
	Časovna namebnost	Kratkoročno (ure, dnevi): / Srednjeročno (tedni): TCS Dolgoročno (sezonsko): deloma PCM, senzibilna (topla voda)
Ekonomske karakteristike tehnologij	Štrošek investicije	Srednje do velik: 0.25 (sezonsko) – 750 (bufer) €/ kW _{el}
	LCOE	1 – 100 €/kWh _{el}
Perspektiva razvoja do leta 2050	Pomembno vplivati na razpoložljivost obnovljive energije, zmanjševanje cene v obdobjih pomanjkanja energije ipd.	
Ekonomski in tehnični potenciali po sektorjih	Zanimivo za gospodinjstva in industrijo, manj zanimivo za transport	
Ključni izzivi do leta 2030	Nižanje cen in prostorsko umeščanje (večje elektrarne)	
Diskusija okoljske karakteristike	Deloma prostor in spremembe v lokalni temperaturi	



Slika 27: Shema delovanja sistema za shranjevanje toplote (shranjevanje toplote v vodonosniku ATEs)



Slika 28 prikazuje dva shranjevalnika v bližini: akumulacijski stolp daljinskega ogrevanja od Theiss pri Kremsu na Donau v Spodnji Avstriji s toplotno zmogljivostjo 2 GWh in stolp za shranjevanje toplote v Bozen-Bolzanu, Južna Tirolska, Italija [33] ter veliko skladišče tople vode "Am Ackermann-bogen" v Münchnu, Nemčija.



Slika 28: akumulacijski stolp daljinskega ogrevanja od Theiss pri Kremsu na Donavi v Spodnji Avstriji s toplotno zmogljivostjo 2 GWh (levo) in stolp za shranjevanje toplote v Bozen-Bolzanu, Južna Tirolska, Italija (desno) ter velik shranjevalnik toplote “Am Ackermann-bogen” v Münchnu, Nemčija (gradnja spodaj levo in končno stanje spodaj desno).

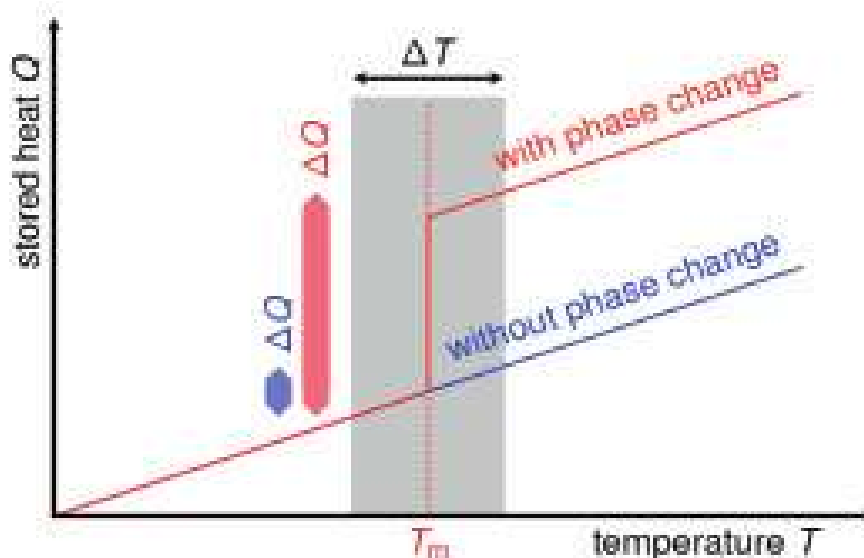
Poleg tega lahko pretvorba in skladiščenje pogosto spremenljive energije iz obnovljivih virov (npr. off-peak termini) v obliki toplotne energije prispeva tudi k povečanju deleža obnovljivih virov energije v mešanici energetskega virov.

TES postaja še posebej pomemben za shranjevanje električne energije 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 [33], 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.

- Shranjevanje latentne toplote z uporabo materialov s fazno spremembo ali PCM (npr. iz trdnega stanja v tekoče stanje). Slika 29 shematsko kaže razliko v delovanju med sistemoma za shranjevanje senzibilne in latentne toplote.



Slika 29: Shranjenja toplota v odvisnosti od temperature za senzibilne (brez fazne spremembe) in latentne sisteme (s fazno spremembo)

- 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. Več razvijalcev v Nemčiji, Sloveniji, na Japonskem, v Rusiji in na Nizozemskem se ukvarja z novimi materiali in tehnikami za vse sisteme TES, vključno z njihovim vključevanjem v zidove stavb (npr. s kapsuliranjem materialov za fazno spremembo v omet ali prezračevalne šobe) in prenosom toplotne energije iz enega kraja v drugega. Te nove aplikacije se šele zdaj tržijo, njihove stroške, učinkovitost in zanesljivost pa je treba preveriti.

2.2.1 Stanje tehnologije

Shranjevanje toplote vključuje različne tehnologije. Toplota se lahko hrani pri temperaturah od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do več kot $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Skladiščenje toplote v obliki senzibilne temelji na specifični toploti medija za shranjevanje, ki se običajno hrani v skladiščnih posodah z visoko toplotno izolacijo. Najbolj priljubljen in komercialni medij za shranjevanje toplote je voda, ki ima številne stanovanjske in industrijske aplikacije. Podzemno skladiščenje občutljive toplote v tekočih in trdnih medijih se uporablja tudi za običajno velike aplikacije. Vendar sistemi TES, ki temeljijo na shranjevanju senzibilne toplote, zagotavljajo zmogljivost shranjevanja, ki je omejena s specifično toplotno medija za shranjevanje. Materiali s spremembo faze (PCM) lahko izboljšajo zmogljivost

shranjevanja, ki je povezana z latentno toploto spremembe faze. PCM-ji omogočajo tudi ciljno usmerjeno izpustno temperaturo, ki jo določa konstantna temperatura fazne spremembe. Termokemični skladiščni prostori (TCS) imajo še večje zmogljivosti za shranjevanje. Termokemične reakcije (npr. adsorpcija ali adhezija snovi na površino druge trdne snovi ali tekočine) se lahko uporabijo za zbiranje in odvajanje toplote in hladu na zahtevo (tudi uravnavanje vlažnosti) v različnih aplikacijah z uporabo različnih kemičnih reaktantov. Trenutno so TES sistemi, ki temeljijo na senzibilni toploti, komercialno dostopni, medtem ko so sistemi za shranjevanje na osnovi TCS in PCM večinoma v razvoju in predstavitvi.

Tabela 11 povzema glavne aplikacije različnih tehnologij TES [33].

Tabela 11: Opis glavnih segmentov aplikacij za različne tehnologije TES

Aplikacija	Dnevno shranjevanje	Medsezonsko shranjevanje
Daljinsko ogrevanje	<ul style="list-style-type: none"> • Rezervoar T-TES • Materiali s spremembo faze PCM • Termo-kemične reakcije TCS 	<ul style="list-style-type: none"> • Rezervoar T-TES • Jama P-TES • Vrtina B-TES • Vodonosnik A-TES • Termo-kemične reakcije THS
Ne-gospodinjaska uporaba	<ul style="list-style-type: none"> • Rezervoar T-TES • Materiali s spremembo faze PCM • Termo-kemične reakcije TCS 	<ul style="list-style-type: none"> • Rezervoar T-TES • Vrtina B-TES • Vodonosnik A-TES • Termo-kemične reakcije THS
Uporaba v gospodinjstvih	<ul style="list-style-type: none"> • Rezervoar T-TES • Materiali s spremembo faze PCM 	<ul style="list-style-type: none"> • Jama P-TES • Vrtina B-TES • Vodonosnik A-TES

2.2.2 Uspešnost in stroški

Skladiščenje toplote vključuje številne različne tehnologije, od katerih ima vsaka svojo specifično zmogljivost, uporabo in stroške. Sistemi TES, ki temeljijo na skladiščenju senzibilne toplote, omogočajo skladiščenje od 10 do 50 kWh/t in skladiščenje med 50-90 %, odvisno od specifične toplote medija za shranjevanje in tehnologije toplotne izolacije. Materiali za spremembo faze (PCM) lahko izboljšajo zmogljivost shranjevanja in učinkovitost shranjevanja na 75-90%. V večini primerov skladiščenje temelji na spremembi trdne/tekoče faze z gostoto energije, ki znaša 100 kWh/m³ (npr. led). Termokemični sistemi za shranjevanje (TCS) lahko dosežejo zmogljivost shranjevanja do 250 kWh /t, pri čemer so obratovalne temperature nad 300 °C in učinkovitost od 75 % do skoraj 100 %. Stroški celotnega sistema za smiselno shranjevanje toplote se gibljejo med 0, 1-10 / kWh, odvisno od velikosti, uporabe in tehnologije toplotne izolacije. Stroški sistemov PCM in TCS so na splošno višji. V teh sistemih so veliki stroški povezani s tehnologijo prenosa toplote (in mase), ki jo je treba namestiti, da se doseže zadostna moč polnjenja / praznjenja. Stroški sistemov za shranjevanje z toplote, ki temeljijo na PCM, se gibljejo med 10-50 EUR/kWh, medtem ko TCS stane 4 Skladiščenje toplotne energije. Tehnologija Brief je ocenjena na 8-

100 EUR/kWh. Ekonomska upravičenost TES je močno odvisna od potreb po uporabi in delovanju, vključno s številom in pogostostjo ciklov shranjevanja.

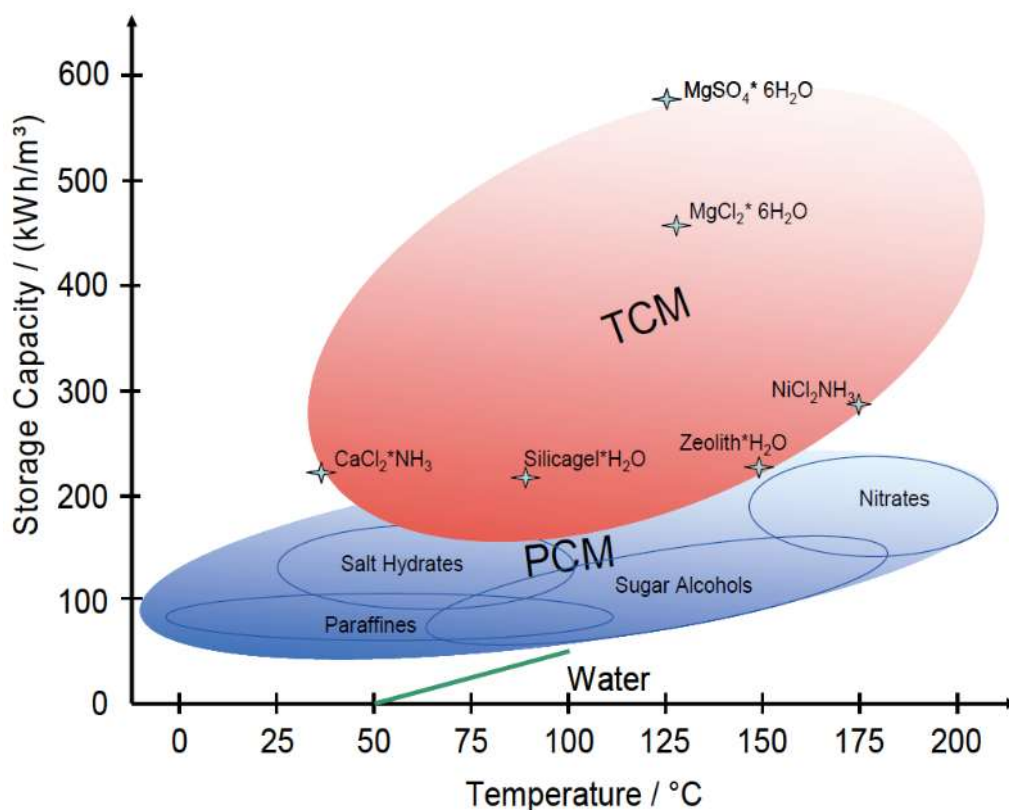
2.2.3 Potencial in ovire

Skladiščenje toplote (običajno iz obnovljivih virov energije, odpadne toplote ali proizvodnje presežne energije) lahko nadomesti proizvodnjo toplote in hladu s fosilnimi gorivi, zmanjša emisije CO₂ in zmanjša potrebo po dragih vršnih in toplotnih zmogljivostih. V Evropi je bilo ocenjeno, da bi z večjo uporabo toplote in hladilnic bilo mogoče prihraniti približno 1,4 milijona GWh na leto in 400 milijonov ton emisij CO₂ v gradbenem in industrijskem sektorju. Vendar se tehnologije TES soočajo z nekaterimi ovirami za vstop na trg. V večini primerov je strošek velik problem. Sistemi za shranjevanje, ki temeljijo na TCS in PCM, potrebujejo tudi izboljšave stabilnosti zmogljivosti shranjevanja, ki je povezana z lastnostmi materiala. Tabela 12 prikazuje tipične parametre sistemov za shranjevanje toplote.

Tabela 12: 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

Slika 30 kaže odvisnost kapaciteta shranjevanja in temperatura za različne tehnologije shranjevanja toplote.



Slika 30: Kapaciteta shranjevanja in temperatura za različne tehnologije shranjevanja toplote

Tabela 13 prikazuje ekonomsko izvedljivost sistemov TES kot funkcije števila ciklov skladiščenja letno.

Tabela 13: Ekonomska izvedljivost sistemov TES kot funkcije števila ciklov skladiščenja letno

	Število ciklov na leto per year	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	900	450,000	22,500	225
Buffer shranjevanje	3,000	1,500,000	75,000	750

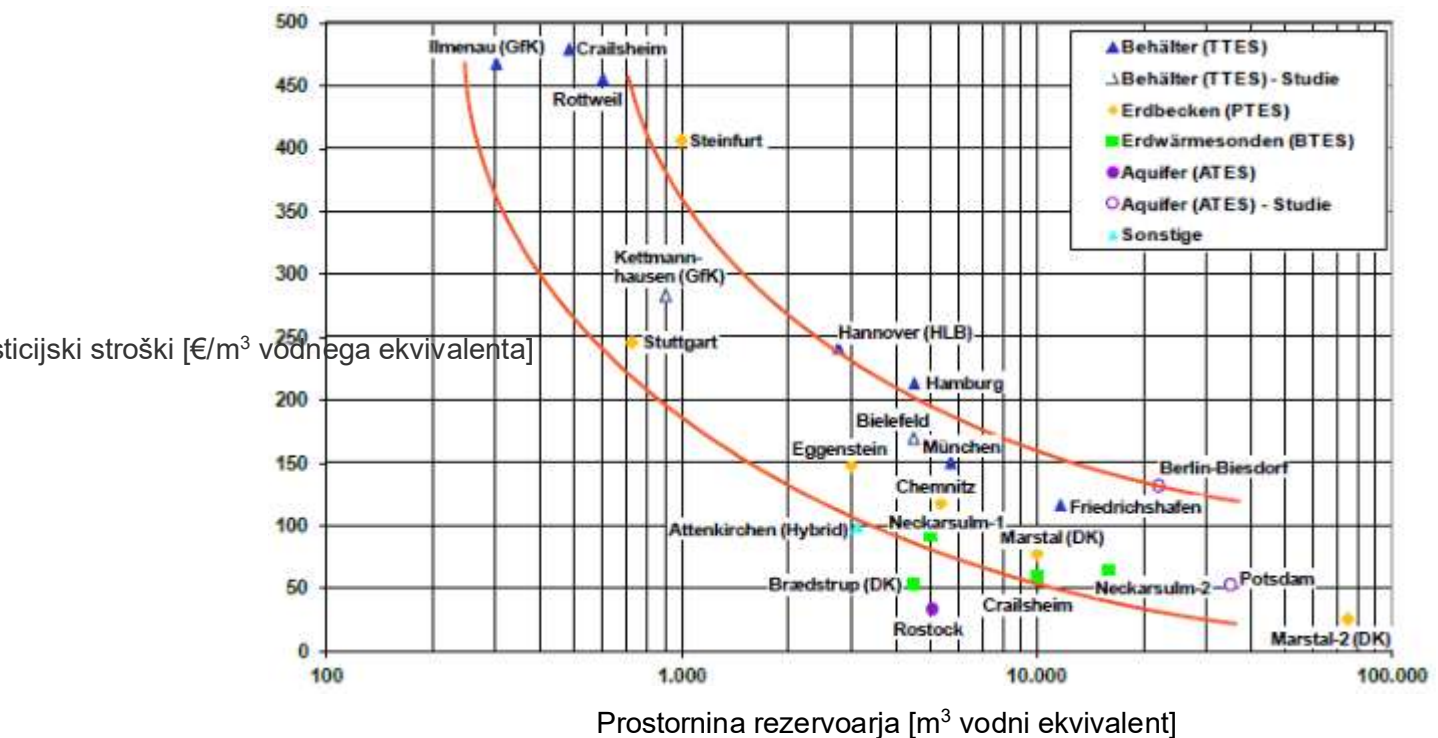
Tabela 14 prikazuje povzetek v obliki ključnih podatkov za tehnologije toplotne shranjevanja [32].

Tabela 14: Povzetek: ključni podatki za tehnologije toplotne shranjevanja

Tehnična zmogljivost		Tipične trenutne mednarodne vrednosti in razponi		
Energy Input/Output		Sončna toplota, odpadna toplota, spremenljivi obnovljivi viri energije (PV, veter), električna energija / toplota		
Tehnologija		Shranjevanje senzibilne toplote, STES	Shranjevanje latentne toplote, PCM	Termo-kemisjko shranjevanje, TCS
Kapaciteta	kWh/t	10 - 50	50 - 150	120 - 250
Toplotna moč	MW	0.001 - 10	0.001 - 1	0.01 - 1
Učinkovitost	%	50 - 90	75 - 90	75 - 100
Obdobje shranjevanja	h,d,t,m	d - y	h - w	h - d
Cena	€/kWh	0.1 - 10	ott-50	8 - 100
Tehnična življenjska doba	leta	10-30+ (odvisno od ciklov shranjevanja, temperature in delovnih pogojev)		
Faktor obremenitve (zmogljivosti)	%	80	80	55
Maks. razpoložljivost	%	95	95	95
Tipična zmogljivost	MW	25	0.5	100
Nameščena zmogljivost	GW	9–10 (vsi tipi)	<<1	18 (ocena)
Okoljski vpliv		Zanemarljivo, z zmanjšanjem emisij toplogrednih plinov, odvisno od količine primarne fosilne energije, shranjene pri shranjevanju energije		
Stroški	USD 2008	Tipične trenutne mednarodne vrednosti in razponi		
Investicijski stroški	\$/kW	3400 – 4500	6000 – 15,000	1000 – 3000
Stroški vzdrževanja	\$/kW/a	120	250	20 – 60

Tehnična zmogljivost		Tipične trenutne mednarodne vrednosti in razponi		
Stroški goriva	\$/MWh	N/A	N/A	N/A
Ekonomska življenjska doba	leta	20		
Skupni proizvodni stroški	\$/MWh	80 – 110	120 – 300	25 – 75
Tržni delež	%	0.25	Zanemarljiv	N/A

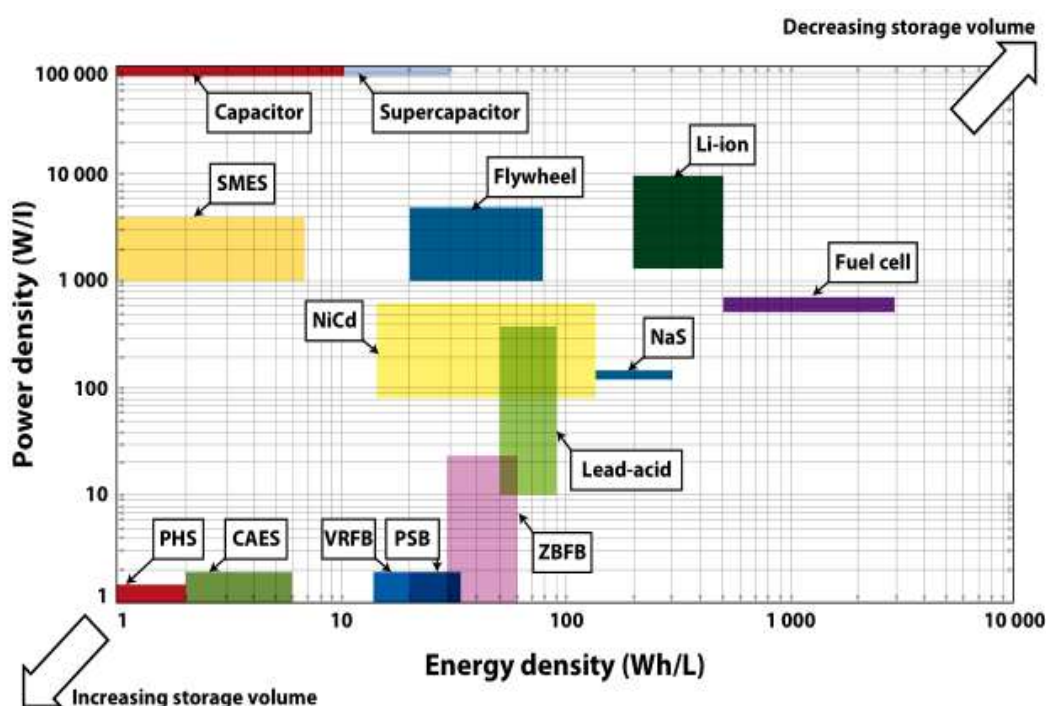
Slika 31 kaže, da sta zmanjšanje stroškov in obseg shranjevanja jasno povezana na primerih številnih nemških in drugih evropskih medresorskih projektov TES [34]. Pri tem je razvidno, da manjše naprave za shranjevanje potrebujejo precej velike relativne investicijske stroške, kar lahko omeji doseg tehnologije, kar je zaključek, ki je opisan tudi v [35].



Slika 31: Povezava med prostornino in investicijskimi stroški številnih nemških in drugih evropskih medresorskih projektov TES

3 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) [36]. 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).



Slika 32: Primerjava gostote moči in gostote energije za izbrane tehnologije shranjevanje energije

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% [37]) 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 hitro povečuje.

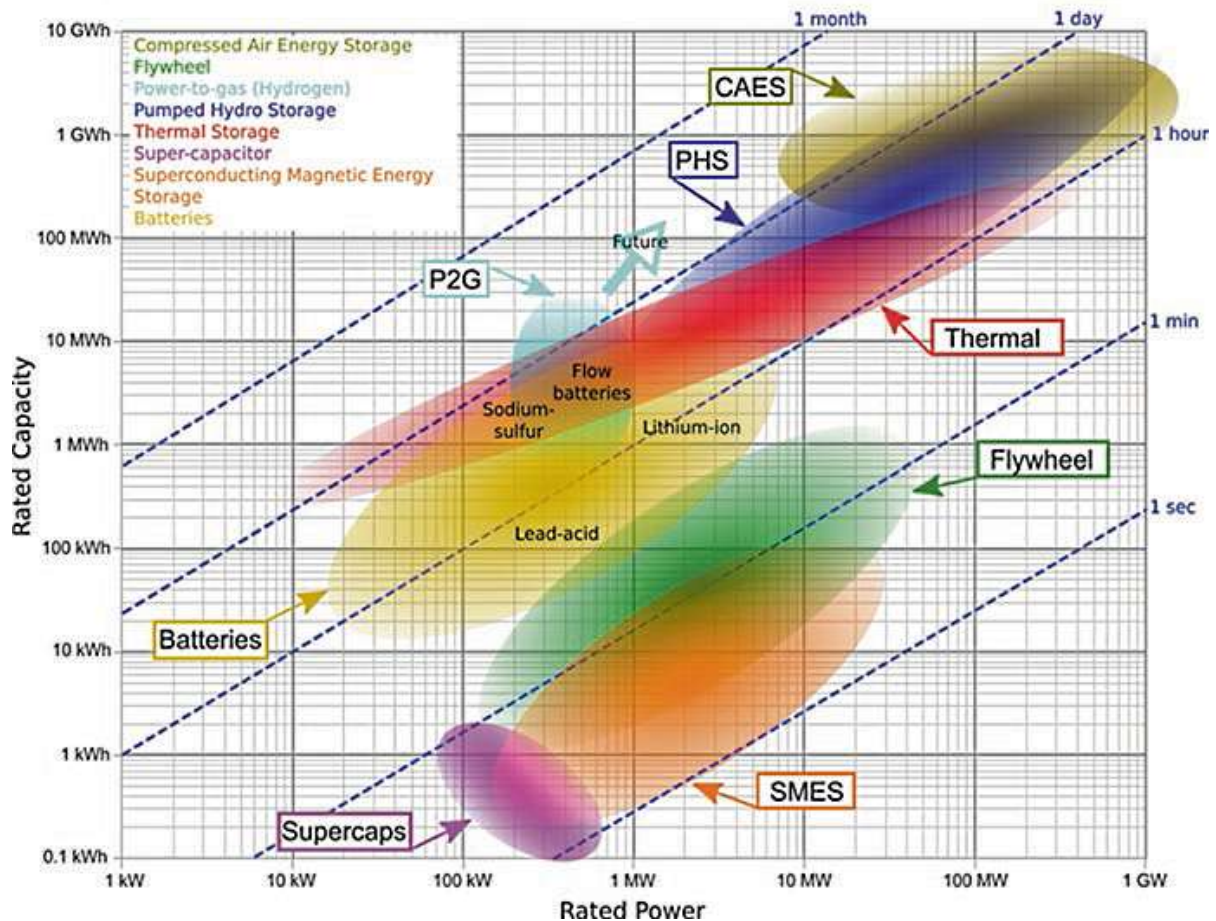
Trenutni sistem za zagotavljanje tovrstne stabilnosti temeljijo na podpori ostalih tipov energije – tako iz obnovljivih kot tudi neobnovljivih virov. V slednjem pa levji delež prispevajo fosilna goriva, zato je veliko raziskovalnih aktivnosti namenjeno diverzifikaciji virov (gradnja daljnovodov z visoko kapaciteto) ali zamiku porabe ter shranjevanju energije. Tabela 15 prikazuje tehnične in

ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij shranjevanja energije pomebnih za razvoj drugih tehnologij. Razvoj shranjevalnih tehnologij je že imel pomemben vpliv na večji razmar uporabe obnovljive energije, zaradi počasnejšega uveljavljanja hranilnikov toplote pa se verjetno ključni preboj pričakuje prav na tem področju [38].

Tabela 15: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij shranjevanja energije pomebnih za razvoj drugih tehnologij

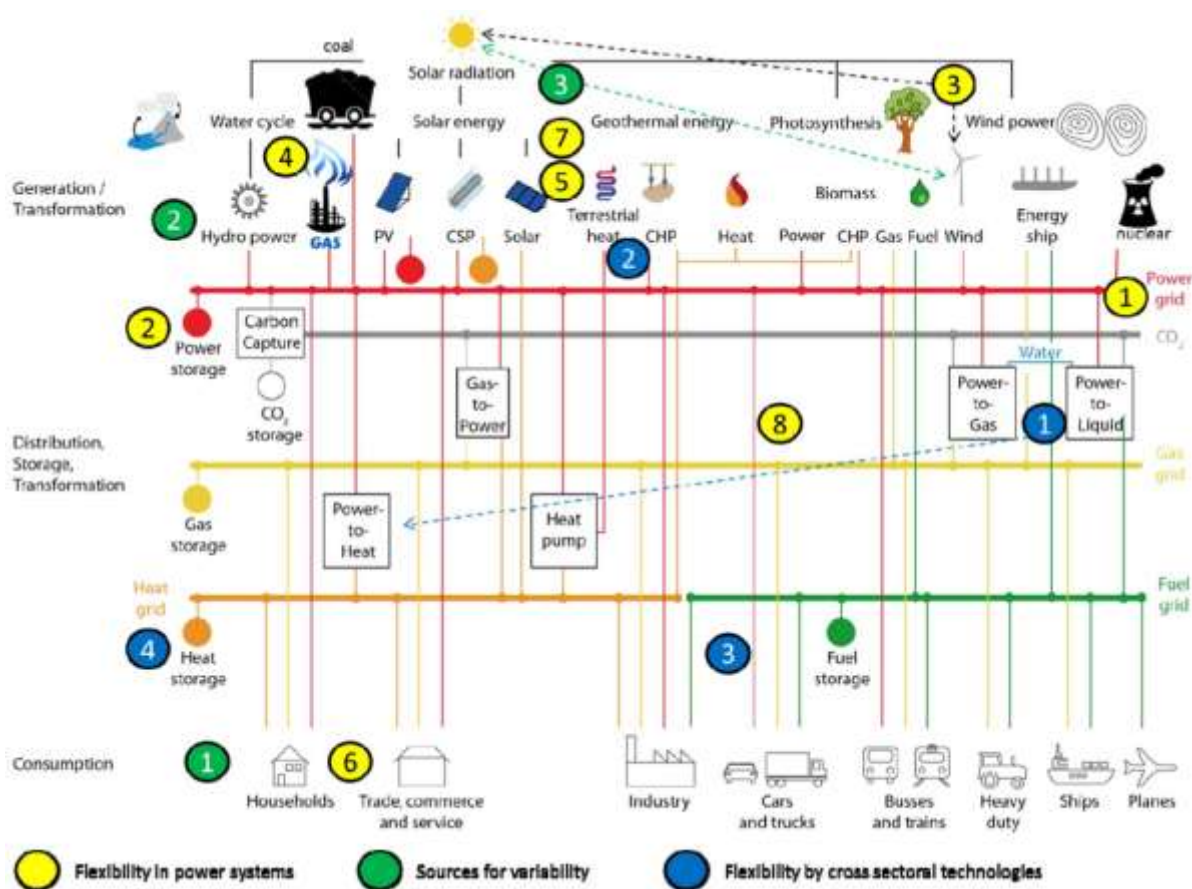
Lastnosti	Podrobno	Opis
Tehnične karakteristike tehnologij	Učinkovitost	25% (P2G pri upoštevanju razpoložljivosti energije ipd). 25% (Senzibilna) 60 % (hranilniki na stisnjen zrak) 90 % (Li-ion baterije) 99 % (TCS)
	Tipična velikost	1 kW (baterije) do 1 GW (črpalne elektrarne, hranilniki na stisnjen zrak, P2G)
	Možnost skaliranja	Da, nekatere tehnologije (npr. baterije)
	Časovna namebnost	Kratkoročno (ure, dnevi): večina tehnologij Srednjeročno (tedni): črpalne elektrarne Dolgoročno (sezonsko): P2G, deloma
Ekonomske karakteristike tehnologij	Štrošek investicije	Srednje do velik: 0.25 €/ kW _{el} za sezonsko shranjevanje toplote 20 €/ kW _{el} črpalne elektrarne 1000 €/kW _{el} Li-ion baterije
	LCOE	1 – 120 €/kWh _{el}
Perspektiva razvoja do leta 2050	Pomembno vplivati na razpoložljivost obnovljive energije(!)	
Ekonomski in tehnični potenciali po sektorjih	Hitro uveljavljanje: Transport (elektrika!) Srednje-hitro uveljavljanje: gospodinjstva Počano uvajanje: Industrija	
Ključni izzivi do leta 2030	Nižanje cen Prostorsko umeščanje (črpalne elektrarne) Skaliranje pri zmanjšani razpoložljivosti, pogon na obnovljive vire (P2G) (!)	
Diskusija okoljske karakteristike	Vpliv novih kemijskih postopkov (baterije) Prostor (črpalne elektrarne)	

Slika 33 kaže različne tehnologije shranjevanje energije, pri čemer so le-te osredotočene na kratkotrajna shranjevanja [39], [40]. Takšni načini shranjevanja (npr. Li baterije) že omogočajo, da se pokrijejo poletne potrebe po energiji posameznih gospodinjstev. Zmožnost obstoječih baterij za dopolnitev fotovoltaičnih inštalacij za samooskrbo je raziskalo že precej avtorjev, na primer [41]–[43].



Slika 33: Tehnologije za shranjevanje energije

Slika 34 shematsko prikazuje pozitiven vpliv shranjevanja energije na prožnost celotnega energetskega sistema [8].



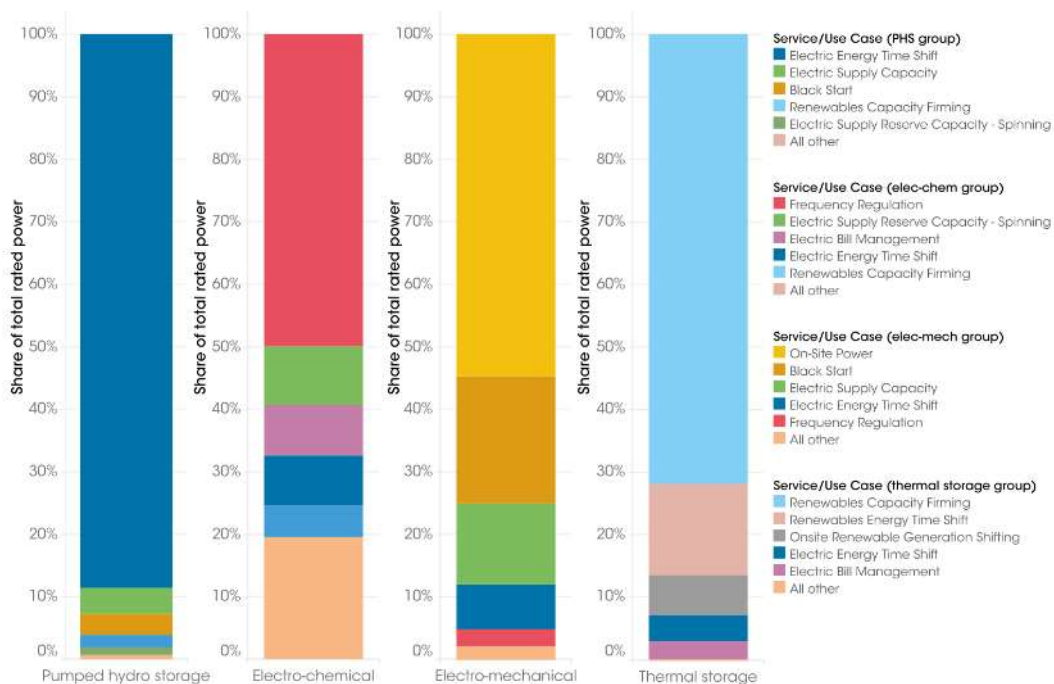
Slika 34: Energetski sistem z različnimi tipi shranjevanja, ki omogočajo prožnost.

3.1 Shranjevanje električne energije

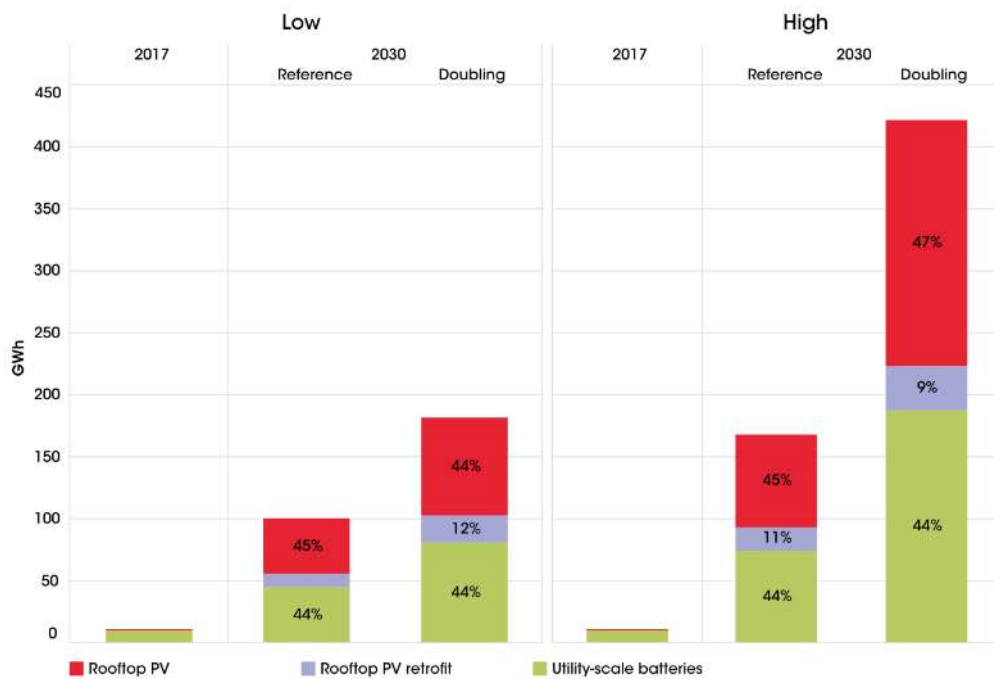
Skladiščenje električne energije bo imelo ključno vlogo pri omogočanju naslednje faze energetskega prehoda k obnovljivim virom. Skupaj s povečanjem proizvodnje sončne in vetrne energije bo omogočil hitro razogljichenje ključnih segmentov energetskega trga [44]. Razogljichenje v sektorju proizvodnje električne 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 razogljichenje 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 prometi sektor, omogoča učinkovite 24-urne sončne sisteme brez povezave v omrežje (Solar Plus) in podpira mikro-omrežja ob 100% uporabi obnovljivih virov.

Študije energetskega prehoda do leta 2050 [44] 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 razogljichenju.

Čeprav že sedanji elektro-energetski sistemi vsebujejo elemente shranjevanja energije ki jih uporabljajo za ohranjanje konstantne napetosti in frekvence idr. [44], 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 energetsko 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. Črpalne hidro elektrarne so uporabljane za prestavitev oskrbe z električno energijo z časa nizkega povpraševanja na čas visokega povpraševanja, kar zmanjšuje proizvodne stroške (Slika 35). Ekonomika zagotavljanja omrežnih storitev je za baterije in drugo mehansko ter termično skladiščenje danes zahtevnejša, saj jo hromijo razmeroma visoki stroški in pogosto poceni alternativne možnosti prilagajanja oskrbe. Navkljub temu je akumulatorska tehnologije shranjevanja elektrike ponujajo vrsto konkurenčnih storitev, ki se bodo prihodnje povečini le cenile, saj se stroški zmanjšujejo, hkrati pa se povečuje učinkovitost.

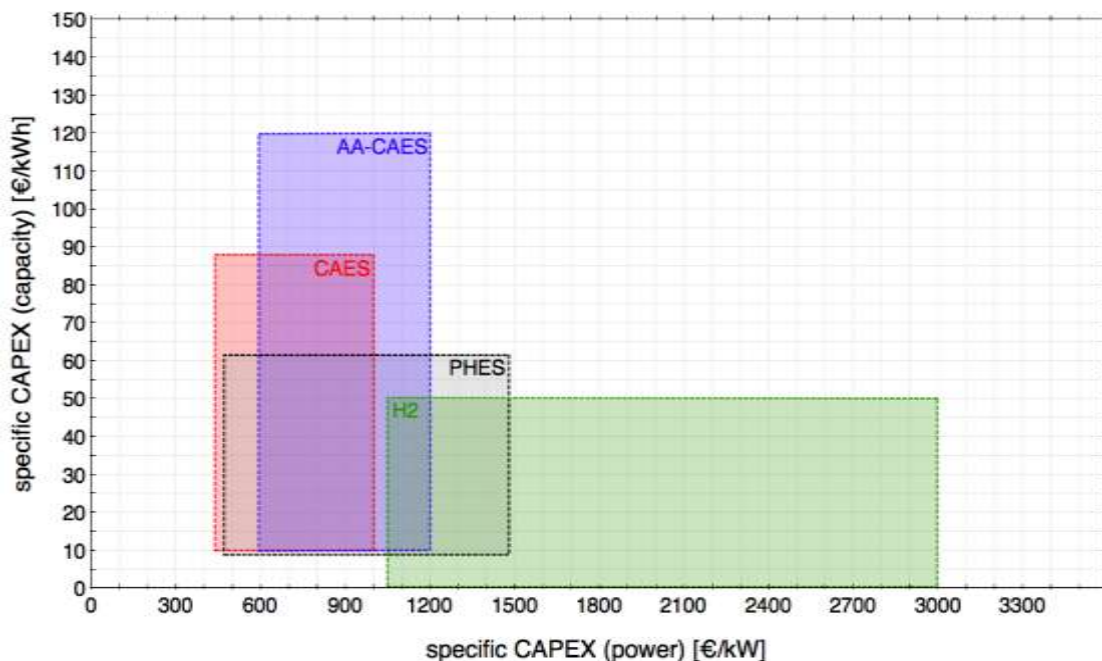


Slika 35: Porazdelitev globalnih deležev skladiščene električne energije glede na tehnologijo in namen [44]



Slika 36: Rast zmogljivosti shranjevanje električne energije v stacionarnih aplikacijah, 2017-2030

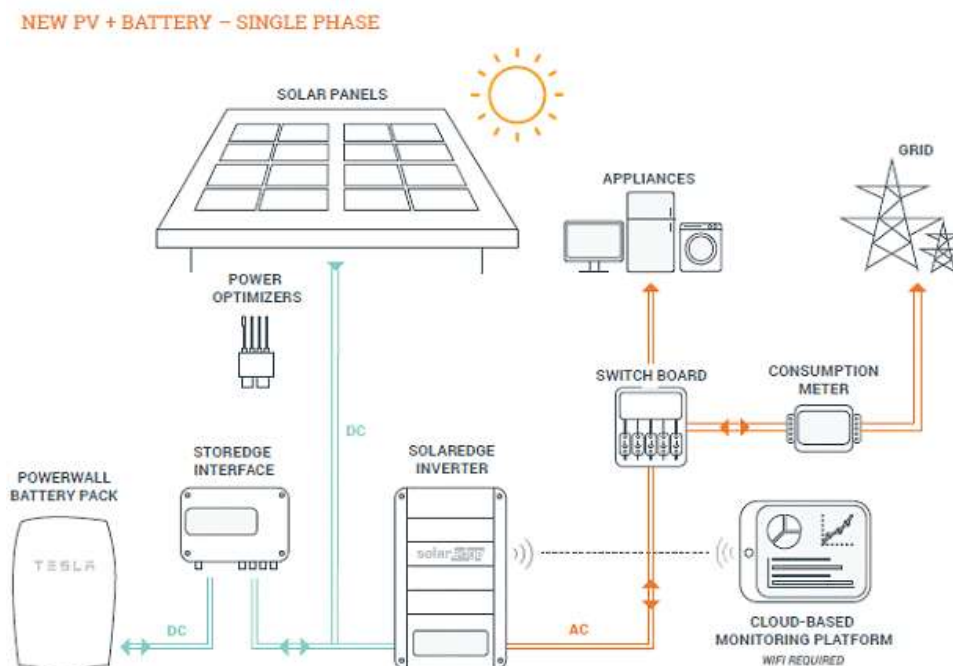
Slika 37 kaže možne specifične naložbe za 8 urno skladiščenje za črpane hidroelektrarne (PHES), klasične in napredno skladiščenje na stisnjen zrak (CAES) in skladiščenje vodika [16].



Slika 37: možne specifične naložbe za 8 urno skladiščenje za črpane hidroelektrarne (PHES), klasične in napredno skladiščenje na stisnjen zrak (CAES) in skladiščenje vodika.

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 [45]. Slika 38 prikazuje shemo navezave PV panela in baterijskega shranjevanja električne energije (t.i. Solar Plus) [9].

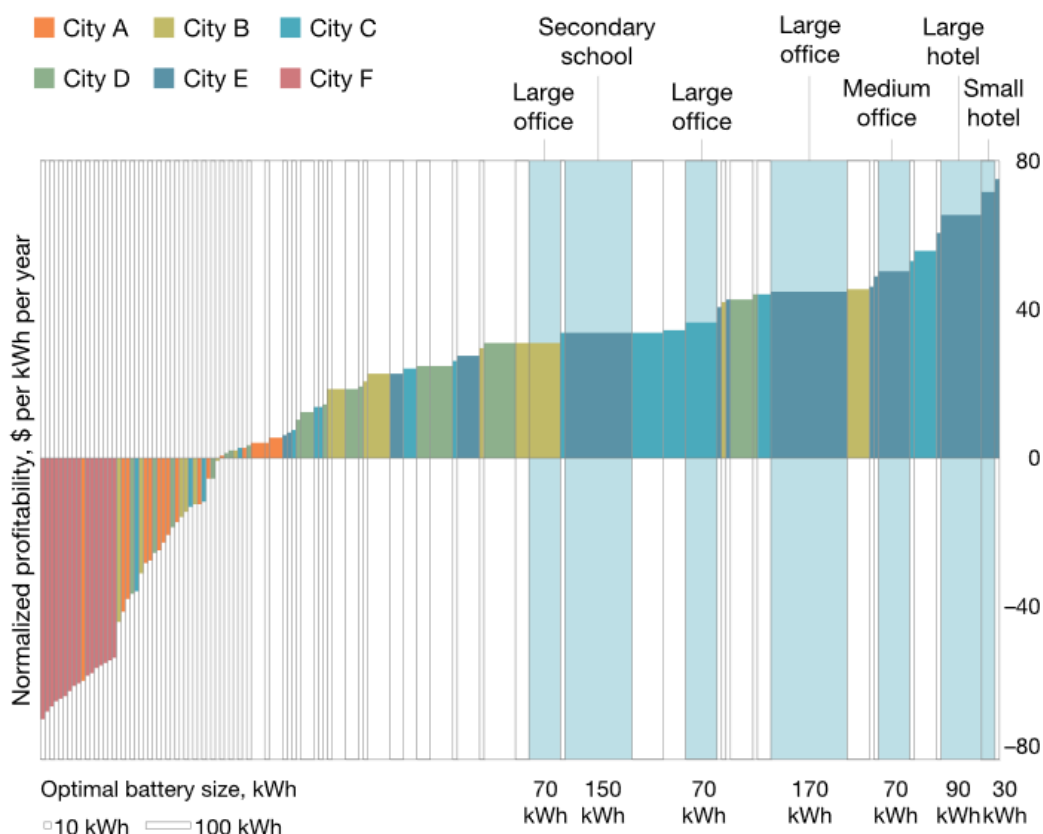
Podroben pregled načinov shranjevanja energije in medsebojnih vplivov s številnimi scenariji je na voljo v [46].



Slika 38: Shema navezave PV panela in baterijskega shranjevanja električne energije

Eden bolj poznanih primerov praktične uporabe systemske baterije v elektro energetskem sistemu je Hornsdale Power Reserve (HPR) v Južni Avstraliji. HPR je sestavljena iz Teslinih Powerpack 2 modulov. Skupna kapaciteta baterij je 129 MWh, pri čemer je največja moč 100 MW (70 MW v 10 minutnem režimu + 30 MW v 3 urnem režimu praznjenja). Enota je povezana z 315 MW poljem vetrnic Hornsdale Wind Farm. Navkljub kratkem časovnem obdobju od zagona, so izkušnje z baterijo precej pozitivne, pri čemer je ustrezno prestala izpade drugih elektrarn [47]. Navkljub dobrim izkušnjam, pa so takšne baterije primerne le za omrežja, kjer so druge rešitve (vsaj trenutno) precej dražje. Cene celotnih baterijskih inštalacij (Li-ion tehnologija) znašajo približno 300 €/kWh pri 1000-1500 polnih ciklih [39], kar za skladiščenje pomeni neto ceno 200 – 300 €/MWh.

Slika 39 kaže rezultate analiza posameznih uporabnikov električne energije glede ekonomike shranjevanja. Vidne so velike razlike v profitabilnosti med različnimi mesti, hkrati pa kaže na to, da so poslovne stavbe (na desni strani) primernejše za samooskrbo s shranjevanjem energije od stanovanjskih stavb (leva stran grafa).

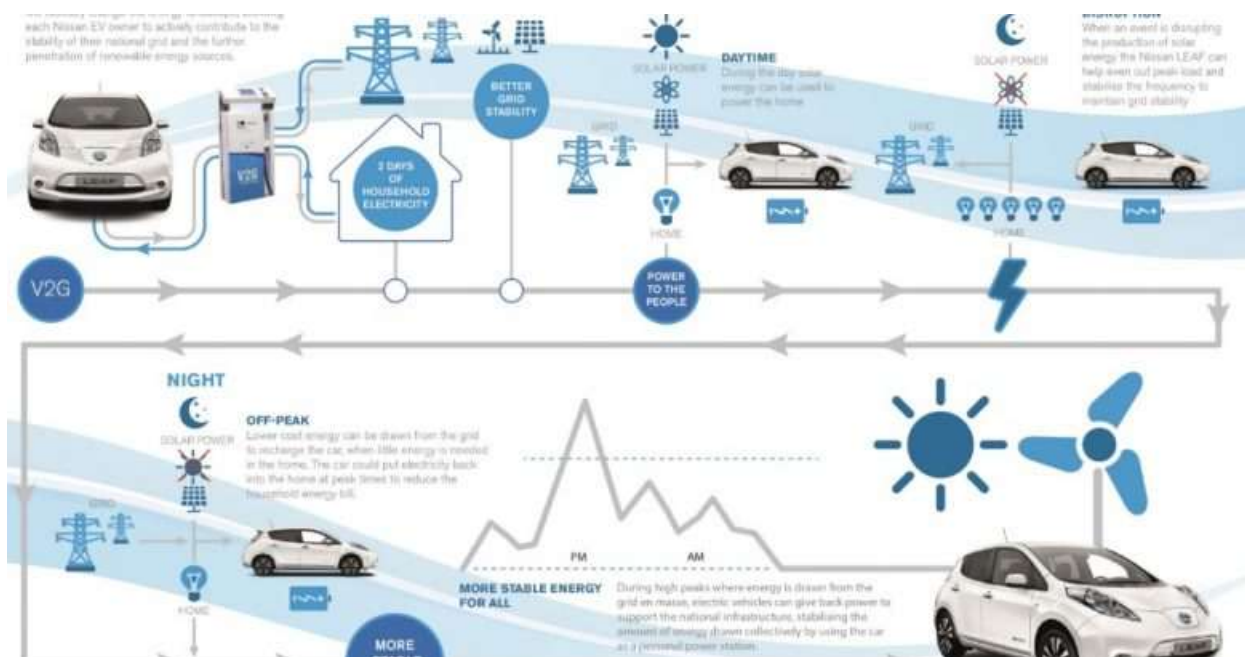


Slika 39: Analiza posameznih uporabnikov električne energije glede ekonomike shranjevanja

Tehnologije shranjevanja električne energije so kritični za večjo penetracije za povečanje deleža PV v sistemih, pa tudi zagotavljanje storitev stabilnosti za mini omrežja in izboljšanje stabilnosti le-teh. Še posebej je to pomembno za oddaljena omrežja, saj je konec leta 2016 bilo več kot 55 milijonov gospodinjstev ali 275 milijonov ljudi odvisnih od električne energije pridobljene le s PV. To je bilo posledica znižanja cen in stroškov PV, zaradi česar so ti sistemi dostopnejši [48].

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% [49]. 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 [48]).

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) [50]–[52]. Slika 40 kaže shemo sistema Vehicle-2-Grid/Vehicle-2-Home in načine omejevanja violentnost

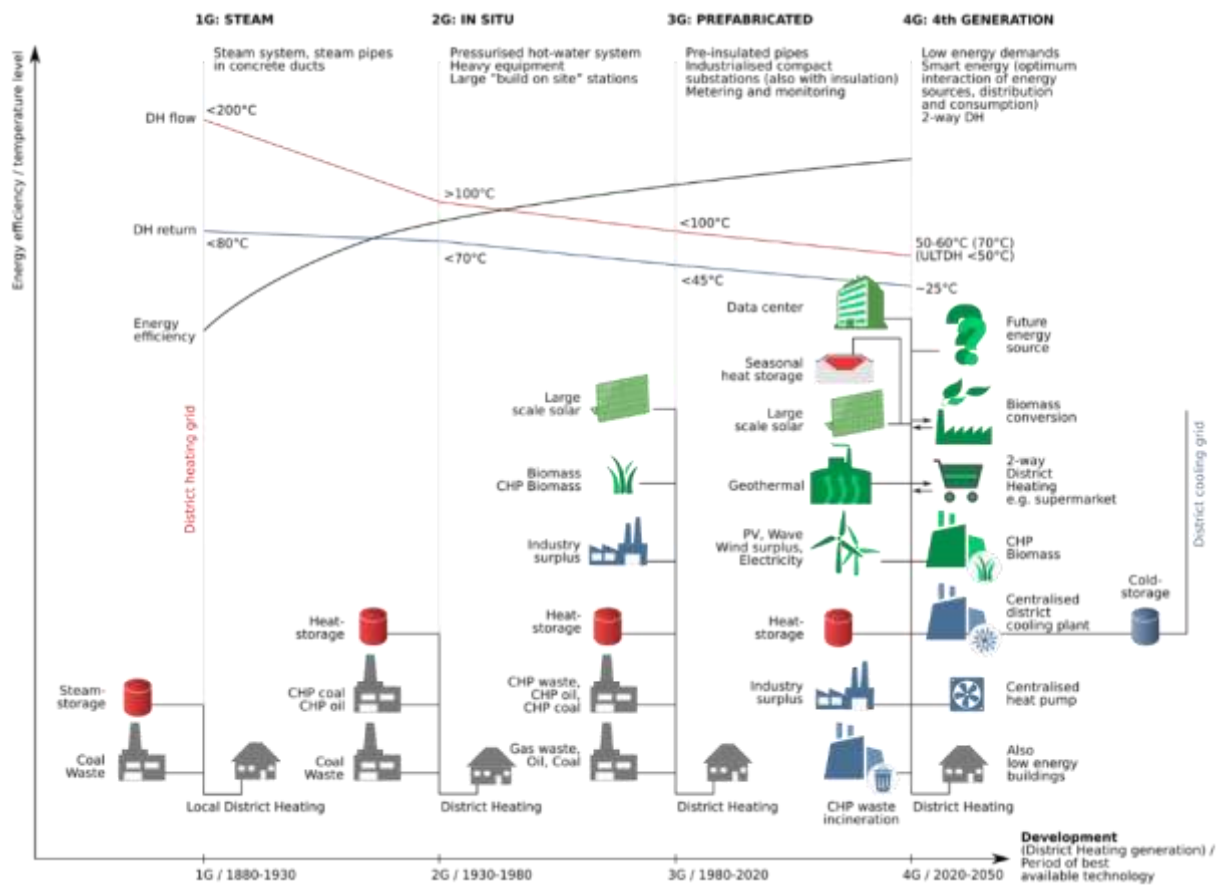


Slika 40: Shema sistema Vehicle-2-Grid/Vehicle-2-Home

3.2 Hranilniki toplote

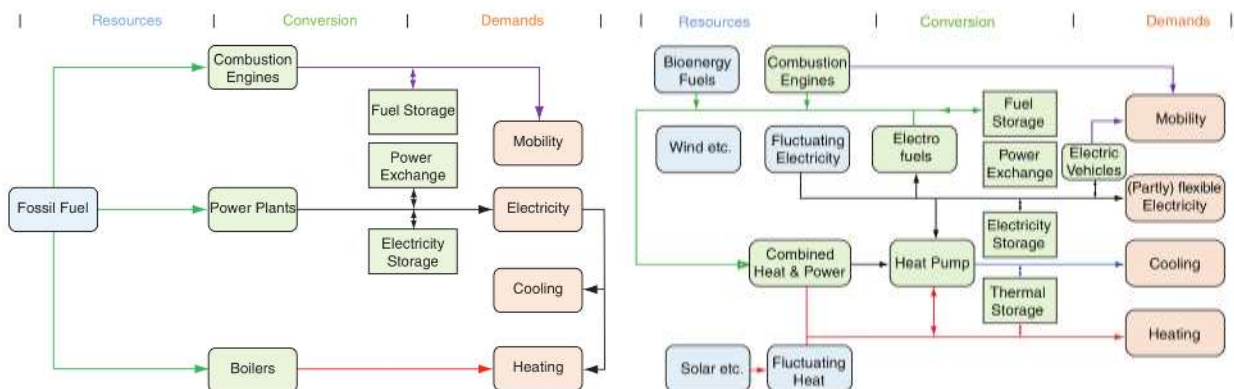
Hranilniki toplote postajajo vse bolj pogosto uporabljen element, ki povečuje prožnost in prilagodljivost obratovanja SPTE in možnost večjega izkoriščanja OT, glede na potrebe po toploti ter druge zunanje okoliščine (cene električne energije, zagotavljanje sistemskih storitev, dinamično industrijskih procesov, idr.). Shranjevanje toplote v času nižjih potreb po toploti omogoča dodatno ekonomično obratovanje SPTE (brez odpadne toplote), shranjena toplota v HT pa znižuje proizvodnjo VK ter omogoča prilagajanje (znižanje) proizvodnje SPTE glede na tržne ali sistemske signale. Večji HT omogoča večjo prilagodljivost, vendar pa je zaradi naraščanja stroškov investicije (tudi prostorskih zahtev) potrebno pri načrtovanju HT glede na okoliščine poiskati optimalno velikost, ki omogoča ekonomsko in energetska optimalno rešitev.

Slika 41 prikazuje vpliv shranjevanja toplote na daljinsko ogrevanje glede na generacijo slednjega. Šri tem se znižuje tako vhodna kot izhodna temperatura, hkrati pa se zaradi izboljšav tehnoloških procesov močno izboljšuje izkoristek. Tako je shranjevanje toplote mogoče z manjšimi viri ali pa dolgotrajnejše (npr. idealno sezonsko) {Citation}.



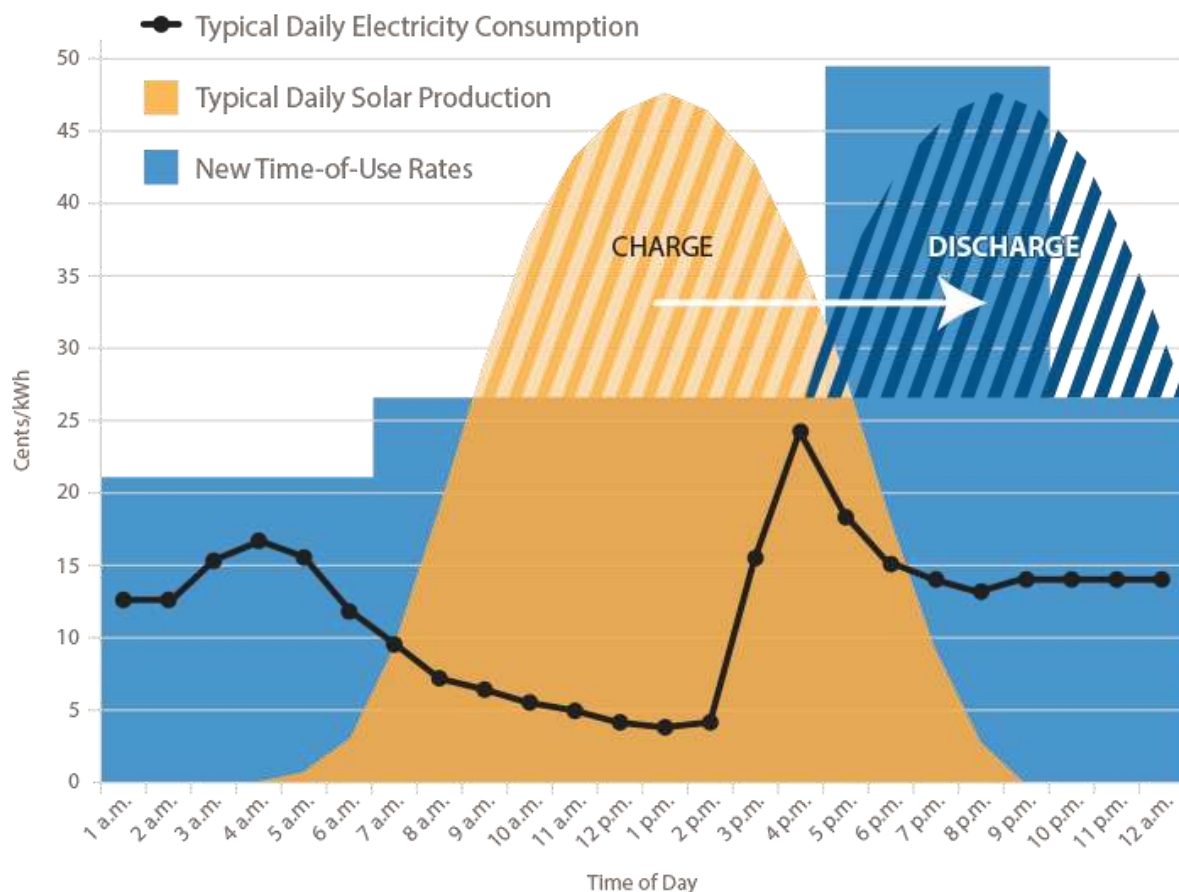
Slika 41: Vpliv shranjevanja toplote na daljinsko ogrevanje glede na generacijo slednjega.

Slika 42 kaže razliko med klasičnim (t.j., današnjim) energetskim sistemom (levo) in integriranim pametnim energetskim sistemom (desno), ki uporablja nelinearne povezave med gorivom in zagotavljanjem energetskih potreb [53]



Slika 42: Vpliv shranjevanja toplote na daljinsko ogrevanje glede na generacijo slednjega.

Slika 43 kaže vpliv shranjevanja energije (in uresne tarifne politike) na zmanjševanje primanjkljaja energije v večernem peaku – pojav račje krivulje (duck curve) [54].



Slika 43: Vpliv shranjevanja energije na zmanjševanje račje krivulje (duck-curve).

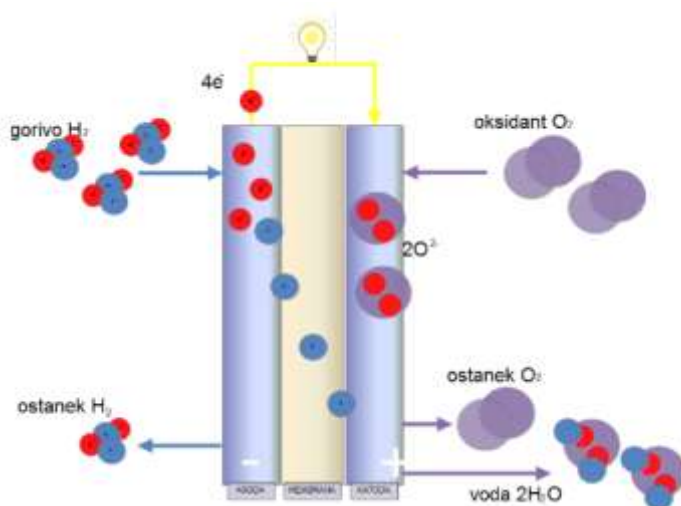
4 Gorivne celice, toplotne črpalke in odvečna toplota

4.1 Gorivne celice

V gorivnih celicah poteka elektrokemičen proces, torej o pretvorba kemične energije shranjene v gorivu v električno energijo, kar je pglavitna 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.

4.1.1 Opis tehnologije

Gorivna celica proizvaja enosmerni električni tok preko elektrokemičnega procesa podobno kot klasična baterija, s to razliko, da se v gorivno celico vedno znova dovaja gorivo (najpogosteje je to vodik) [55]. Na sliki spodaj je prikazana enojni element gorivne celice, ki vsebuje anodo (–) in katodo (+), ter med njima elektrolit (na sliki izvedba s protonsko prevodno membrano – PEM). V gorivno celico se dovaja gorivo (H_2) in oksidant (O_2) vsakega k svoji elektrodi, kjer ob prisotnosti katalizatorja steče kemična reakcija, ki generira ione (pozitivno nabiti delci) in elektrone (negativno nabiti delci), tako dobimo enosmerni električni tok, stranski produkt pa sta voda (vodna para) in nekaj toplote, od tod tudi ideja za uporabo gorivnih celic v kogeneracijskih sistemih, kjer poleg električne energije lahko pridobimo tudi toploto, s tem pa povečamo tudi skupni izkoristek sistema.



Slika 44: Shema gorivne celice s protonsko prevodno membrano [55]

Tabela 16 navaja glavne tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij gorivnih celic.

Tabela 16: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij gorivnih celic

Lastnosti	Podrobno	Opis
Tehnične karakteristike tehnologij	Učinkovitost	> 40 % elektrika in 85 % kogeneracija (PAFC) 60 % elektrika in okoli 85 % kogeneracija (MCFC)
	Tipična velikost	100 W do 250 MW
	Možnost skaliranja	Da
Ekonomske karakteristike tehnologij	Štrošek investicije	Srednji: 50 €/kW _{el}
	LCOE	250 €/kWh _{el}
Perspektiva razvoja do leta 2050	Pombno vplivati na razpoložljivost obnovljive energije(!)	
Ekonomski in tehnični potenciali po sektorjih	Hitro uveljavljanje: Transport Srednje-hitro uveljavljanje: gospodinjstva Počano uvajanje: Industrija	
Ključni izzivi do leta 2030	Nižanje cen Skaliranje pri zmanjšani razpoložljivosti, pogon na obnovljive vire (P2G)	
Diskusija okoljske karakteristike	Vpliv novih kemijskih postopkov	

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), ker jih na svojih misijah uporablja NASA, so ena od bolj izpopolnjenih vrst gorivnih celic. So najbolj komercialno dostopne, imajo najvišji izkoristek in so hitre (reakcija poteka hitro), tehnologija je še vedno draga in stroški vzdrževanja so visoki.
- Direktna metanolska gorivna celica (DMFC), tehnologija je še bolj na začetku. Uporaba tovrstnih gorivnih celic je trenutno omejena na manjše aplikacije (manjše prenosne elektronske naprave), ker so majhnih velikostih in imajo nizke delovne temperature. Na žalost je tehnologija še zelo na začetku, katalizatorji so dragi, težava pa je tudi zaradi uporabe metanola.
- Fosforno-kislinske gorivne celice (PAFC), trenutno je ena od najbolj dostopnih tehnologij gorivnih celic. Tehnologija je zelo dovršena in ima dobre izkoristke (> 40 % elektrika in 85

% kogeneracija), deluje na vodikova goriva s primesmi. Slabosti tehnologije so visoka cena in stroški vzdrževanja (katalizator je platina), ter koroziven elektrolit.

- Gorivna celica na protonsko izmenjevalno membrano (PEMFC ali PEM), tehnologija je zaradi svojega hitrega prilagajanja najprimernejša za uporabo v vozilih. Deluje pri relativno nizki temperaturi (približno 80 °C) in ima visoko energijsko gostoto. Kot gorivo se uporablja zelo čist vodik, ker primesi poškodujejo katalizator in membrano. Visoka cena tehnologije je na račun dragega katalizatorja, ker je elektrolit trden ga je potrebno vlažiti, kar lahko povzroča nevšečnosti.
- Gorivna celica na raztaljeni ogljik (MCFC), gorivne celice s to tehnologijo imajo zelo dobre izkoristke (okoli 60 % elektrika in okoli 85 % ob upoštevanju kogeneracije). Delujejo pri visokih temperaturah (~650 °C), zato ni potrebna uporaba žlahtnih kovin (katalizatorji), zato je lahko nižja tudi cena proizvodnje in deluje na goriva bogata z vodikom (metan, propan, tudi določeni dizli). Visoka temperatura pospeši korozijo, kar zmanjša življenjsko dobo elementov. Glavna prednost uporabe te tehnologije bi lahko bile elektrarne na stacionarne gorivne celice.
- Trdno oksidne gorivne celice (SOFC), tehnologija uporablja trden elektrolit in ne potrebuje katalizatorja (nizki stroški proizvodnje), ker deluje pri visoki temperaturi (~1000 °C). Visoka na eni strani omogoča dobre izkoristke, hkrati pa skrajšuje življenjsko dobo elementov.

Štiri tehnologije (PAFC, PEMFC, MCFC, in SOFC) od naštetih, se že uporabljajo v kogeneracijskih sistemih.

4.1.2 Integracija vodika

- Po podatkih IEA [56] je globalno v letu 2017 število osebnih vozil z gorivno celico doseglo številko 8000 enot, od tega je 90 % teh vozil v ZDA in Japonskem.
- Za implementacijo vodika v različne strukture našega življenja je potrebnih več naporov in to ne samo v avtomobilski tehniki.
- Potenciali uporabe vodika kot veznega člana, so lahko naslednja področja:
 - Toplotno omrežje (Heat network) –kogeneracijski sistemi z gorivnimi celicami;
 - Električno omrežje (Electricity grid) – kogeneracijski sistemi z gorivnimi celicami, shranjevanje presežkov, dušilnik (buffer) omrežja,...
 - Tekoča in plinasta goriva, ter transport in distribucija surovin (Liquid and gaseous fuels and feed-stocks T&D) – Uporaba vodika za pogon vozil (gorivne celice, motorji z notranjim izgorevanjem), vodik kot industrijski plin.



Slika 45: Shematični prikaz možne uporabe vodika [56]

- Svetovni trendi so predvsem uporaba vodika za pogon vozil - FCEV (uporaba/razvoj zaostaja za vozili z električno baterijo), vendar so vidni premiki, ugotovljeni na podlagi strategij posameznih držav.
 - Decembra 2017 je Japonska objavila strategijo "Basic Hydrogen Strategy", kjer napovedujejo ambiciozne cilje za FCEV, vodikove polnilnice in mikro kogeneracijske sisteme, ki uporabljajo vodik.
 - Junija 2018 je Francija objavila strategijo "Hydrogen Deployment Plan for Energy Transition", ki predvideva večjo uporabo vodika, od tega 20-40 % "zelene" proizvodnje vodika in znižanje stroškov elektrolize na 2-3 €/kg do leta 2028.
 - V Evropi se povečuje zanimanje za t.i. obnovljivi vodik s pomočjo elektrolize, kjer bi bila elektrika proizvedena bodisi iz vetrnih elektrarn, bodisi iz sončnih, pri čemer bi se proizvajala metan in amonijak. Dodatno se omenjajo tudi cilji za povečanje števila FCEV-ov in vodikovih polnilnih postaj.
- Naložbe v elektrolizo se povečujejo, po trenutni oceni, v kolikor se izpeljejo vsi odprti projekti, se bo do leta 2020 skupna zmogljivost povečala iz dosedanjih (2017) 55 MW na več kot 150 MW.
- V letu 2017 je bilo za namen pomožnega napajanja (back up power generator) v ZDA instaliranih za 235 MW stacionarnih naprav, v enakem obdobju je bilo na Japonskem postavljenih 42.000 mikro kogeneracijskih sistemov (small-scale micro CHP systems).
- Trenutno največjo težavo predstavlja transport vodika, ki ga bo potrebno transportirati bodisi v tekoči obliki (utekočinjen vodik) ali v obogateni obliki (z vodikom bogate spojine, npr. amonijak). Trenutno sta na področju transporta vodika načrtovana dva demonstracijska projekta, kjer naj bi se vodik transportiral z ladjo iz Bruneja v Avstralijo.

- Agencija ugotavlja dve pomembni dolgoročni vrzeli v tehnoloških inovacijah, če želimo doseči dolgoročne načrte za prehod na čisto energijo, in to sta:
 - Uporaba naslednje generacije gorivnih celic za namene proizvodnje vodika iz presežkov električne energije iz obnovljivih virov.
 - Raziskave in razvoj (obdobje naslednjih 5 let): povečati aktivnost in izkoriščenost ali se popolnoma izogniti uporabi platine; povečanje trajnosti in zmanjšanje mehanizmov razpada gorivnih celic;
 - Uporaba stroškovno upravičenih turbin na vodik (vodik kot potencialni vir za proizvodnjo električne energije, posledično dolgoročno shranjevanje le-tega).
 - Raziskave in razvoj (obdobje naslednjih 5 let): raziskati tehnologije, ki bodo dale boljši materiali, zmanjšale zračno hlajenje in puščanje, večje tlačne razlike v primerjavi s klasičnimi turbinami; To vključuje izboljšanje notranjega hlajenja (višje temperature, kot pri klasičnih plinskih turbinah), tesnjenja in razvoja rotorja z geometrijo, ki ohranja aerodinamični izkoristek;

4.1.3 Global Trends and Outlook for Hydrogen

Predstavljeni so naslednji povzetki [57]:

4.1.3.1 Rešitve

- Proizvodnja vodika (elektroliza) za hranjenje presežkov električne energije iz obnovljivih virov, da le teh ni potrebno izklapljati ob presežkih proizvodnje električne energije, ko bi lahko bilo ogroženo delovanje omrežja. Vodik in EE se dejansko dopolnjujeta pri prenosu energije: vodik lahko pretvorimo v EE in EE lahko pretvorimo v vodik.
- Vodik kot hranilnik energije (kratkoročno, sezonsko ali dolgoročne rezerve) – podzemni rezervoarji. (The IEA HIA Strategic Plan 2015-2020)
- Rezerva vodika lahko služi za dušilka (buffer) v EE sistemu, tako se poveča varnost EE sistema.
- Decentralizirana proizvodnja energije – preprečevanje odvisnosti od ekskluzivne centralizirane proizvodnje energije.
- Avtomobili (FCEVs) – uporaba vodika v transportu pozitivno vpliva na zmanjševanje emisij in na kvaliteto zraka v urbanih naseljih, kjer je vodik pridobljen iz obnovljivih virov.
- Uporaba vodika v sistemih, ki jih je težko elektrificirati oz. sistemi, ki trenutno uporabljajo dizelske motorje in jih je bodisi težko elektrificirati (omrežje) ali uporabiti baterije. Predvsem uporaba za: tovorni promet, dizelske vlake in pomorski transport.
- Zamenjava vodika v kemični industriji, kjer bi nadomestil fosilna goriva.

4.1.3.2 Uporaba, viri in proizvodne metode

- Trenutna uporaba vodika (petrokemična industrija, kemična industrija, proizvodnja kovin, metanola, predelava hrane in v elektroniki) je ocenjena na 115,25 bilionov dolarjev (v letu 2017) in je kot tak izredno tržno zanimiv industrijski plin [58].
- Viri in proizvodne metode vodika (preteklost/sedanost): v 18. stoletju se je z uplinjanjem premoga pridobil sintezni plin, ki je vseboval vodik, zdaj pa se vodik v večini pridobiva iz metana (fosilna goriva), nekaj malega proizvodnje je tudi z elektrolizo.
- Novi viri in proizvodne možnosti vodika:

- Nuklearna energija in obnovljivi viri energije (presežki), kot vir energije za proizvodnjo vodika z elektrolizo (PEM in alkalni sistemi).
- Aprila 2017 je bil na Hanovrskem sejmu prikazan 3 MW PEM in večja enota alkalnega sistema (400 MW) je trenutno dosegljiva za 450 \$/kW.
- Visokotemperaturna elektroliza (700-1000 °C) – solid oxide electrolyer (SOEC).
- Po podatkih U.S. Department of Energy (DOE) je trenutna proizvodnja cena z distribucijo 3,90 \$/kg H₂ (leto 2015) cilj za leto 2020 je 2,30 \$/kg H₂. Ocena US DOE je pomembna s stališča konkurenčnosti FCEV vozil v odnosu do HEV, kjer se ocenjuje da je konkurenčna cena za vodik nekje med 2-4 \$/gge (gallon gasoline equivalent – galon goriva ekvivalent) na miljo.
- Pričakuje se tudi rast manjših enot za uplinjanje fosilnih goriv ali biomase. Male enote s kapaciteto od 50-500 Nm³/h so že komercialno dostopne z ceno nekje med 5.000 in 12.000 \$/Nm³/h (odvisno od tega ali gre za uplinjanje ali elektrolizo in ali je alkalni sistem ali PEM).
- US DOE navaja dva ključna cilja: trajnost in stroške; Tako je cilj stroška za avtomobilsko tehniko 40 \$/kW za gorivno celico (optimum 30 \$/kW) s trajnostjo 5.000 h (optimalno 8.000 h). Pri stacionarnih sistemih je ciljna cena za gorivne celice 1.000 \$/kW (zemeljski plin) in 1.500 \$/kW (bioplina) – za leto 2020.

4.1.3.3 Indikativni podatki za vodik

Vodik kot eden od alternativnih energentov se je izkazal za zelo primerno gorivo tudi za uporabo v prometu. Njegova prednost je predvsem ta, da gre za »brezogljivo« gorivo in da omogoča tudi učinkovito hrambo energije, ki jo lahko uporabimo na različne načine. Lahko se sicer uporablja kot energent za pogon klasičnih motorjev z notranjim zgorevanjem, vendar je bistveno zanimivejši kot energent za gorivne celice, ki služijo za pogon električnega motorja. Pri tem ni škodljivih emisij, saj je stranski produkt le voda. Izkoristek v gorivnih celicah je trenutno med 65 in 70 %, kar je bistveno več od izkoristka konvencionalnih motorjev z notranjim izgorevanjem.

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.

4.1.3.4 Uporaba vodika v različnih sektorjih

Transport

- Osebna vozila: ni več tehničnih omejitev za komercializacijo; dosegi z enim polnjenjem že dosegajo 400 – 560 km (primerljivo s konvencionalnimi vozili). Lahka gospodarska vozila na vodik z omejenim dosegom bi po raziskavi IEA – Renewable Energy Technology Deployment (RETD) Power to Gas (P2G) že leta 2030 lahko bila v prednosti pred vozili na dizel, zemeljski plin in biometan, tam kjer se uporabljajo v omejenem obsegu (večji logistični centri ...).

- Pri transportu HC napoveduje, da bodo vozila FCEV pri dosegih okoli 300 km stroškovno približno enakovredna, pri dosegih 1.000 km pa naj bi bila prednost v korist FCEV že okoli 55 % [59].
- Avtobusi: ni več tehničnih omejitev za tržno uporabo, kjer so napovedi: Kitajska 300 avtobusov z gorivnimi celicami; Južna Koreja načrtuje do leta 2030 zamenjati 26.000 avtobusov na stisnjen zemeljski plin (CNG) s takšnimi z gorivno celico; Evropa – 3Emotion-project, EU financira JIVE za vpeljavo 139 FC avtobusov; Združeno Kraljestvo je napovedalo financiranje za nakup 42 FC avtobusov v letu 2017;
- Lahka gospodarska vozila in vozila za logistiko (viličarji,...), tovorna vozila: prodaja viličarjev za industrijo narašča, ki so konkurenčni viličarjem z baterijo oz. jih presegajo (stroškovno so učinkovitejši, krajši čas polnjenja v primerjavi z zamenjavo baterije).
- Vlaki: Alstom je pokazal v letu 2017 svoj novi vodikov vlak, ki naj bi nadomestil dizelske vlake na ne-elektificiranih delih nemških progah;
- Razvoj je tudi na področju ladijskega in letalskega prometa.
- Z izboljšavami izkoristka gorivnih celic bi se poraba lahko znižala za 20 – 35 % (do 2030) in ob pričakovani nižji proizvodnji ceni vodika, bi to lahko pomenilo prednost FCEV vozil tudi pred vozili na dizelski pogon v vseh segmentih (pri zdajšnji ceni nafte) [59].

Elektrika (in toplota)

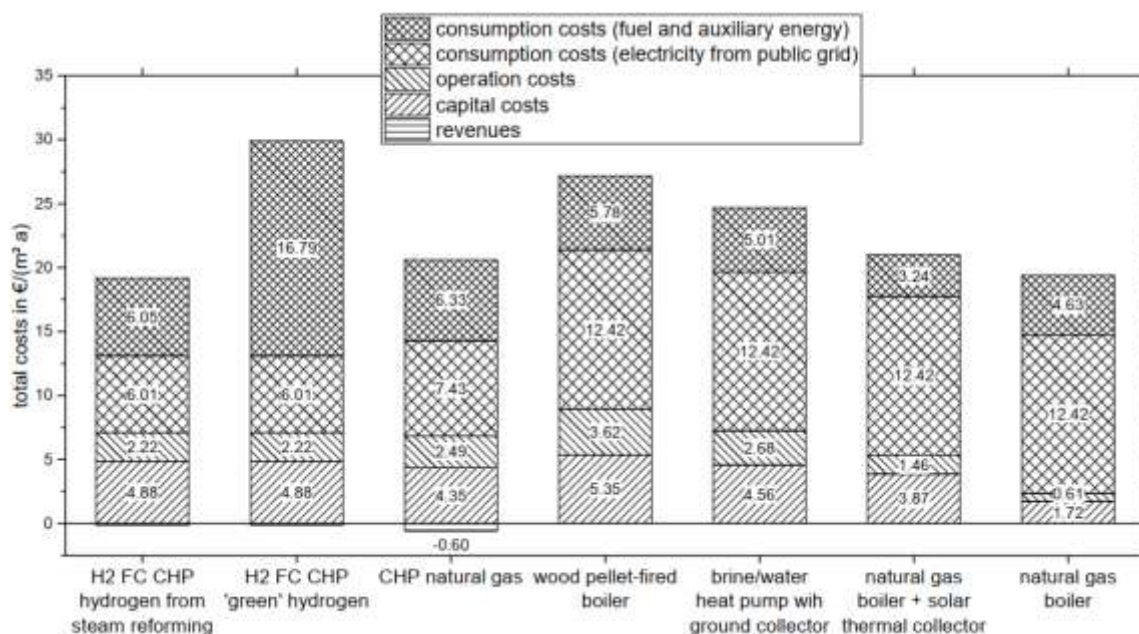
- Vodik lahko poveča ponudbo v energetskega sektorju – shranjevanje presežkov EE v obliki vodika in njena poraba, ko je to potrebno se vodik pretvori nazaj v EE (FC ali turbina);
- Uporaba vodika za ogrevanje, kot tudi hlajenje in kuhanje; Poraba energije za ogrevanje stavb je v OECD državah na prvem mestu;
- Kogeneracija, kjer je Japonska daleč pred vsemi s cca. 200.000 enotami (stanovanjske).
- Cilji: Japonska 1,4 milijona kogeneracijskih sistemov do leta 2020 in 5,3 milijona do 2030;

4.1.4 Stroškovna učinkovitost vodikove gorivne celice s kogeneracijo

Zaključki [60]:

- Projekt H2home je del iniciative (HYPOS initiative – Hydrogen Power Storage & Solutions East German) in se ukvarja z decentralizacijo dobave energije, s poudarkom na uporabi vodikovih GC. Ideja projekta je kogeneracijska enota, kjer se za gorivo uporablja vodik in ima visok izkoristek (električni in toplotni), ter uporablja "zeleni" vodik in je primerna za gospodinjstva.
- Enota uporablja PEM tehnologijo GC, z električnim izkoristkom preko 50 % in skupnim višjim od 95 % (glede na spodnjo kurilno vrednost).
- Analiza (simulacija) ocene stroškov je narejena na predpostavki, da so najbolj primerne stavbe za vgradnjo takšne enote apartmajska hiša, bolnišnica in dom za ostarele (negovalni dom), ter da je enota v uporabi vsaj 5000 ur na leto, pri tem se v zgradbi porabi vsaj 80 % proizvedene elektrike in vsa proizvedena toplota. Predpostavka je tudi, da je cena vodika primerljiva ceni zemeljskega plina.
- Analiza je pokazala, da je najbolj vpliven faktor cena vodika.
- Analiza je bila narejena na podlagi večstanovanjske hiše (štiri nadstropja, 16 stanovanj, poraba toplote 80.000 kWh/leto, poraba električne energije 3.000 kWh/gospodinjstvo).

- Na podlagi dveh cen vodika (0,042 €/kWh – iz zemeljskega plina in 0,15 €/kWh – "zeleni" vodik iz elektrolize, presežki elektrike iz vetrne elektrarne) in cen ostalih energentov, je bila narejena ocena skupnih stroškov na m² uporabne površine zgradbe na leto, ki so prikazani na spodnji sliki:



Slika 46: Ocena stroškov [60]

4.1.4.1 Primerjava električnega vozila z vozilom na gorivne celice.

Primerjava različnih tipov avtomobilov (v oziru konkurenčnost gorivnih celic v transportu) med Toyota Mirai (FCEV) in Tesla Model S (BEV), pri čemer so bil ugotovljene načlednje lastnosti [61]:

Prednosti

1. Prednost FCEV vozila je zagotovo v masi in dosegu pogonskega sklopa:
 - FCEV: masa pogonskega sklopa 145 kg (GC + rezervoar + 5 kg vodika); doseg: ~500 km;
 - BEV: 540 kg (baterije); doseg: ~420 km;
2. Od mase je bolj pomemben strošek za kWh energije, kjer so stroški bolj kot ne ugibanja. Za leto 2020 je tako ocena cene naslednja:
 - FCEV (Toyota Mirai): 53 \$/kWh za 114 kW GC sistem; Za takšno gorivno celico je ocenjen strošek 6000 \$ in s ceno za rezervoar (za 5 kg vodika) 3000 \$;
 - BEV (Tesla Model S): 217 \$/kWh za model s 85 kWh baterijskim sklopom (18.500 \$ za sklop);
3. Prednost FCEV vozil je zagotovo tudi čas polnjenja, ki je neprimerno krajši od časa polnjenja pri BEV vozilih, ob predpostavki, da je mreža vodikovih polnilnih postaj dobro razvejana.

Slabosti

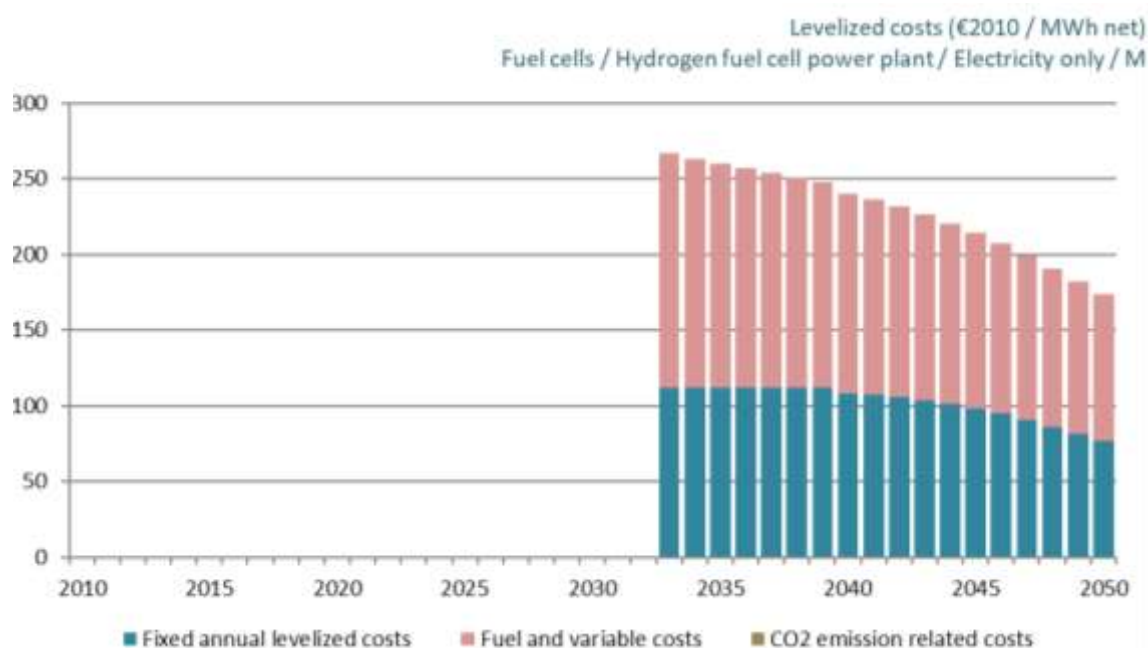
1. Cena goriva, v tem primeru vodika za FCEV vozila, je ob trenutnem stanju in tudi za nekaj let v prihodnost neprimerno dražja, trenutna ocena je, da je FCEV na prevoženi kilometer dražji za ~5 – 10 krat. Ocena je narejena na predpostavki, da je ves vodik narejen iz obnovljivih virov energije (torej "zeleni" vodik), če bi se vodik pridobival iz fosilnih goriv (ogljikovodiki), bi bila ta razlika nekaj manjša.

Ocena ameriškega ministrstva za energijo (Departemnt of Energy, DOE): Hydrogen and Fuel Cells Program Record predvideva za 80 kW_{net} PEM GC za naslednjo generacijo tehnologije in delovanjem na čisti vodik, je 53 \$/kW_{net} pri proizvodnji 500.000 enot in 59 \$/kW_{net} pri proizvodnji 100.000 enot [62]. Tabela 17 navaja lastnosti sistemov in oceno stroškov glede na moč od leta 2011 do 2016.

Tabela 17: Lastnosti sistemov in ocena stroškov glede na moč od leta 2011 do 2016

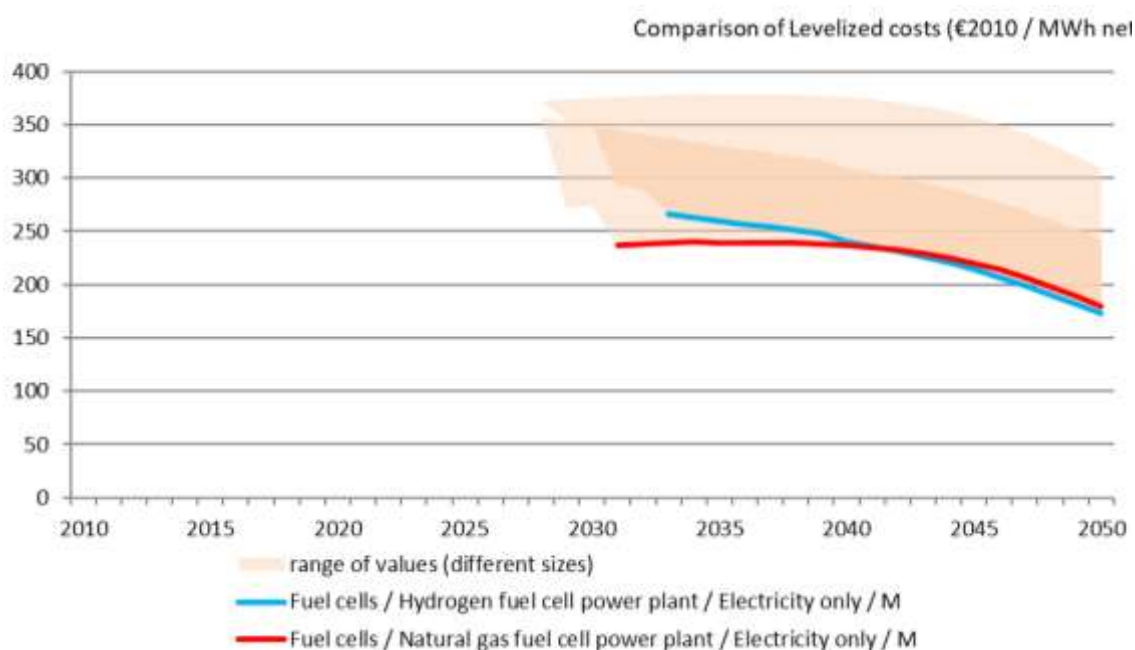
Lastnost	enota	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Neto sistemska moč	kW	80	80	80	80	80	80
Bruto moč sestava	kW	89.25	88.2	89.4	92.8	88.2	87.7
Učinkovitost sestava	%	55	55	57	55	53	52
Napetost celice	V	0.676	0.676	0.695	0.672	0.661	0.659
Razmerje zračne stehiometrični	/	1.5	1.5	1.5	2	1.5	1.4
Vhodni tlak sestava	Atm	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Izhodna temperatura sestava	°C	90	82	92	95	94.1	94
Skupna PGM omremenitev	mg _{PGM} /cm ²	0.186	0.196	0.153	0.153	0.142	0.134
MEA površinska energetska gostota	mW/cm ²	1,1	984	692	834	746	749
Q/ΔTc	kW/°C	1.52	1.78	1.37	1.45	1.45	1.45
Sistemske stroški	USD/kW	49	47	55	55	53	53

Slika 47 kaže oceno stroškov (LCOE) za proizvedeno električno energijo iz vodika prek tehnologije gorivnih celic [63].



Slika 47: Ocena stroškov (LCOE) za proizvedeno električno energijo iz vodika prek tehnologije gorivnih celic

Slika 48 prikazuje oceno stroškov (LCOE) za proizvedeno električno energijo iz vodika prek tehnologije gorivnih celic glede na tip vhodnega energenta: naravni plin (rdeča) in vodik (modra črta) [63].

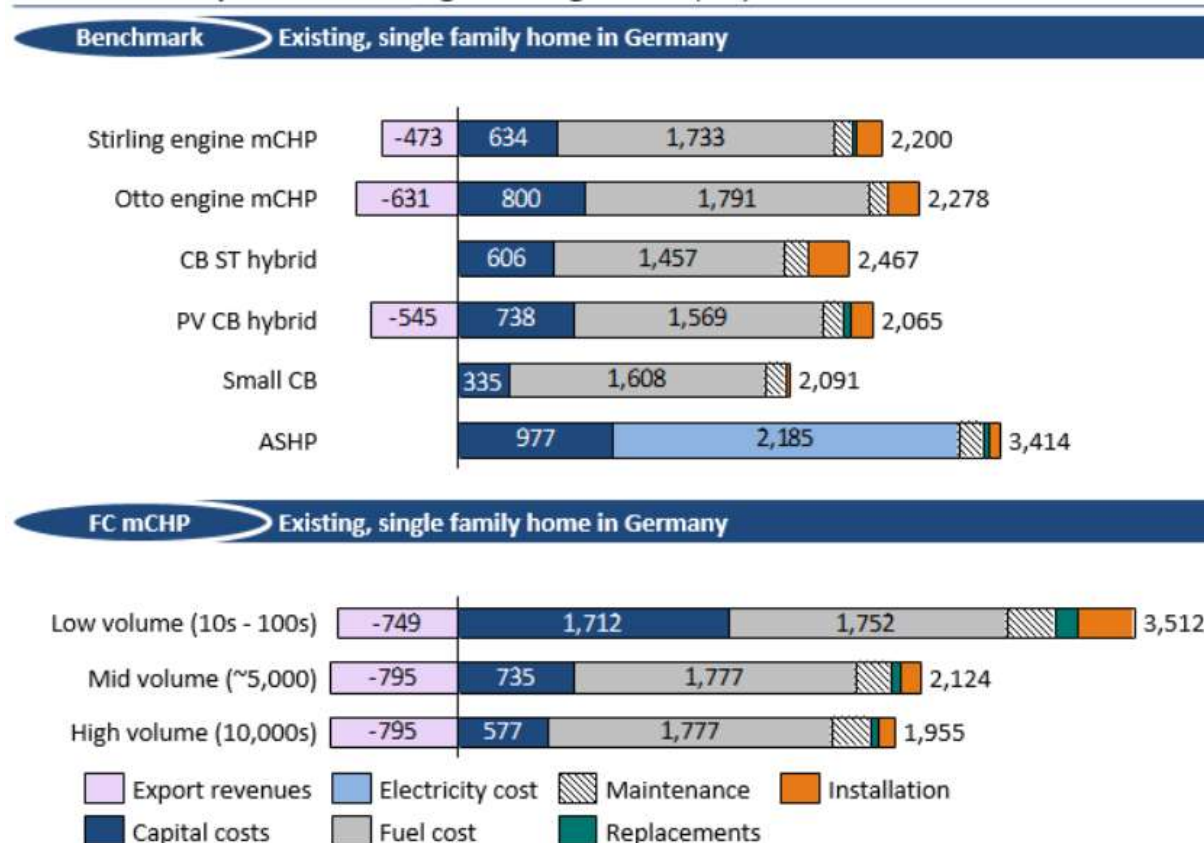


Slika 48: Ocena stroškov (LCOE) za proizvedeno električno energijo iz vodika prek tehnologije gorivnih celic glede na tip vhodnega energenta

4.1.5 Ocena stroškov proizvodnje vodika za potebe gorivnih celic

LCA analiza za mikro vodikove kogeneracije nakazuje, da je potrebna proizvodnja enot na leto vsaj 5 – 10k, kar bistveno zmanjša proizvodnjo ceno [64]. Slika 49 kaže analizirane ocene stroškov ogrevalne tehnologije življenjskega cikla.

Annuitized Life Cycle Cost of heating technologies Euros per year



Slika 49: Analizirana ocena stroškov ogrevalne tehnologije življenjskega cikla [EUR/leto]

4.1.6 Vrzeli

Navkljub dolgotrajni uporabi v vesoljskih raziskavah je tehnologija gorivnih celic še vedno na začetku razvoja. Šele v zadnjem desetletju ali dveh so na trg v razmeroma majhnih količinah prišli uporabni sistemi gorivnih celic. Trenutno sta v največjem razmahu uporaba gorivnih celic v avtomobilski industriji (transport) in v kogeneracijskih sistemih. Pri tem ima na tem področju Japonska ogromno prednost pred Evropo, zato se tudi v Evropi močno spodbuja uporaba tehnologije gorivnih celic.

Težave pri tehnologiji gorivnih celic, ki preprečujejo njen hitrejši napredek in penetracijo so: cena sistema (še posebej to velja za kogeneracijo), cena vodika (končna cena vodika pri uporabniku zelo niha glede na načina njegove proizvodnje, kvalitete shranjevanja in podobno) in pa samo vzdrževanje teh naprav, ki imajo po trenutnih ocenah življenjsko dobo cca 10 tisoč ur. To gre večinoma na račun korozije, torej propadanja materialov v gorivnih celicah, potrebe po zamenjavi Pt katalizatorja, ki predstavlja precejšen strošek ipd.

Nadaljni problem je člahko tudi varnost. Shranjevanje zelo vnetljivega vodika pod visokim tlakom še pospešuje korozijo in s tem degradacijo posode ali cevovoda. Eden od uporabnejših obvodov je sintetiziranje vodika na mestu samem glede na potrebe. Vodik se neposredno pretvori v električno energijo (npr. z uporabo sončnih panelov in elektroilize).

4.2 Toplotne črpalke

4.2.1 Tehnološki status

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 odpadkov). 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. Tabela 18 vsebuje razpoložljive tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij toplotnih črpalk.

Tabela 18: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij toplotnih črpalk

Lastnosti	Podrobno	Opis
Tehnične karakteristike tehnologij	Učinkovitost	COP >6 COP 6-7 (komercialne črpalke) COP 5.5-6 (stanovanjski sektor)
	Tipična velikost	2 kW do 100 MW
	Možnost skaliranja	Da
Ekonomske karakteristike tehnologij	Štrošek investicije	/
	LCOE	/
Perspektiva razvoja do leta 2050	Pomembno vplivati na boljši izkoristek toplotne energije	
Ekonomski in tehnični potenciali po sektorjih	Srednje-hitro uveljavljanje: gospodinjstva Hitro uvajanje: Industrija	
Ključni izzivi do leta 2030	Nižanje cen Skaliranje pri zmanjšani razpoložljivosti, pogon na obnovljive vire (P2G)	
Diskusija okoljske karakteristike	Izboljšanje izkoristka	

4.2.2 Učinkovitost

Učinkovitost toplotnih črpalk se je v zadnjih letih bistveno povečala zaradi tehničnih izboljšav, uporabe inverterne tehnologije in krmilnih sistemov. V zadnjem času je sezonski faktor učinkovitosti (SFU oz. angl. Seasonal Performance Factor, SPF) - tj. razmerje med toploto, ki jo porabimo za ogrevanje, in električno energijo, ki jo porabimo za delovanje TČ preko celotne sezone) najučinkovitejših komercialnih toplotnih črpalk dosegel raven 6-7, čeprav se SPF znatno razlikuje glede na tehnologijo toplotne črpalke, vira toplote in pogojev delovanja. Toplotne črpalke, ki črpajo energijo iz zemlje lahko služijo kot učinkoviti sistemi za prostorsko hlajenje (poleti) in ogrevanje (pozimi), saj v večini regij temperatura tal ostane nespremenjena skozi celo leto (to je med 10-15 °C). Vendar pa so toplotne črpalke, ki izkoriščajo toploto zraka najbolj pogosta tehnologija pri klimatizaciji. Uporaba toplotnih črpalk zrak-voda se izkaže kot stroškovno učinkovita v regijah, kjer je treba ves čas prostore tako ogrevati kot tudi hladiti. Najsodobnejše naprave lahko dosežejo koeficiente učinkovitosti oz. grelna števila ali COP (tj. razmerje med pridobljeno energijo – toploto (pri hlajenju pa odvzeto toploto) in električno energijo), ki presega šest. Variabilni pretok hladilnega sredstva (VRF) toplotnih črpalk zrak-voda za ogrevanje prostorov in hlajenje srednje velikih zgradb lahko ponudijo COP več kot pet v blagem podnebju in nad tri pri zunanjih temperaturah zraka -10 °C. Črpalke večjih moči za večje stavbe v storitvenem sektorju ali za uporabo v industrijskih procesih lahko dosežejo COP nad šest. S stroškovnega vidika so toplotne črpalke zrak-voda relativno poceni, ker ni potrebna podzemna in vodna oprema v primerjavi s tehnologijami, ki izkoriščajo energijo zemlje ali podtalnice. Posebej klimatske naprave postajajo priljubljene zaradi nizkih cen in enostavne vgradnje. Toplotne črpalke zemlja-voda so okolju prijazne, vendar drage zaradi zakopavanja toplotnih izmenjevalcev pod zemljo in vrtanja vodnjakov za pridobivanje toplote. Vendar pa so dolgoročno gledano njihovi tekoči stroški nižji.

V zvezi z vrednostmi COP je poročilo Francoskega združenja proizvajalcev toplotnih črpalk pokazalo, da bo COP v najboljšem scenariju (obsežna tehnološka uvedba) dosegel najvišjo vrednost med 5,5 in 6 leta 2050 za stanovanjski sektor. Dodatna prizadevanja na področju raziskav in razvoja bi potencialno omogočila nadaljnje izboljšave na področju izboljšanja zmogljivosti, vendar to ne bi bilo vredno ogromnih naložb v raziskave in razvoj. V storitvenem sektorju bi zmogljivost večjih naprav (vrednost COP) na dolgi rok vedno bila nižja za 1 glede na naprave v stanovanjskem sektorju.

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. Načrt Mednarodne agencije za energijo predvideva izboljšanje COP za +40 do 60% do leta 2050. Ta trend je mogoče primerjati z vrednostmi SCOP in COP, ki jih zagotavljata ADEME in SVEP.

Tabela 19: Prihodnji trendi in pričakovan razvoj učinkovitosti tehnologije na področju ogrevanja (COP, sCOP, SPF) do leta 2030 in 2050

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

Razpoložljivi podatki ADEME zagotavljajo vrednosti SEER do leta 2030, pri čemer so upoštevane vse tehnologije. Pričakuje se, da se bo SEER povečal za 20% do leta 2030. To se lahko primerja s podatki iz časovnega načrta IEA (Tabela 20):

Tabela 20: Prihodnji trendi in pričakovan razvoj učinkovitosti tehnologije na področju hlajenja (EER, SEER) do leta 2030 in 2050

Evolucija učinkovitosti		
	2030	2050
EER (podatki IEA)	20 – 40%	30 – 50%
SEER (podatki ADEME)	20%	-

4.2.3 Potenciali in ovire

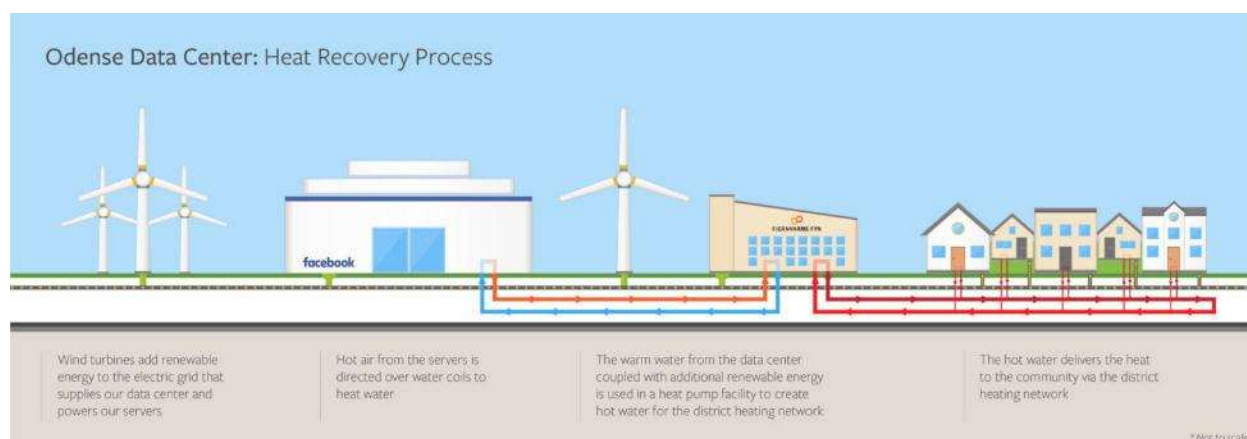
Trenutno je raba energije za ogrevanje in hlajenje prostora skupaj s pripravo tople sanitarne vode ocenjenih na približno polovico svetovne porabe energije v stavbah. Večino te potrebe po energiji se pridobi z izrabo fosilnih goriv ter z njimi povezanimi emisijami CO₂. Po drugi strani pa je vedno večje povpraševanje po klimatskih napravah in hlajenju v razvijajočih se gospodarstvih. Le to bo še naprej raslo zaradi gradnje stavb skoraj nič, kjer se običajno namestijo tehnologije za hlajenje. Toplotne črpalke lahko zmanjšajo porabo energije in emisije CO₂ ter izboljšajo energetske varnost. V kombinaciji s toplotnim shranjevanjem lahko toplotne črpalke zmanjšajo tudi povpraševanje po konični moči. Ocenjeno je bilo, da bi razširjena uporaba toplotnih črpalk za ogrevanje in hlajenje prostorov v gospodinjstvih in ogrevanje vode v komercialnih sektorjih do leta 2050 lahko zmanjšala emisije CO₂ za 1,25 milijarde ton. Glavne ovire za široko uporabo toplotnih črpalk vključujejo nezadostno prepoznavanje koristi in visoke investicijske stroške. Opredelitev mednarodnih standardov za učinkovitost toplotne črpalke ter označevanje in zagotavljanje spodbud za uporabo toplotnih črpalk bi lahko pomagali premagati te ovire. Kar se tiče učinkovitosti in stroškov, pričakujemo, da bodo sedanje raziskave in razvojne dejavnosti povečale učinkovitost

za 40-60% za storitve ogrevanja in 30-50% za storitve hlajenja ter znižale stroške za 30-40% oziroma 5-20 % do leta 2050.

4.3 Odvečna toplota

Odvečna toplota je toplota, ki nastaja kot stranski proizvod tehničnih procesov, tako pri proizvodnji električne energije, transportu kot tudi pri drugih industrijskih procesih. Ocenjuje se, da je kar 72 % primarne energije izgubljene med konverzijami [65], pri čemer je 1/3 te toplote pri temperaturi pod 200°C (nizkotemperaturna). 25 % v območju 200-500 °C in ostala nad 500 °C (povečini o 1000 °C) [66]. Količina odvečne toplote je odvisna tudi od tipa postrojenja, na primer za elektrarne znaša med 40 (termoelektrarna na premog) do 65 % (plinsko parno postrojenje) energije goriva, seveda odvisno od tehnološkega procesa. Odvečna toplota v industriji je v okviru projekta Climate path 2050 obravnavana tudi v okviru poročila [4].

Kot omenjeno, se odvečna toplota deli na visokotemperaturno in nizkotemperaturno, občasno pa se uporabijo tudi termini srednjetermaturna ter sevalna odvečna toplota [67]. Slika 50 kaže shemo primera uporabe odvečne toplote [68].



Slika 50: Primer uporabe odvečne toplote

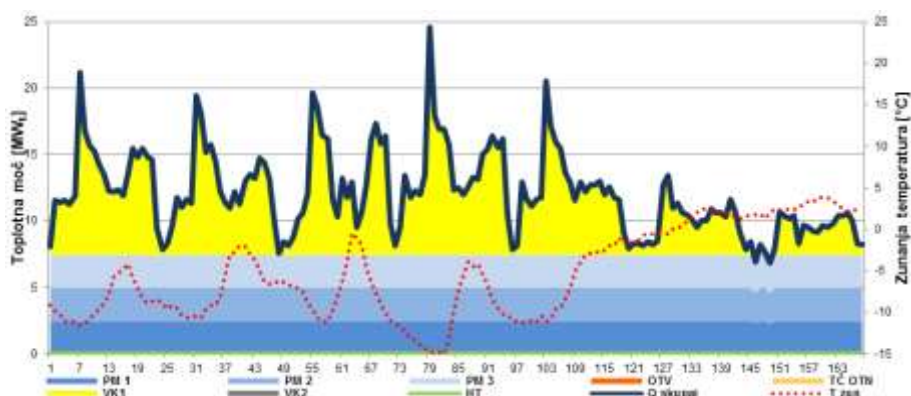
Koriščenje odvečne toplote je zapovedano tudi z novelo Energetskega zakona (EZ-1) [69], kjer bodo sistemi daljinskega ogrevanja od leta 2020 dalje obvezani doseči predpisano raven učinkovitosti z uporabo tudi odvečne toplote: minimalni delež 50% toplote iz odvečne toplote oziroma 75% toplote iz poljubne kombinacije iz obnovljivih virov, SPTE in odvečne toplote. Nadaljnje odvečno toploto propagira tudi 14. člen Evropske direktive o energetski učinkovitosti, ki od članic zahteva izvajanje ocene potencialov za nadaljnji razvoj soproizvodnje in učinkovitega sistema daljinskega ogrevanja. Tabela 21 vsebuje nekatere tehnične in ekonomske lastnosti tehnologije odvečne toplote.

Tabela 21: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologije odvečne toplote.

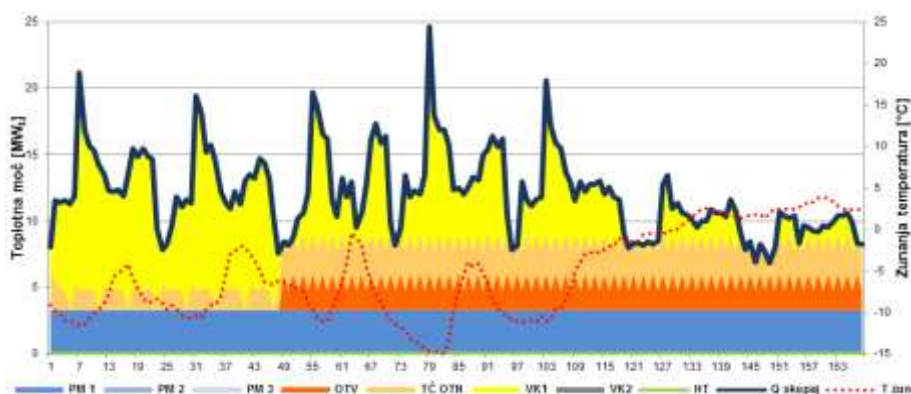
Lastnosti	Podrobno	Opis
Tehnične karakteristike tehnologij	Učinkovitost	/
	Tipična velikost	2 kW do 100 MW
	Možnost skaliranja	Da
Ekonomske karakteristike tehnologij	Štrošek investicije	/
	LCOE	10 - 85 EUR
Perspektiva razvoja do leta 2050	Pomembno vplivati na boljši izkoristek toplote	
Ekonomski in tehnični potenciali po sektorjih	Srednje-hitro uveljavljanje: gospodinjstva in Industrija	
Ključni izzivi do leta 2030	Manjša poraba drugih enegentov	
Diskusija okoljske karakteristike	Izgradnja infrastrukture	

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. Med drugim se pričakuje podpora novim tehnologijam za učinkovito izkoriščanje odvečne toplote v velikih industrijskih sistemih. Rešitve morajo biti celoviti demonstracijski projekti v polnem obsegu in v realnih proizvodnih pogojih v industriji.

Slika 51 in Slika 52 prikazujeta simulacije obratovanja obstoječe oziroma nove so-proizvodnja toplote in elektrike za hladen teden. V primeru obstoječe naprave, se toplota zagotavlja le z plinskim motorjem (pas morde barve) in vršnim kotlom (pas rumene barve). V primeru nove naprave pa je plinski motor zamenjan z učinkovitejšim (pas modre barve), še vedno pa obratuje vršni kotel (pas rumene barve), hkrati pa je dodana raba visokotemperaturne odvečne toplote (pas oranžne barve) in proizvodnja toplote s toplotno črpalko iz nizkotemperaturne odvečne toplote (pas svetlo-oranžne barve) [67]. Razviden je veliko višji izkoristek v primeru uporabe odvečne toplote.

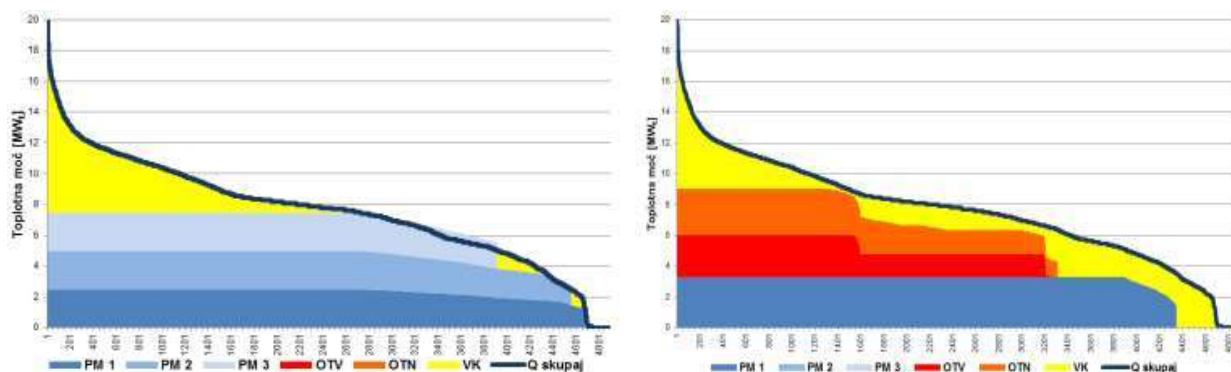


Slika 51: Simulacija obratovanja obstoječe so-proizvodnja toplote in elektrike plinskim motorjem in vršnim kotlom, hladen teden



Slika 52: Simulacija obratovanja nove so-proizvodnja toplote in elektrike s plinskim motorjem, raba visokotemperaturne odvečne toplote, proizvodnja toplote s toplotno črpalko iz nizkotemperaturne odvečne toplote in vršnim kotlom, hladen teden

Slika 53 prikazuje urejena diagrama obratovanja so-proizvodnja toplote in elektrike s identično barvno shemo kot zgornji sliki. Levo je obstoječi model, desno pa nov model s koriščenjem odvečne toplote [67].



Slika 53: Urejena diagrama obratovanja so-proizvodnja toplote in elektrike

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 [67] so bile tako upoštevane naslednje nakupne cene ():

Tabela 22: Cena odvečne toplote

Tip odvečne toplote	Cena [EUR/MWh _t]
Visokotemperaturna odvečna toplota	22,69 oziroma 70% stroška normative porabe zemeljskega plina za proizvodnjo toplote ¹⁰ .
Nizkotemperaturna odvečna toplota	9,72 oziroma 30% stroška normative porabe zemeljskega plina za proizvodnjo toplote.

Cena odvečne toplote je odvisna od tehnologije in čdeloma lokacije. Hiter pregled literature navaja cene med 35 in 85 EUR/MWh_t, [70] [71] [72] [73].

¹⁰ 105,59 Sm 3 /MWh_t oziroma 32,6 EUR/MWh_t

5 E-mobilnost

V okviru projekta LIFE ClimatePath 2050 je izvedena analiza potencialov za zmanjševanje emisij TGP in projekcije emisij TGP ter ocene učinkov [74]. Večina poglavja je zato neposredno povzeto po študiji avtorjev Luka A., Urška S., Stanko. H., Žiga P., Jan Ž. Gorazd Lampič.

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.

Tabela 23 prikazuje povzetek poglavitnih tehničnih in ekonomskih lastnosti e-mobilnosti.

Tabela 23: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologije e-mobilnosti.

Lastnosti		Podrobno		Opis
Tehnične tehnologij	karakteristike	Učinkovitost	50% - 90%	
		Tipična velikost	100 W do 1 MW	
		Možnost skaliranja	Da	
Ekonomske tehnologij	karakteristike	Štrošek investicije	0.1 – 0.3 EUR/p.km (osebni avtomobil) do 0.1 EUR/p.km (avtobusi) 0.1 EUR/p. km/ (dvokolesniki)	
		LCOE	10 – 40 kWh/100 km (osebni avtomobili) 10 – 250 kWh/100 km (avtobus) do 1200 kWh/100 km (težki tovornjaki) 1 – 3 kWh/100 km (dvokolesniki) @ 0.05-0.1 EUR/kWh (podrobnejši podatki se nahajajo dalje v besedilu)	
Perspektiva razvoja do leta 2050		Izboljšati izkoristek, manjše potrebe po baterijah		
Ekonomski in tehnični potenciali po sektorjih		hitro uveljavljanje: transport srednje hitro uveljavljanje: gospodinjstva, Industrija		
Ključni izzivi do leta 2030		Manjša poraba drugih enegentov		

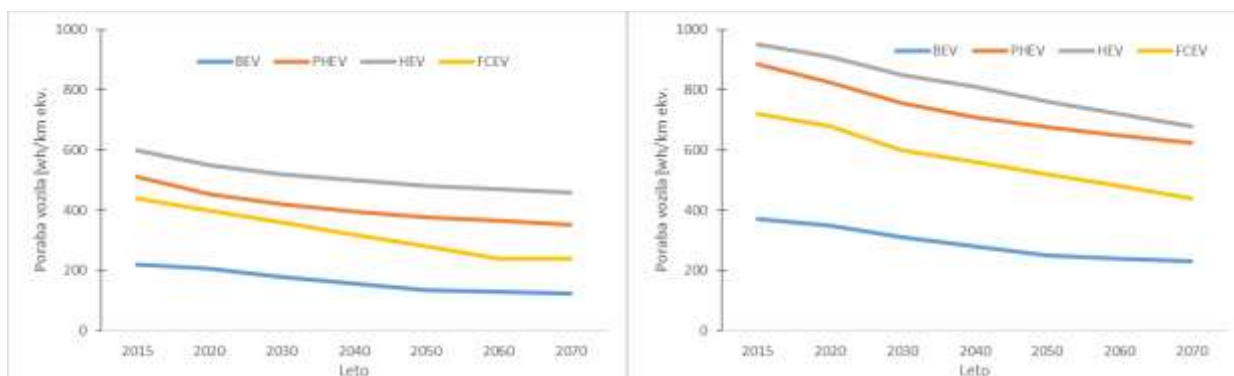
Lastnosti		Podrobno	Opis
Diskusija karakteristike	okoljske	Izgradnja infrastrukture	

5.1 Projekcija tehničnih karakteristik vozil

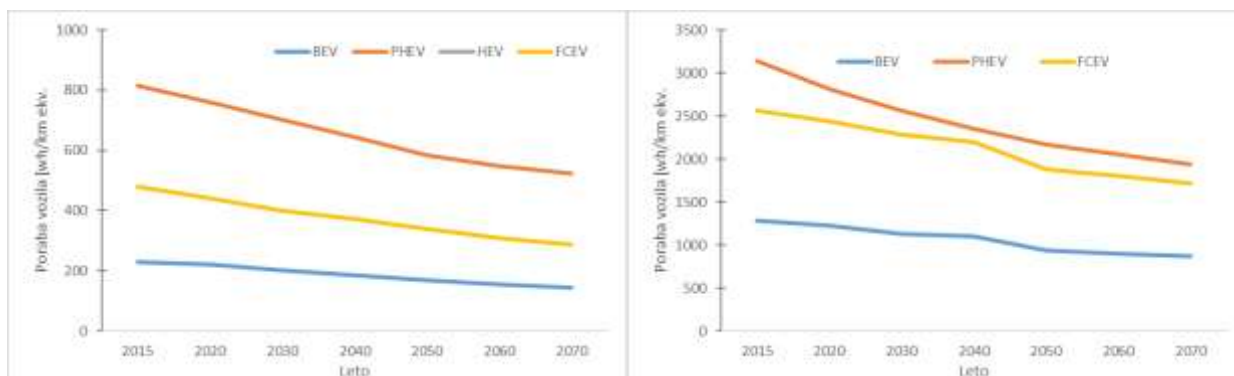
Projekcije karakteristik vozil so pripravljene po vrstah vozil:

- za naslednje vrste vozil:
 - osebna vozila
 - ostale vrste vozil (avtobusi, lahka tovorna vozila – kombiji (maksimalna tehnična dovoljena masa do 3,5 t), težka tovorna vozila (maksimalna tehnična dovoljena masa nad 3,5 t), motorji/mopedi, električna kolesa),
 - za naslednje vrste tehnologij (baterijska električna, hibrid, plug in hibrid, vozila vodik, kot je relevantno za posamezno vrsto vozil);
- za naslednje parametre in sicer vrednosti v baznem letu 2015, in za leta 2020, 2030, 2040, 2050, 2060, 2070;
 - tehnične karakteristike tehnologij (poraba energije na prevožen kilometer, razdelitev porabe energije po energentih, tipične moči, tipične kapacitete baterij);
- vse potrebne ekonomske podatke za oceno stroškov v življenjski dobi: (investicijska cena – za vsa leta, obratovalni stroški – servisi, stroški za morebitno investicijsko vzdrževanje (zamenjava akumulatorjev, življenjska doba); Oceni se tudi preostala vrednost akumulatorjev po uporabi v vozilih.

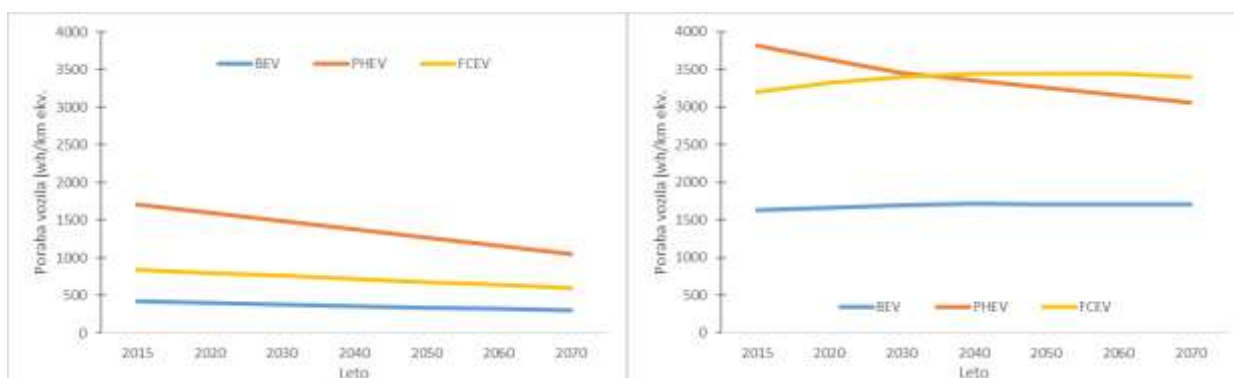
Slika 54 - Slika 56 prikazujejo predvideno prihodnjo poraba avtomobilov, avtobusov in tovornih vozil, glede na izbiro pogona. Povzeti so podatki iz podrobnejših spodnjih tabel, pri čemer je poraba preračunanana Wh/km (kar omogoča primerjavo). Avtomobil so tako kompaktni (mestni) kot srednjega razreda ter veliki (bivša kombiirana vozila). Tip pogona zajema baterijska vozila (BEV), klasične hibride (HEV, le za avtomobile), priključne hibride (PHEV) in vozila z gorivno celico (FCEV).



Slika 54: Predvidena prihodnja poraba kompaktnih avtomobilov (levo) in avtomobilov višjega razreda (desno) glede na izbiro pogona.



Slika 55: Predvidena prihodnja poraba velikih osebnih vozil (bivših kombiniranih vozil) (levo) in avtobusov (desno) glede na izbiro pogona.



Slika 56: Predvidena prihodnja poraba malih (<3.5 t, levo) in velikih (>3.5 t, desno) tovornih vozil glede na izbiro pogona.

5.1.1 Osebna vozila

Osebna vozila smo razdelili v tri kategorije in sicer mestni avtomobili, kompaktni avtomobili in avtomobili višjega razreda. Posamezne kategorije se med seboj razlikujejo po mnogih parametrih kot so masa, dimenzije, koeficienta zračnega in kotalnega upora ter po drugih podatkih. Obenem se seveda razlikujejo tudi performansah, torej po pospeških, hitrosti, dosegu in drugih podatkih. Marsikateri vrednosti so tudi različne tekom let, saj pričakujemo tako spreminjanje tehnologij kot namena uporabe vozil.

Vozila se razlikujejo tudi po tipu pogonskega sistema, kjer ločimo baterijska, hibridna ter vozila na vodik, vendar ne pri vseh kategorijah vozil, saj pričakujemo, da se bodo pri nekaterih večinoma dolgoročno uveljavile le nekatere tehnologije.

Pri vtičnih hibridih predpostavljamo polovico vožnje z električnim pogonom in polovico z motorjem na notranje izgorevanje. Seveda je ta predpostavka vprašljiva, ampak enako bi veljalo za kakšno drugo. Dogajala se bosta sočasno dva trenda. Domet z uporabo le električne energije se bo povečeval, sočasno pa se bo spreminjala struktura uporabnikov. Zgodnejši uporabnik so ekološko bolj ozaveščeni in tudi z nižjim brez-emisijskim dosegom uspejo narediti več tovrstnih kilometrov. V primeru vozil na vodik upoštevamo energijsko gostoto stisnjenega vodika kot

14 MJ/kg oz. približno 40 kWh/kg. Seveda upoštevamo tudi približno polovico nižje izkoristke pretvorbo v mehansko energijo v primerjavi z baterijami.

Tabela 24: Mali mestni avtomobili, teoretična analiza

	2015	2020	2030	2040	2050	2060	2070
Poraba energije baterijska EV [Wh/km]	90	85	45	42	39	38	37
Moč vozila [kW]	22	22	21	20	20	20	20
Kapaciteta baterije [kWh]	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13

Primer takega vozila je vozilo velikosti med L7e kategorijo in najmanjšimi mestnimi avtomobili. Npr. vozilo med Twizijem in Smartom.

Tabela 25: Mali mestni avtomobili, primer iz prakse

Renault Twizy, 2018		Smart4two, 2018	
Poraba energije baterijska EV [Wh/km]	72	110 (129 merjeno pri polnjenju na vtičnici)	
Moč vozila [kW]	13	41	
Kapaciteta baterije [kWh]	6,1	17,6	
Obratovalni stroški brez energije [EUR/km]	<ul style="list-style-type: none"> • 0,17 (vse¹¹) • 0,08 (le servisi in zavarovanje, baterija že del vozila) • 0,03 (le servisi in zavarovanje) 	<ul style="list-style-type: none"> • 0,20 (vse) • 0,04 (le servisi in zavarovanje, baterija že del vozila) • 0,03 (le servisi in zavarovanje) 	

Tabela 26: Mali mestni avtomobili, podatki iz prakse

	Renault Zoe	BMW i3	Nissan Leaf
Obratovalni stroški brez energije za vse [EUR/km]	0.24	0,25	0,24
Obratovalni stroški brez energije za servis in zavarovanje [EUR/km]	0.04	0.04	0.04

¹¹ Tretjino predstavlja amortizacija stroška nakupa vozila, tretjino najem baterije, približno šestino servisi in vzdrževanje, preostalo šestino pa zavarovanje.

Tabela 27: Osebni kompaktni avtomobil, Teoretična analiza

	2015	2020	2030	2040	2050	2060	2070
Poraba energije baterijska EV [Wh/km]	220	206	180	157	135	130	125
Moč vozila [kW]	81	79	73	68	65	63	62
Kapaciteta baterije [kWh]	52	56	63	67	68	69	70
Poraba energije vtični hibridi [l/100km]	4	3.5	3.3	3.2	3.1	3	2.9
Poraba energije vtični hibridi [Wh/km]	110	103	90	77	67	65	62
Moč vozila [kW]	90	88	80	75	70	68	67
Kapaciteta baterije [kWh]	10	10	15	20	23	25	27
Poraba energije hibridi [l/100km]	6	5.5	5.2	5.0	4.8	4.7	4.6
Moč vozila [kW]	81	79	73	68	65	63	62
Kapaciteta baterije [kWh]	5	5	7	10	12	13	14
Poraba energije vozila na vodik [kg H ₂ /km] ¹²	0.011	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006
Moč vozila [kW]	81	79	73	68	65	63	62
Kapaciteta baterije [kWh]	5	5	7	10	12	13	14

Tabela 28: Osebni kompaktni avtomobil, primer iz prakse, VW Golf

		VW eGolf	VW Golf GTE 1.4 TSI Hybrid	Toyota Prius hybrid	Toyota Mirai
Poraba energije	Električna energija [Wh/km]	179 (doseg: 201 km)	174		
	Gorivo [l/100 km]		1,5 (kombinirano)	4,5	
	Vodik [kg H ₂ /km]				0,01

¹² Izračun za porabo energije vozila na vodik upošteva energijsko kapaciteto vodika 142 MJ/kg (40 kWh/kg) in 50 % izkoristek sistema z gorivno celico v primerjavi z baterijskim vozilom.

	VW eGolf	VW Golf GTE 1.4 TSI Hybrid	Toyota Prius hybrid	Toyota Mirai
Moč vozila [kW]	100	110kW(ICE), 75kW (e-motor)	71 kW (ICE), 53 kW (e-motor)	113
Kapaciteta baterije [kWh]	35,8	8,7 e-doseg = 50km	1kWh	1,6
Obratovalni stroški brez energije [EUR/km]	0,27 / 0,05	0,30 / 0,05	0,29 / 0,05	? ¹³

Tabela 29: Osebni avtomobil višjega razreda, Teoretična analiza

	2015	2020	2030	2040	2050	2060	2070
Poraba energije baterijska EV [Wh/km]	370	350	310	280	250	240	230
Moč vozila [kW]	196	190	176	163	152	150	148
Kapaciteta baterije [kWh]	125	131	141	146	148	150	152
Poraba energije vtični hibridi [l/km]	7	6,5	6	5,7	5,5	5,3	5,1
Poraba energije vtični hibridi [Wh/km]	185	175	155	140	125	120	115
Moč vozila [kW]	210	200	190	175	160	155	150
Kapaciteta baterije [kWh]	10	20	25	30	33	35	37
Poraba energije hibridi [l/km]	9,5	9,1	8,5	8,1	7,6	7,2	6,8
Moč vozila [kW]	196	190	176	163	152	150	148
Kapaciteta baterije [kWh]	5	8	12	15	18	20	22
Poraba energije vozila na vodik [kg H ₂ /km]	0,018	0,017	0,015	0,014	0,013	0,012	0,011
Moč vozila [kW]	196	190	176	163	152	150	148
Kapaciteta baterije [kWh]	5	8	12	15	18	20	22

¹³ Vozil na vodik je tako malo, da so stroški v tem trenutku nesmiselno visoki. Za prihodnje obdobje je premalo podatkov, sklepamo pa lahko, da bodo primerljivi oz. nekoliko višji od baterijskih.

Tabela 30: Osebni avtomobil višjega razreda, primer iz prakse, Opel Ampera

2018	
Poraba energije baterijska EV [Wh/km]	200
Moč vozila [kW]	150
Kapaciteta baterije [kWh]	60
Obratovalni stroški brez energije [EUR/km]	0,46 ¹⁴ / 0,08

Tabela 31: Velika osebna vozila (bivša kombinirana vozila), Teoretična analiza

	2015	2020	2030	2040	2050	2060	2070
Poraba energije baterijski kombinirana vozila [Wh/km]	229	220	202	186	170	155	145
Moč vozila [kW]	55	57	62	68	77	87	99
Kapaciteta baterije [kWh]	44	52	66	76	85	95	106
Poraba energije vtični hibridna kombinirana vozila [Wh/km]	115	110	101	93	85	77	72
Poraba energije vtični hibridna kombinirana vozila [l/km]	7	6.5	6	5.5	5	4.7	4.5
Moč vozila [kW]	55	57	62	68	77	87	99
Kapaciteta baterije [kWh]	10	20	60	80	100	100	100
Poraba energije kombinirana vozila na vodik [kg H ₂ /km]	0.012	0.011	0.010	0.093	0.085	0.077	0.072
Moč vozila [kW]	55	57	62	68	77	87	99

¹⁴ Strošek obratovanja vozila je 0,46 EUR/km, vendar večji del predstavlja amortizacija vozila. Sama uporaba brez energije, torej servisi in zavarovanje pa stanejo približno 0,08 EUR/km

Tabela 32: Primer iz prakse, kombinirana vozila

	Renault Kangoo ZE	Mooville EV	IVECO Ecodaily EV	Smith Edison EV
Masa tovora [kg]		450	1000	1255
Obratovalni stroški brez energije [EUR/km]	~ 0,25	~ 0,29	~0,80	~0,66

5.1.2 Ostala vozila – dvokolesniki, avtobusi in tovorna vozila

Tabela 33: Dvokolesniki, teoretična analiza

	2015	2020	2030	2040	2050	2060	2070
Poraba energije baterijska električna kolesa [Wh/km]	13	12,6	11,9	11,2	10,6	9,9	9,2
Moč vozila [kW]	1,14	1,11	1,08	1,06	1,03	1,00	0,9
Kapaciteta baterije [kWh]	0,50	0,52	0,56	0,60	0,64	0,70	0,75
Poraba energije baterijski skuterji in mopedi [Wh/km]	35	32	29	25	22	20	18
Moč vozila [kW]	6,6	6,4	6	5,9	??	??	??
Kapaciteta baterije [kWh]	2,4	2,8	3,6	4,2	4,5	5	5,4

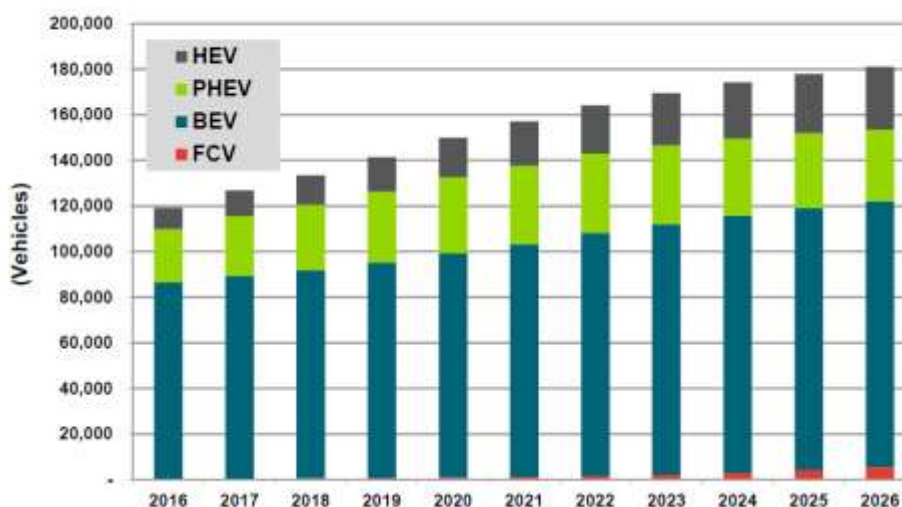
Tabela 34: Dvokolesniki, primer iz prakse

	XTC Speed Mountain Bike Electric Bicycle 25 km/h Pedelec Wheel Scooter E-bike	RE Ninja 5000w/72v Electric Motorcycle Scooter
Poraba energije [Wh/km]	19	28,8
Moč vozila [kW]	0,5	5
Kapaciteta baterije [kWh]	0,576	2,88

Tabela 35: Avtobusi s skupno maso do 18 ton

	2015	2020	2030	2040	2050	2060	2070
Poraba energije baterijski avtobusi (18 ton) [kWh/km]	1,28	1,23	1,13	1,10	0,94	0,9	0,87
Moč vozila [kW]	318	327	348	374	405	415	430
Kapaciteta baterije [kWh]	337	338	339	336	331	329	325
Poraba energije vtični hibridi avtobusi (18 ton) [Wh/km]	640	615	560	550	470	450	435
Poraba energije vtični hibridi avtobusi (18 ton) [l/km]	25	22	20	18	17	16	15
Moč vozila [kW]	400	360	300	280	260	250	240
Kapaciteta baterije [kWh]	60	70	80	90	100	110	120
Poraba energije avtobus na vodik (18 ton) [kg H ₂ /km]	64	61	57	55	47	45	43
Moč vozila [kW]	318	327	348	374	405	415	430

Globalna prodaja električnih avtobusov raste. Rast je predvidena tudi v naslednjem desetletju, ko bodo električni pogonski sistemi še bolj zanimivi za tovrstna težja vozila. Do leta 2020 namerava Kitajska uporabljati preko 200 000 električnih avtobusov (EVI, 2016b).

Electric Drive Bus Sales by Powertrain Type, World Markets: 2016-2026


Slika 57: Alexander David, Jerram Lisa: Electric drive buses, Navigant Consulting, Boulder, Q3 2016, stran 2

Tabela 36: Avtobusi s skupno maso do 18 ton, primer iz prakse

	Solaris urbino 12 electric	Rampini ELECTRIC ALÉ E80	Proterra
Poraba energije baterijski avtobusi (18 ton) [kWh/km]	1,2	1,2	1,7
Moč vozila [kW]	160	50	420
Kapaciteta baterije [kWh]	192	180	94 do 660
Poraba energije avtobus na vodik (18 ton) [kg H ₂ /km]		Citaro FuelCELL	
Moč vozila [kW]		250	

Obratovalni stroški so okoli 2,5 EUR/km

Tabela 37: Tovorna vozila do 3.5 tone, teoretična analiza

	2015	2020	2030	2040	2050	2060	2070
Poraba energije baterijski tovorna vozila do (3.5 tone) [Wh/km]	418	406	383	361	340	320	300
Moč vozila [kW]	191	190	189	188	186	184	181
Kapaciteta baterije [kWh]	63	81	115	144	170	190	205
Poraba energije vtični hibridna vozila (do 3.5 ton) [Wh/km]	210	200	190	180	170	160	150
Poraba energije vtični hibridna vozila (do 3.5 ton) [l/km]	15	14	13	12	11	10	9
Moč vozila [kW]	200	200	198	196	194	192	185
Kapaciteta baterije [kWh]	60	80	100	120	130	140	150
Poraba energije tovorna vozila do 3.5 tone na vodik [kg H ₂ /km]	0,021	0,020	0,019	0,018	0,017	0,016	0,015

Moč vozila [kW]	191	190	189	188	186	184	181
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabela 38: Tovorna vozila do 3.5 tone, primeri iz prakse

EVI E-MEGA	
Poraba energije baterijska tovorna vozila do (3.5 tone) [Wh/km]	132
Moč vozila [kW]	21
Kapaciteta baterije [kWh]	10,6
Obratovalni stroški brez energije [EUR/km]	0,4 EUR/km (vse) / 0,08 (brez amortizacije vozila)

Tabela 39: Tovorna vozila nad 3.5 tone, teoretična analiza

	2015	2020	2030	2040	2050	2060	2070
Poraba energije baterijski tovorna vozila (nad 3.5 tone) [kWh/km]	1,632	1,660	1,699	1,716	1,713	1,711	1,710
Moč vozila [kW]	848	910	1032	1153	1273	1393	1500
Kapaciteta baterije [kWh]	418	602	977	1352	1713	2087	2437
Poraba energije vtični hibridna vozila (nad 3.5 ton) [Wh/km]	816	830	850	858	855	855	855
Poraba energije vtični hibridna vozila (nad 3.5 ton) [l/km]	30	28	26	25	24	23	22
Moč vozila [kW]	850	920	1000	1200	1300	1400	1500
Kapaciteta baterije [kWh]	/	200	400	600	600	600	600
Poraba energije tovorna vozila nad 3.5 tone na vodik [kg H ₂ /km]	0,080	0,083	0,085	0,086	0,086	0,086	0,085
Moč vozila [kW]	848	910	1032	1153	1273	1393	1500

Tabela 40: Baterijska tovorna vozila po največji skupni masi od 7,5 ton do 40 ton, primeri iz prakse

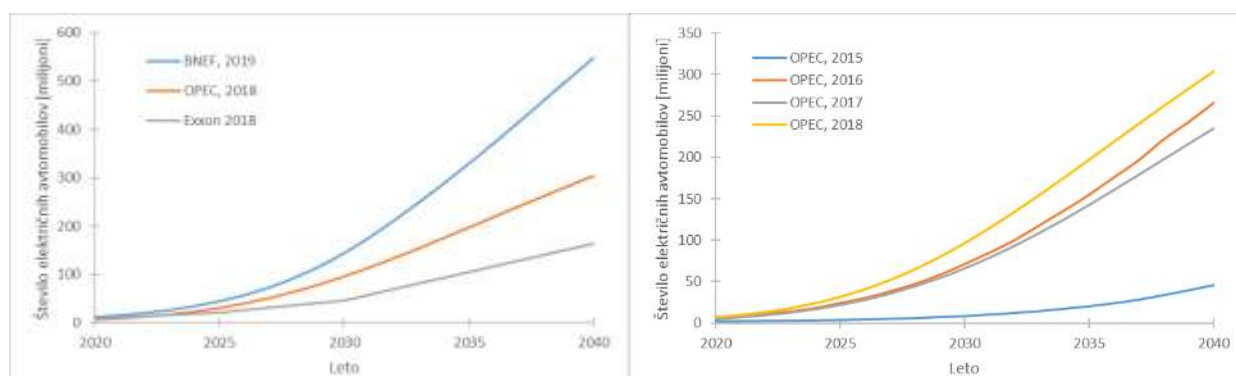
	Fuso eCanter 7,5 ton	EMOS EMS 10 ton	EMOS EMS12 ton	EMOS EMS 16 ton	EMS 18 ton	Mercedes ETruck, 26 ton	Tesla Semi 40 ton
Poraba energije baterijski tovorna vozila [Wh/km]	700	800	950	952	960	1060	1250
Moč vozila [kW]	185	150	200	250	250	250	4x 300kW
Kapaciteta baterije [kWh]	70	120	200	200	240	212	1000

5.1.3 Ekonomske karakteristike vozil

5.1.3.1 Penetracija trga z električnimi vozili

Zarad hitro spreminjajočega trga, številna podjetja ta trg tudi podrobno analizirajo. Te analize služijo napovedim za naprej, hkrati pa lahko preverjamo, kako obnašanje na trgu sledi starim napovedim. Trenutno je le eno od 250 vozil na svetovnih cestah električno. 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 58 prikazuje predvideno število električnih avtomobilov glede na napovedovalca (levo) in leto napovedi (desno). Pri tem je viden porast števila napovedanih avtomobilov v novejših poročilih ne glede na izvor le-teh (npr. Exxon, ki je eden največjih proizvajalcev nafte, ima verjetno razlog za nižje število predvidenih avtomobilov kot ostali) [75], [76].

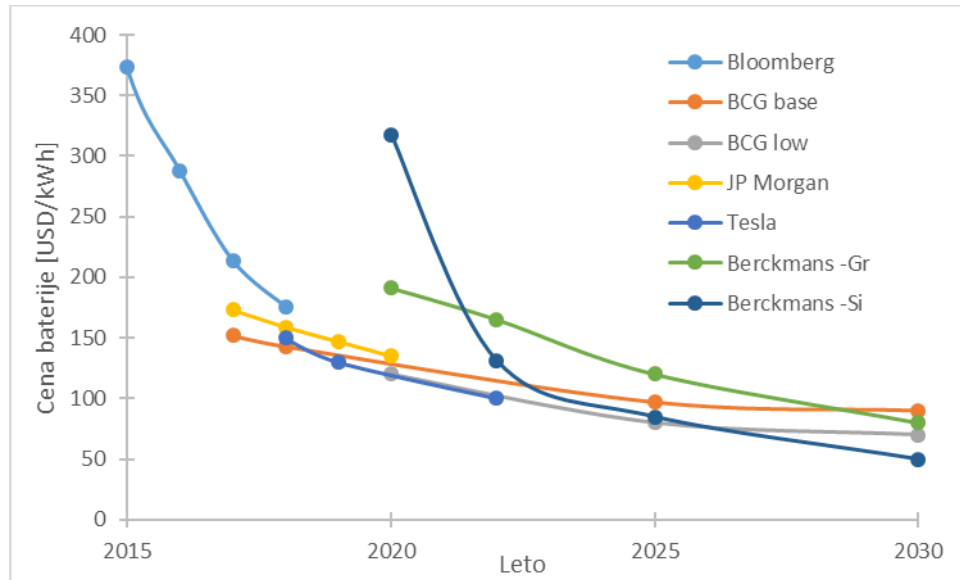


Slika 58: Predvideno število električnih avtomobilov glede na napovedovalca (levo) in leto napovedi (desno)

5.1.3.2 Bodoče cene električnih vozil

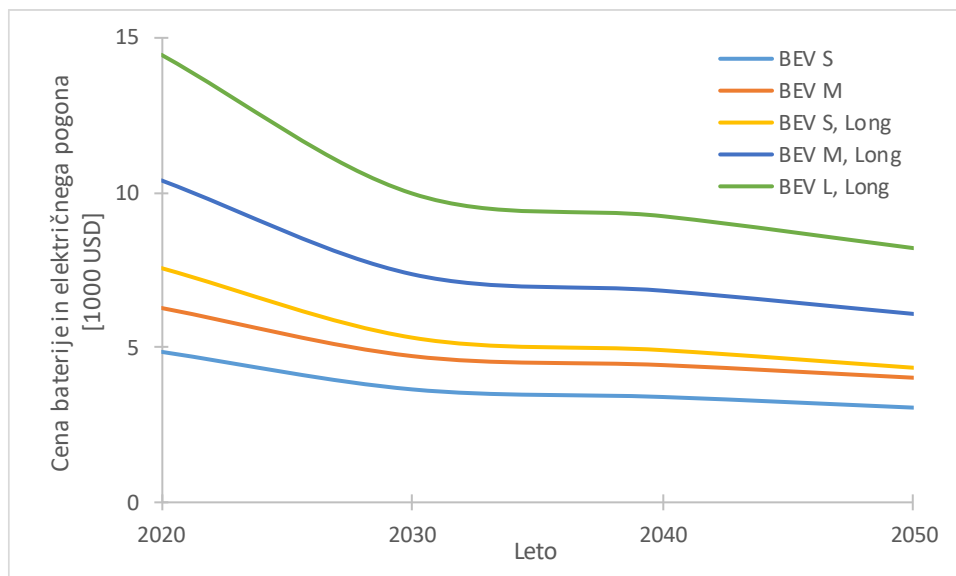
Slika 59 prikazuje napovedi cen avtomobilskih baterij do leta 2030 glede na analitične družbe (npr. JP Morgan, Bloomberg, BCG Boston Consulting Group) in proizvajalcev (Tesla in

Berckmans, pri čemer slednji napoveduje novo tehnologijo Si- elektrod, ki bi nadosmetile trenutne grafitne) [77]–[81]. Pričakuje se, da se bodo cene še sosatno spuščale in z današnjih nivojev verjetno prepolovile do leta 2030.



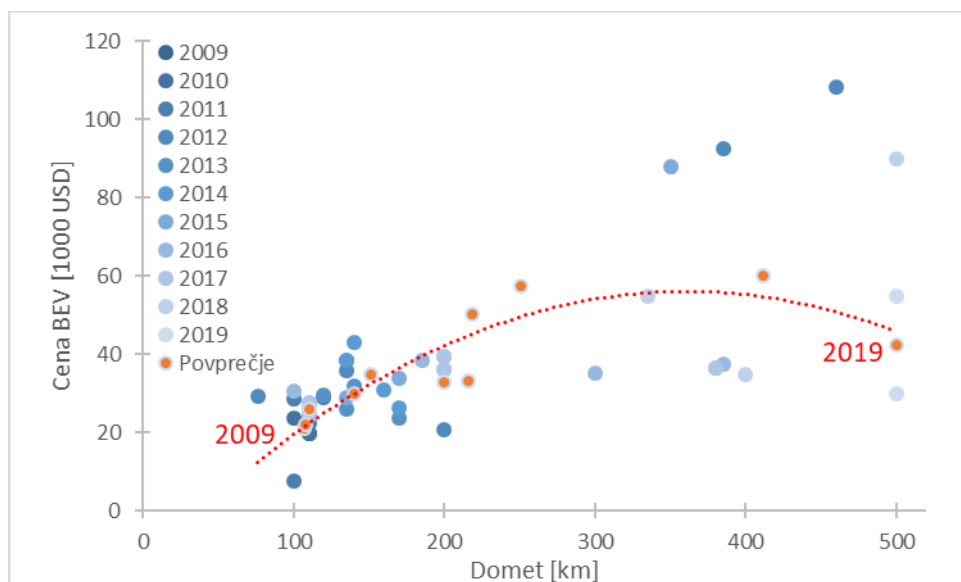
Slika 59: Napovedi cen avtomobilskih baterij do leta 2030 glede na analitične družbe in proizvajalce

Slika 60 kaže cene kompleta baterij in pogonskega sklopa električnih vozil do leta 2030, pri čemer je opazno zmanjševanje cen do 2030 [81]. Prikazani so podatki za mala (S), srednja (M) in velika (L) vozila, s kratkim (brez oznake) ali daljšim (Long) dometom. Prihranek znaša od 2000-7000 USD na vozilo.



Slika 60: Napovedi cen kompleta baterij in pogonskega sklopa električnih vozil do leta 2030

Slika 61 kaže cene baterijskih električnih vozil (v Evropi in ZDA) v odvisnosti od dometa in leta predstavitve [80], pri čemer je opaziti da določen del BEV gre v smer premiumskih vozil (npr. Tesla), le malo pa je vidnega nižanja cen novih modelov (oziroma imajo novi modeli raje večji domet). Tako lahko deloma sklepamo, da se nižanje vhodnih cen še preleva v povračilo stroškov R&R.

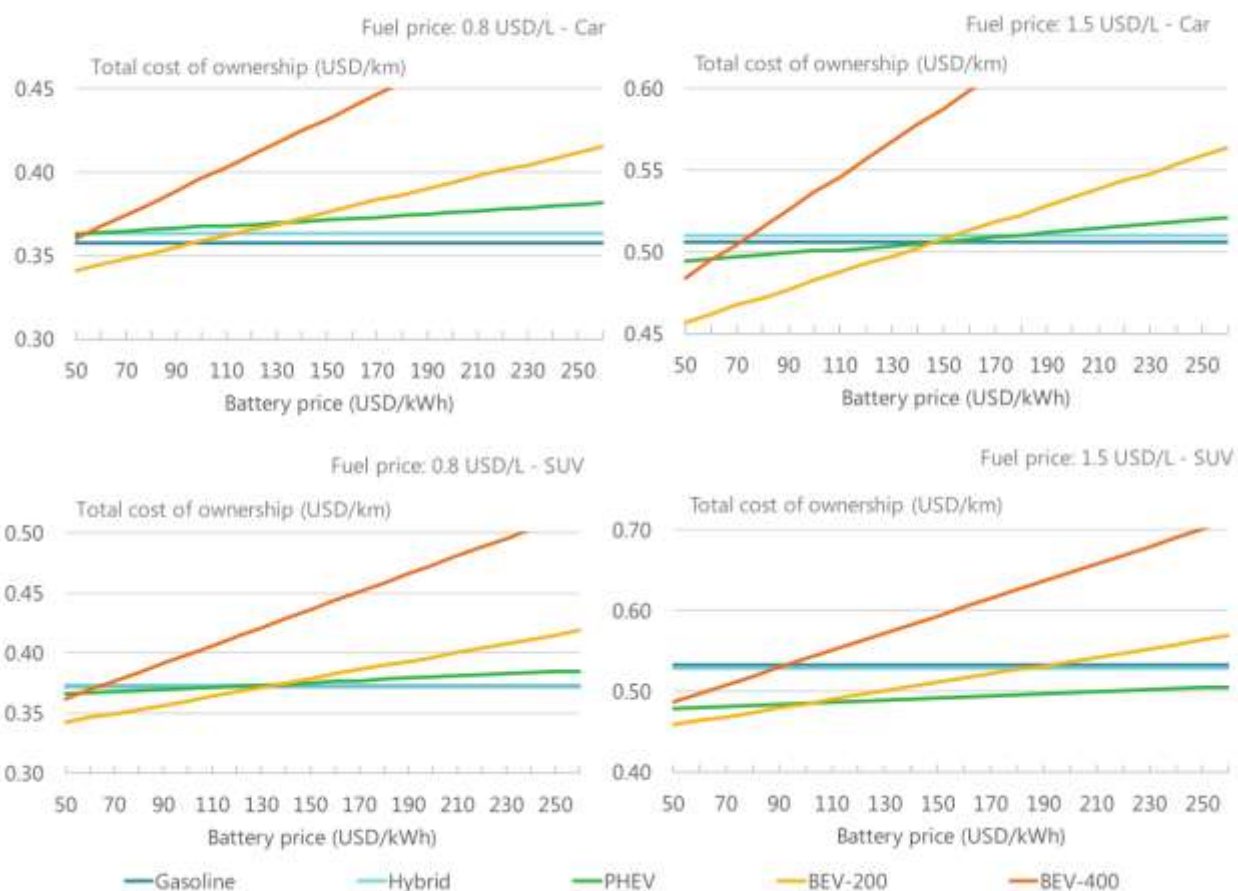


Slika 61: Cene baterijskih električnih vozil v odvisnosti od dometa in leta predstavitve

Tabela 41 prikazuje razrez cen klasičnega in električnega avtomobila po komponentah [77]. Pri tem je viden velik vpliv cene baterij, ki je trenutno na dvakratniku cene kompletnega klasičnega pogona. Omemben vpliv imajo tudi druge komponente, če že ne zaradi številčnosti. A v prihodnjih letih naj bi bil prihranek pri teh znaten, prav tako pa se bodo znižali posredni stroški (npr. cena maloserijske proizvodnje, R&R ipd.)

Slika 62 prikazuje skupne stroške lastništva vozila kot funkcijo velikosti baterije (dometa) in cene goriva za avto in SUV [82], [83]. V zgornji vrsti so podatki za avto, spodaj pa za SUV. Levo je primerjava za ceno goriva 0.8 USD/l (situacija ZDA), desno pa za ceno goriva 1.5 USD/l (situacija EU)¹⁵.

¹⁵ Skupni stroški lastništva se izračunajo v obdobju štirih let in z uporabo popusta iz perspektive prvega lastnika z diskontno stopnjo 10%. Letna kilometrina je 12000 km za scenarij z visokimi cenami goriva in 18000 km za scenarij z nizko ceno goriva. Za hibridna in bencinska vozila je poraba ocenjena na 5.1 oziroma 6.8 litra goriva na 100 kilometrov. Poraba avtomobila BEV/PHEV znaša 0,19 kWh/km za območje 200 km (baterija do 36 kWh) oziroma 0,195 kWh/km za območje 400 km (baterija do 73 kWh). Za SUV znaša poraba bencina 8,9 l/100 km in hibridna poraba 6.5l/100 km. Poraba BEV je 0,195 kWh/km (do 200 km) in 0,2 kWh/km (do 400 km). PHEV-ji imajo enako porabo kot hibridna vozila za delovanje ICE in enako kot BEV, kadar je v električnem načinu, se predvideva, da je njihov celotni električni doseg 50 km in da je delež električne vožnje 60%. Cena električne energije je 0,13 USD/kWh (pretežno polnjenje doma), za obračunsko infrastrukturo pa 0,04 USD / kWh stroškov.



Slika 62: Skupni stroški lastništva kot funkcija velikosti baterije (dometa) in cene goriv za avto in SUV

Tabela 41: Razrez cen klasičnega in električnega avtomobila po komponentah

Type	Komponenta	Bencin	2017 električni	2025 električni
Pogon električnega vozila	Baterijski paket		11500	8000
	Gretje/hlajenje		250	225
	Kontrola moči		250	295
	Inverter/konverter		697	523
	Električni motor		1200	1080
	DC konverter		150	134
	Kontroler		51	46
	Kontrolni modul		93	84
	Visokonapetostni kabli		335	302

Type	Komponenta	Bencin	2017 električni	2025 električni
	Polnilec		273	205
	Polnilni kabel		150	135
Klasičen pogon	Motor z notr. izgorevanjem, menjalnik, izpuh ipd.	6800		
Ostali neposredni stroški	Sestava	12700	12600	11900
Posredni stroški	Amortizacija, R&R, administracija	4000	10584	3200
Povzetek	Skupaj	23500	38133	26129
	Razlika do klasike: pogon	0	8149	4229
	Razlika do klasike: ostalo	0	6584	-800
	Razlika do klasike: skupaj	0	14733	3429

5.2 Ocene gibanja deležev vozil

Gibanje deleža vozil se oceni za tehnologije opredeljene v poglavju 3. Analiza vključuje:

- pregled sorodnih analiz v mednarodnem prostoru in ocena gibanja deleža vozil v teh študijah;
- identifikacijo dejavnikov, ki vplivajo na prodor tehnologij (ovir in dejavnikov, ki prodor pospešujejo). Pregled bo osredotočen zlasti na neekonomske dejavnike;
- presojo, ali bi bilo mogoče vpliv katerega od navedenih dejavnikov kvantificirati za Slovenijo;
- oceno pričakovanega deleža vozil do 2050/2070 v 5 letnih korakih do 2040, potem pa v 10 letnih korakih.

Transport je v letu 2007 pripomogel kar s 26 % [84] 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 gospodinjstev. Transport je namreč še vedno izredno močno vezan na naftne derivate in za pot proti dekarbonizaciji transporta je potrebno prekiniti povezavo rasti števila vozil z rastjo prihodkov gospodinjstev, prav tako pa bo premagovanje odvisnosti od nafte zelo težka pot, polna izzivov. 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 %, medtem ko so se zgodovinsko izboljšave učinkovitosti gibale med 0,5 in 2 %. Za doseganje ciljev o dekarbonizaciji družbe, bodo nove tehnologije morale pronikati na trg z izjemno hitrostjo. 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. Za primer, kako velik izziv je to, lahko navedemo, da je v zadnjih 30 letih poraba energije za cestni transport enakomerno naraščala z letno rastjo med 2 in 2,5 %.

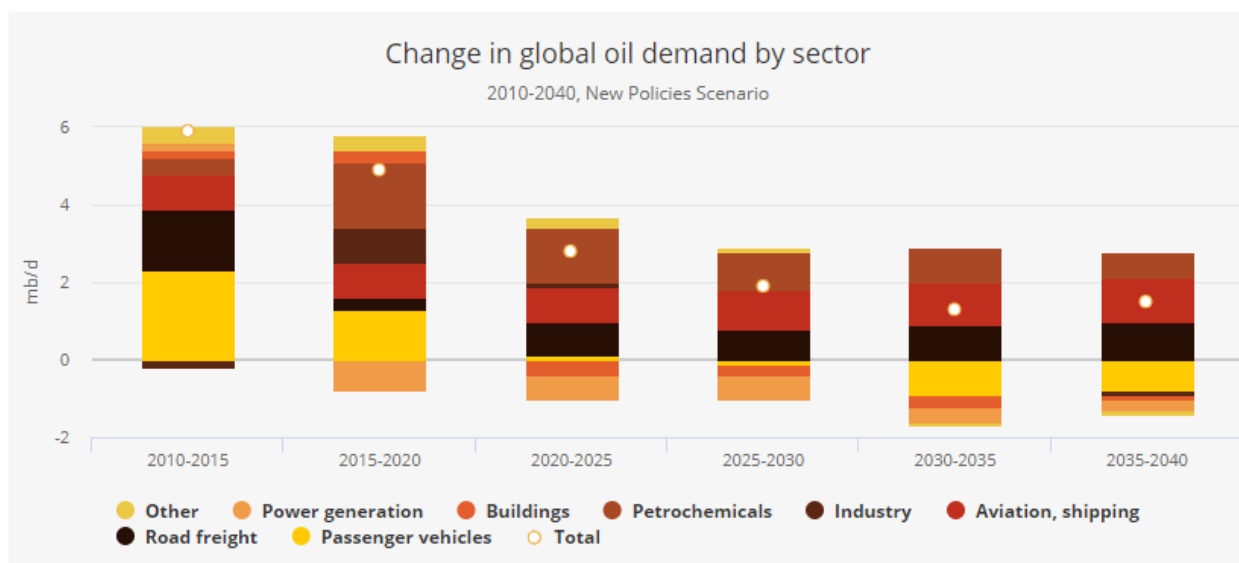
Geografska porazdelitev kaže, da je največja poraba energije na prebivalca jasno v razvitih državah, medtem ko je primerno pričakovati, da se bo podoben tren pojavil v državah v razvoju, ko dosežejo določeno stopnjo razvitosti. V določenem delu se lahko dogodi, da urbanizacija dejansko delno zavre hiter porast porabe energentov za cestni transport, saj bodo alternativne in bolj učinkovite metode prevoza v mestih nujnost za razvoj le-teh, s tem pa bodo seveda tudi pozitivno prispevale k splošnem zmanjšanju porabe energentov za transport na prebivalca.

Mednarodna okoljska agencija (IEA) neprenehno spremlja dogajanje na trgu in pripravlja različne scenarije da oceni vpliv dejavnikov na gibanje transporta v kontekstu izpustov, porabe energije, prevoženih kilometrov ter števila vseh vozil na svetu [84].

Glede na splošne trende v razvoju ter glede na zgodovinske podatke, izhodiščni scenarij za rast predvideva znatno rast porabe energije do leta 2050, saj splošno predvideno izboljšanje učinkovitosti pogonov zasenči bistveno večja rast v prometni dejavnosti. Obstajajo tudi pomembne razlike v možni sestavi uporabljenih goriv. V izhodiščnem scenariju je uporaba alternativnih goriv minimalna in večina energije se leta 2050 še vedno proizvede iz fosilnih goriv, a se uporabljajo že znatne količine sintetičnih fosilnih goriv in biogoriv. V izhodiščnem scenariju se poraba fosilnih goriv poveča med 100% in 150%, kar pomeni, da bi bilo do leta 2050 potrebno povečati raven črpanja fosilnih goriv le za transportni sektor na raven, ki je z vidika oskrbe zelo zahtevna in manj verjetna. Večina rasti na ravni transporta je na račun držav v razvoju, a delež porabe energije na prebivalca je še vedno največji v razvitih državah, pri čemer je leta 2050 predvideno izenačenje porabe energije in potreb po transportu na prebivalca.

Najverjetnejši scenarij, v stilu katerega se navajajo spodnji podatki v tej študiji, odseva vzpon alternativnih tehnologij pogona ter alternativnih goriv preko vseh načinov transporta, ki so v srednje-ročnem obdobju cenovno smiselni.

To pomeni, da predvideva porast vozil na zemeljski plin, hibridov, priključnih hibridov, baterijskih električnih vozil ter, v manjši meri, tudi vozil na vodik. S tovrstnimi pogoni se tekom vseh segmentov cestnega transporta bistveno poveča učinkovitost rabe energije, pri čemer so goriva, ki poganjajo vozila, tipično proizvedena z nizkimi ekvivalenti izpustov toplogrednih plinov (električna energija, vodik in različna bio-goriva). Predvideno je tudi, da se osebni transport z motornimi vozili preko rasti urbanizacije in novih načinov mobilnosti zmanjša, pojavi pa se tudi zmanjšanje števila potrebnih potovanj zaradi tehnološkega napredka in nadomeščanja potovanj s telekomunikacijskimi tehnologijami. Predvideno zmanjšanje potniških potovanj do 2050 je ocenjeno na 25% v primerjavi s preprosto ekstrapolacijo današnjih trendov, ki so tesno povezani z rastjo populacije in razvojem držav v razvoju.

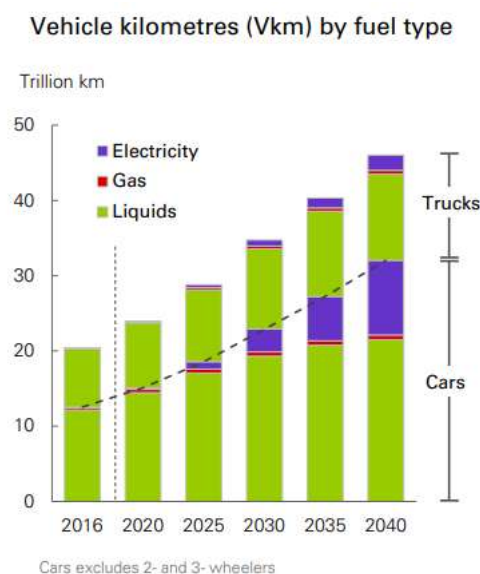


Slika 63: Prikaz potreb po nafti glede na politike držav in oceno prispevkov različnih industrij k povečanju (ali znižanju) potreb po nafti v petletnih obdobjih do 2040 [85]

Spremembe v potovalnih vzorcih sodeč po našem mnenju 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, glede na zelo velike premike v nizko-ogljicne alternative goriv, kot je nizek CO₂-ekvivalent pri proizvodnji električne energije, vodika in naprednih bio-goriv. V tem scenariju do leta 2050 dizelski pogon skoraj v celoti pri osebnih vozilih zamenjajo alternativni pogoni (električni in gorivne celice), bistveno se zmanjša tudi število vozil na bencin. Po drugi strani pa lahko predvidimo tudi osnovni scenarij, ki predvideva le stagnacijo in inercialno rast deleža različnih tehnologij. Primer lahko vidimo na Slika 2. Ne glede na končno razdelitev pogonov, je potrebno omeniti, da za prevoz na daljše razdalje, tako v cestnem kot v drugih oblikah transporta (morski promet, letalski promet), kjer narava potovanj še vedno zahteva visoko energijsko gostoto pogonske energije, tudi v letu 2050 še vedno večina scenarijev predvideva velik del pogonov, ki so odvisni o naftnih derivatov.

Če povzamemo, lažja vozila, ki dnevno opravljajo krajše razdalje in imajo bolj razgiban vozni cikel, bi lahko do leta 2050 postala povsem električna (energijo bi zagotavljale baterije ali vodikove gorivne celice), v kolikor bi tako razvite države kot države v razvoju hitro sprejele in podprle nove tehnologije. 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. Tovarna 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 vozila v urbanih okoljih 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.



Slika 64: Število prevoženih kilometrov v cestnem transportu glede na tri glavne kategorije energentov– naftne derivate, zemeljski plin ter električna energija.

5.2.1 Pregled tujih analiz

Sodeč po študijah v mednarodnem prostoru, je gibanje deleža električnih vozil ter vozil na vodik povezano z mnogimi faktorji, kot so na primer nihanja v ceni nafte, naravne katastrofe, ki so povezane z razlitji nafte, prepoznavnost in vidni vpliv globalnega segrevanja ozračja, ter tudi koncentracija trdih delcev ter prahu, ki nastane ob nepopolnem izgorevanju organskih snovi. Vse to seveda vpliva na različne regulatorne vplive, ki ključno krojijo prihodnost razvoja in razširjenosti električnih in drugih alternativnih pogonov vozil. Zaradi dejstva, da kar med 13-18 % vseh emisij toplogrednih plinov izhaja iz cestnega transporta, so tudi okoljske politike vlad držav po celem svetu vedno bolj usmerjene v pozitivno diskriminacijo trajnostnih električnih pogonskih tehnologij, ki so obenem tudi visoko energijsko-učinkovite. Glede na dejstvo, da je pri tradicionalnih pogonskih tehnologijah potencial za izboljšanje energijske-učinkovitosti relativno majhen (cca 20% do leta 2050), je v kombinaciji z novimi regulativnimi omejitvami, državnimi politikami v prid električni mobilnosti, subvencijami ter vizijami vodilnih velikih političnih sistemov, da postanejo pionirji v nižanju ogljičnega odtisa, velika rast trga vozil s pogoni brez emisij (električni, pogon na vodikove gorivne celice) najbolj verjetna ocena.

Študije, ki opisujejo gibanje deležev osebnih vozil, navajajo, da tržno zanimanje za zelene tehnologije narašča, v sedanosti predvsem pri osebnih vozilih višjega cenovnega razreda. V študijah prevladuje stališče, da bo vse večja uporaba električnih pogonskih tehnologij v vozilih višjega cenovnega razreda vplivala na to, da se bodo uporabniki vozil vse bolj osredotočali na kvaliteto in varnost, obenem pa bodo električna vozila vse bolj privlačna, unikatna ter modna. Predvsem je poudarjeno, da so osebna vozila višjega cenovnega razreda kupljena zaradi zmogljivosti, ne glede na ceno ali življenjsko dobo, kar omogoča hitro vpeljavo inovativnih in novih

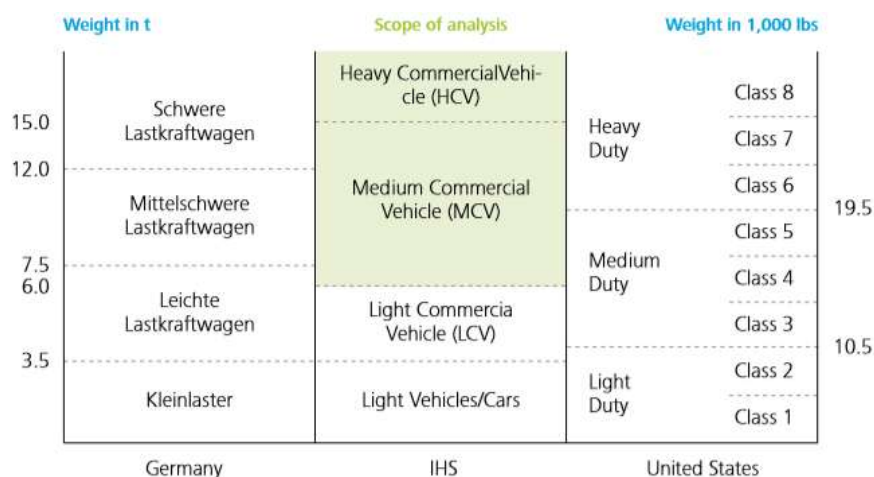
tehnologij. Ključni faktorji za nakup tovrstnih vozil na Kitajskem, sodeč po nedavni študiji, navajajo, da so kupci vozil bolj zainteresirani za nakup zmogljivih, visoko-tehnoloških vozil z naprednimi pogonskimi sistemi. Podatki zadnjih let kažejo, da je zanimanje kupcev za električna vozila in vozila na vodik v porastu, nadaljnja rast pa je predvidena vsaj do leta 2050, verjetno pa tudi še kasneje.

V splošnem študije navajajo, da se bo povpraševanje po osebnih vozilih vsaj do leta 2030 večalo z letnim prirastkom preko 3 % [86]. Razlog za to so predvsem trgi v razvoju, ki pričakovano predstavljajo približno 48 % tega povpraševanja. Sodeč po IDTechEx študijah [87]–[89] so trgi z največjo rastjo deleža električnih vozil ter vozil na vodik predvideni v naslednjih segmentih (vključuje hibride, priključne hibride ter baterijska električna vozila): majhna mestna vozila ter vozila za osebno mobilnost (lahka električna vozila), osebna vozila višjega cenovnega razreda, dostavna vozila za mestno dostavo in razvoz ter mestni avtobusi.

Da bi razumeli gibanje števila vozil s različnimi pogoni, je potrebno oceniti tudi vpliv novih konceptov mobilnosti, ki se usmerjajo v spremenjeno obliko ali izogib lastništva osebnih vozil, ter bistveno večjo izkoriščenost posameznega vozila. Ti koncepti so predvideni kot pomemben del transporta predvsem v gosto poseljenih območjih, kjer potreb po lastništvu vozil ni ali pa je lastništvo izjemno neekonomično. Trenutne ocene študij estimirajo, da je število vseh osebnih vozil na cestah nekje med 1,1 – 1,3 milijarde, pričakovana pa je strma rast, predvsem na račun držav v razvoju (kot je opisano v nadaljevanju). Po letu 2035 je lahko pričakovati več kot 2 milijardi vozil na cestah (termin, kdaj se bo to zgodilo je širok, med 2035 in 2040), v kolikor pa se novi koncepti mobilnosti uspešno in radikalno vpeljejo po vsem svetu, pa lahko število vseh vozil v letu 2035 upade na 1.1. milijarde [90], [91], kasneje pa celo na borih 500 milijonov [92].

5.2.1.1 Klasifikacija vozil v različnih študijah

Različne študije, ki vsebujejo predvidevanja in ocene za rast tržnih deležev in števila različnih tipov vozil, se mnogokrat zanašajo na različne definicije in nomenklature. Kot primer lahko na Slika 65 vidite, kako različna so lahko poimenovanja, kar pomeni da je zelo težko iz literature in pregleda študij natanko razlikovati in oceniti rast števila vozil ter trende v pogonski arhitekturi. V splošnem v tej študiji delimo vozila najprej na osebna vozila (avtomobile in štirikolesnike) ter ostala vozila (gospodarska vozila težja od 3,5 t, vozila za prevoz potnikov z več kot 8 sedeži, ter lahka vozila in dvokolesnike).



Slika 65: Različne označbe in klasifikacije vozil glede na težo, poimenovanje in nacionalne posebnosti [10].

5.2.1.2 Pogonske tehnologije

Medtem, ko se hibridna električna vozila (HEV) in baterijska električna vozila (BEV) zanašajo na enojen vir pogonske energije, priključni hibridi (PHEV) uporabljajo kombinacijo obeh. Danes zaradi pogona na motor na notranje izgorevanje (MNI) HEV nudijo relativno zadovoljiv doseg z enim polnjenjem, saj ima bencinsko gorivo še vedno zelo visoko energijsko gostoto. Negativna plat je, da pri HEV ni mogoča uporaba obnovljivih virov energije za pogon. Priključna hibridna vozila so torej logična evolucija HEV, ki pa imajo danes (v letu 2017) relativno majhno kapaciteto baterij in posledično kratke dosege za vožnjo v izključno električnem načinu. To se lahko zelo hitro spremeni v prihodnosti, saj je pričakovan velik padec stroškov baterij.

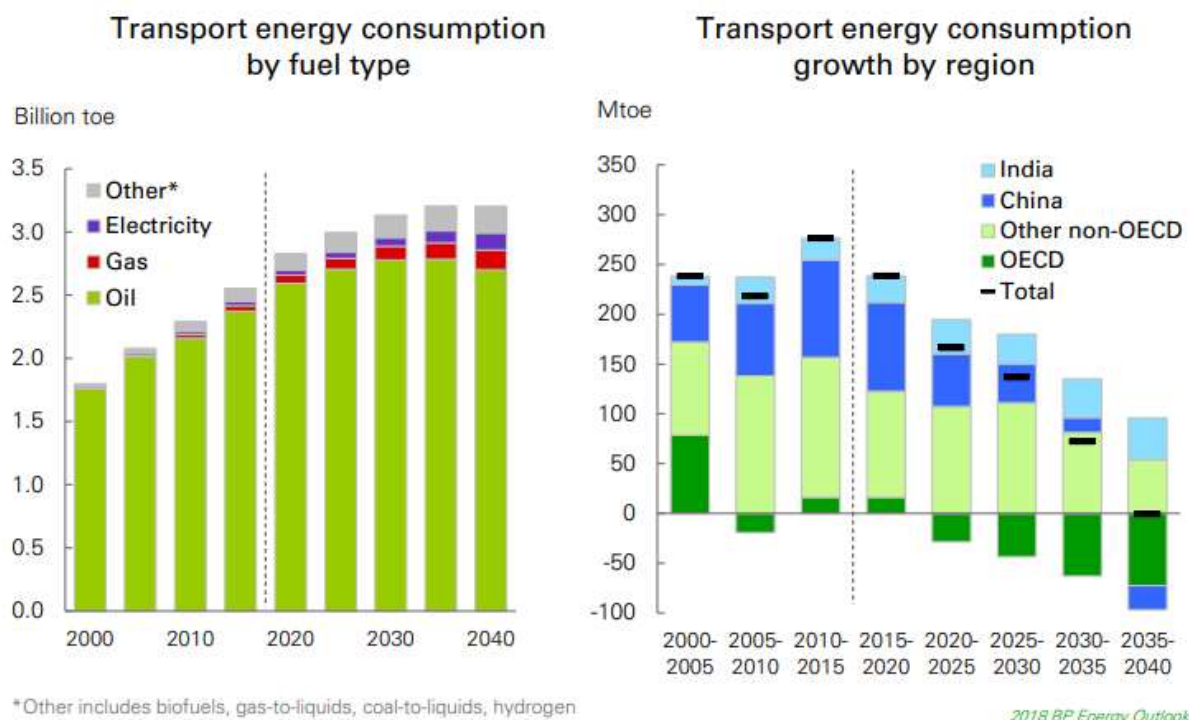
Vozila na zemeljski plin (VZP) so delno tudi razlog diverzifikacije pogonskih goriv že danes. V primeru avtomobilov je stisnjen zemeljski plin nekako primarna izbira pri čemer ne potrebuje termalne izolacije in se proizvaja s preprostim postopkom kompresije plina iz obstoječega omrežja. Za pogone ne zemeljski plin so značilne bistveno nižje emisije CO₂ glede na energijsko gostoto (195g CO₂/kWh, MNI imajo med 270-280 g CO₂/kWh goriva). Po drugi strani pa so motorji, ki delujejo na zemeljski plin v splošnem manj energijsko učinkoviti (25-30 %) kot dizelski motorji (35-40 %) v mestnem prometu. Glede na pretekle standarde dizelskih in bencinskih motorjev, je pogon na plin predstavljal tehnologijo s čistejšim izgorevanjem, kar je botrovalo uveljavitvi tovrstnih pogonov v svetu (čepprav omejeno na le peščico držav, kot so Italija, Južna Koreja, Turčija, Rusija, in nekatere druge). Iz teh razlogov raziskovalci v študiji World Oil Outlook [93] predvidevajo, da bo tako tudi ostalo in da bo zemeljski plin ostal le nišni tip pogona, tako pri osebnih avtomobilih kot gospodarskih vozilih.

Vozila na vodik (VV, gorivne celice so generator električne energije) 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, čepprav 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 ali v jedrskih elektrarnah.

V preteklosti sta bila prodaja osebnih vozil in sestava flote v dolgih časovnih obdobjih precej stabilna, z malo spremembami iz leta v leto. Premik v evropski floti osebnih vozil proti dizelskim agregatom je bil izjema. Kljub temu prevladujoča vloga motorjev z notranjim izgorevanjem (MNI) ostaja danes praktično nedotaknjena in poleg majhnega tržnega deleža vozil na utekočinjen zemeljski plin, celotni vozni park avtomobilov in gospodarskih ter tovornih vozil še vedno temelji predvsem na pogonskih na naftne derivate.

Šele v tem desetletju (2010-2020) je transportni sektor pričal pojavu praktične uporabe novega vira energije, ki poganja vozila: električne energije. Znatni napredki na področju tehnologije in proizvodnje akumulatorjev so omogočili povečanje zmogljivosti akumulatorjev in zmanjšanje stroškov proizvodnje na kWh kapacitete akumulatorja. Poleg tega je naraščajoč sentiment za tako imenovano "čisto" mobilnost zagotovil elektrificiranim vozilom povečanje tržnega deleža. Ker so električni motorji primerni za hitro in široko nihanje v zahtevani moči ni presenetljivo, da je trg osebnih avtomobilov veliko bolj pod vplivom elektrifikacije pogonskih sklopov kot trg komercialnih vozil za transport, ki se uporabljajo v bolj ali manj tipskem načinu vožnje (voznem ciklu), kar omogoča zelo dobro optimizacijo pogonskih sistemov na notranje izgorevanje (imajo zelo dober izkoristek).



Slika 66: Struktura po tipu goriva in sprememba energijske porabe glede na razvitost držav/regije v letih med 2000 in 2040.

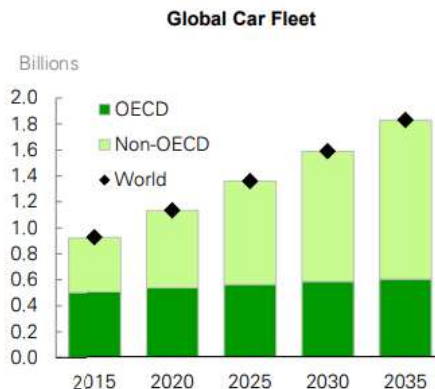
Na podlagi navedenih razlik je torej tudi najbolj verjeten scenarij do leta 2040 in tudi še kasneje soobstoj vseh teh tehnologij pogona, tako-rekoč elektrificiranih osebnih vozil, pri čemer bodo tudi

vozila z MNI, ki uporabljajo naftne derivate še vedno del voznega parka, v predvidevanjih in ocenah strukture voznega parka pa se, kot je običajno pri napovedih in ocenah, pojavljajo zelo različne vrednosti in deleži. Ena izmed študij, ki jo avtorji ocenjujemo kot zelo konzervativno [94], navaja energijsko porabo transportnega sektorja po tipu goriv (naftni derivati, zemeljski plin, električna energija, alternativna goriva – vodik, bio-goriva, itn.) ter po rasti energijske porabe (absolutni prirastek v obdobju) glede na razvitost regije. Jasno je vidno, da bo transportni sektor v prihodnosti bistveno rasel, pa tudi, da bo rast večinoma na strani držav v razvoju, Kitajske ter Indije – faktor o katerem so si avtorji različnih študij soglasni.

5.2.2 Ocena deležev pogonskih tehnologij v voznem parku osebnih vozil -avtomobilov

5.2.2.1 Predvidevanja števila osebnih vozil v svetovnem voznem parku

Po ocenah različnih študij obstaja konsenz, da se bo v naslednjih dveh desetletjih število vseh osebnih vozil v voznem parku približevalo dvema milijardama, po letu 2040 pa celo deloma preseгло to število. Rast naj bi se potem popolnoma ustavila, število osebnih vozil na cestah pa naj bi se po letu 2040 zmerno zmanjševalo. Na to naj bi vplivali razni dejavniki, kot so staranje prebivalstva, nove oblike transporta, urbanizacija in porast uporabe javnega transporta ter bistveno večja izkoriščenost uporabe obstoječih vozil, skupaj s pojavom deljenja prevozov in voženj na poziv. Porast v številu vozil se bo zgodil predvsem na račun povečanja števila vozil držav v razvoju, kar bo glede na gmotni položaj prebivalstva ter pripravljenost držav na sprejemanje novih tehnologij (in dostopne infrastrukture) vplivalo tudi na strukturo pogonskih tehnologij teh vozil.



Slika 67: Predvideno gibanje števila osebnih vozil v svetovnem voznem parku, glede na razvitost držav.

Slika 67 predstavlja projekcijo rasti voznega parka osebnih vozil v svetu glede na razvitost regije po oceni študij BP [94] ter OPEC-a [93]. Vidno je, da bodo večji deleži rasti prispevale države v razvoju, število vozil v razvitih državah pa se bo le malo povečevalo.

Tabela 42: Predvideno število osebnih vozil v regiji po letih med 2016 in 2070 [93], [94]

Regija ¹⁶	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

¹⁶ Ocena avtorjev na podlagi različnih študij, mediana vrednosti iz literature

OECD Severna Amerika	278	290	305	318	329	339			
OECD Evropa	253	258	263	267	271	273			
OECD Azija in Oceanija	93	94	95	96	96	96			
OECD	624	642	663	681	696	708			
Latinska Amerika	75	83	93	103	113	123			
Bližnji vzhod, Afrika	30	38	48	61	74	90			
Indija	23	34	56	87	129	179			
Kitajska	137	189	263	336	398	443			
Azija – ostalo	59	78	107	142	182	225			
Države v razvoju	373	482	644	826	1014	1200			
Rusija	34	38	43	48	53	58			
Evrazija – Drugo	45	51	56	60	63	65			
Evrazija skupaj	80	89	100	109	116	123			
Svet	1076	1213	1407	1615	1826	2030	2250¹⁷	2550	2675

Tabela 43: predvideno število osebnih vozil na svetu v letih 2020 – 2070, po različnih študijah, v milijonih vozil

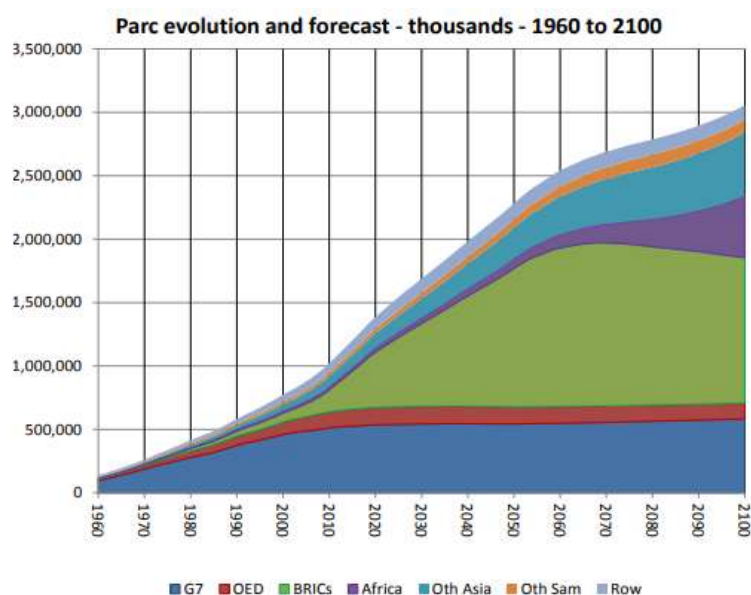
Študija ¹⁸	2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
BP					2.000			
Wood Mackenzie				1.700				
Morgan Stanley						2.000		
Goldman Sachs			1.200					
UC Davis						2.100		

¹⁷ Ocena študije Far Horizon – edina študija z ocenami do 2100 [95].

¹⁸ Nekatere druge študije predvidevajo tudi potencialni upad celotnega števila osebnih vozil na svetu zaradi novih oblik in konceptov mobilnosti ter vse večje urbanizacije, kar lahko vpliva na povprečje.

Študija ¹⁸	2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
UC DAVIS						500		
Carbon Tracker					2.200			
OPEC	1.213	1.407	1.615	1.826	2.030			
BNEF	1.190	1.320	1.420	1.530	1.610			
Mediana	1.201,5	1.363,5	1.420	1.700	2.015	2.000		
Povprečje	1.201,5	1.363,5	1.411,7	1.685,3	1.960	1.533,3		

Študija Pemberton & Associates [95] se ukvarja z zelo dolgim horizontom predvidevanj in je kot taka podvržena veliki napaki. Študija predvideva o rasti transportnega sektorja predvsem na podlagi trendov rasti populacije, ekonomskega položaja narodov ter rasti razvoja držav. Metodologija je zelo podobna v večini študij, vendar pa so modeli, ki predvidevajo lahko tudi pomanjkljivi ali pa so določene predpostavke o rasti določenih tehnologij različno ocenjene. Študija Pemberton & associates za osnovo jemlje podatke zadnji 50 let (1960 – 2010), in po njihovih podatkih je gostota lastništva vozil v svetu približno na četrtini gostote lastništva razvitih držav. Ena izmed možnih poti je, da bo ta gostota v svetu vedno večja in naj bi se leta 2100 približala približno polovici tiste v razvitih državah (to je skladno s stopnjo razvoja držav v razvoju, ki se razvijajo veliko hitreje kot evolucija že razvitih držav). V obdobju od leta 1991 do leta 2010 je bila količina proizvedenih vozil (vseh, osebnih in gospodarskih) 1,185 milijarde, kar je več kot v preteklih tridesetih letih. Na kumulativni osnovi je bilo od začetka avtomobilske industrije skupaj proizvedenih 2,46 milijarde vozil. Pričakovano je, da bo med leti 2011 in 2030 proizvedenih in prodanih 2,3 milijarde vozil, še posebej na račun hitrega naraščanja števila vozil v državah v razvoju ter dviga ravni dohodkov na nivo, ki omogoča lastništvo in vzdrževanje vozila. Ta številka je skoraj tolikšna, kot je bilo prodanih vozil v celotni zgodovini avtomobilske industrije in povečuje skupno število proizvedenih vozil na 4,78 milijarde. Nadaljnje širjenje trgov v državah v razvoju, zlasti Brazilije, Rusije, Indije in Kitajske (BRIC), skupaj z nadaljnjo rastjo svetovnega prebivalstva, nakazuje, da se bo med 2031 in 2050 prodalo vsaj še 3,56 milijard vozil, 5,9 milijarde med letoma 2051 in 2075 ter 7,2 milijarde med letoma 2076 in 2100. To pomeni, da bo skupno v celotni zgodovini avtomobilske industrije do leta 2100 proizvedenih 21,45 milijarde vozil.



Slika 68: Število vseh vozil v svetu do leta 2100 na podlagi ocene študije Pemberton & associates [95].

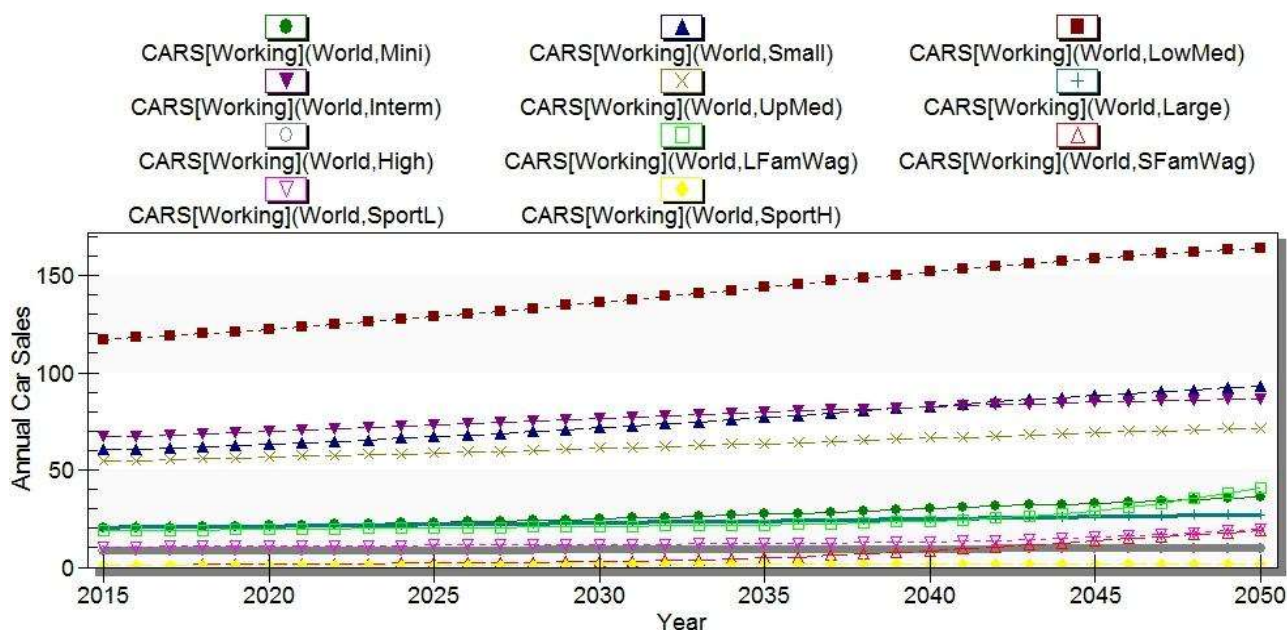
Sodeč po Slika 68 je predvideno, da bo prehod postal vse hitrejši, saj se gospodarski in socialni razvoj v državah v razvoju povečujeta, medtem ko trgi bolj razvitih držav doživljajo sorazmerno omejeno rast. Trgi držav v razvoju naj bi bili predvidoma deležni 67% rasti do leta 2030, 76% rasti do leta 2050 in 83% rasti do leta 2100. Čeprav se časovna obdobja zdijo velika, je 2050 le toliko v prihodnosti, kolikor je leto 1970 v preteklosti. Velikost voznega parka se je povečala z ocenjenega obsega 140 milijonov v letu 1960 na 1,02 milijarde enot v letu 2010 in nekaj čez 1,2 milijardi v letu 2017. Razviti svet je predstavljal 78% vozil v uporabi leta 1960 in 63% v letu 2010. Povprečno preteče 14 let od nakupa novega vozila do uničenja na odpadku. Predvideva se, da bo velikost voznega parka dosegla 2,23 milijarde do leta 2050 in se bo do leta 2100 povečala na 3,06 milijarde, kar je trikrat več kot v letu 2010. Največja napoved širitve je predvsem za države BRIC, kot je prikazano na Slika 68. Pričakovano je, da bo do leta 2050 velikost voznega parka v razvitem svetu v splošnem stabilna (ne narašča), medtem ko se bo širitev v drugih regijah nadaljevala; pomembna rast v Afriki pa ni pričakovana pred letom 2070.

5.2.2.2 Analiza trendov s programom International Futures

Program International Futures so razvili na Univerzi v Denverju in je prosto dostopen za uporabo. Za analize razvojnih scenarijev je bil uporabljen že v CRP projektu Sinoda. Program obsega statistične podatke svetovne banke za večino držav od leta 1960 dalje, na njih pa so zgrajeni analitični modeli ki opisujejo trende po posameznih statističnih parametrih. Podatki za transportni modul so osnovani predvsem na bruto družbenem proizvodu na prebivalca predstavljajo pa zanimivo alternativo za druge dolgoročne analize trendov. V nadaljevnaju je podanih nekaj zanimivih primerov in trendov.

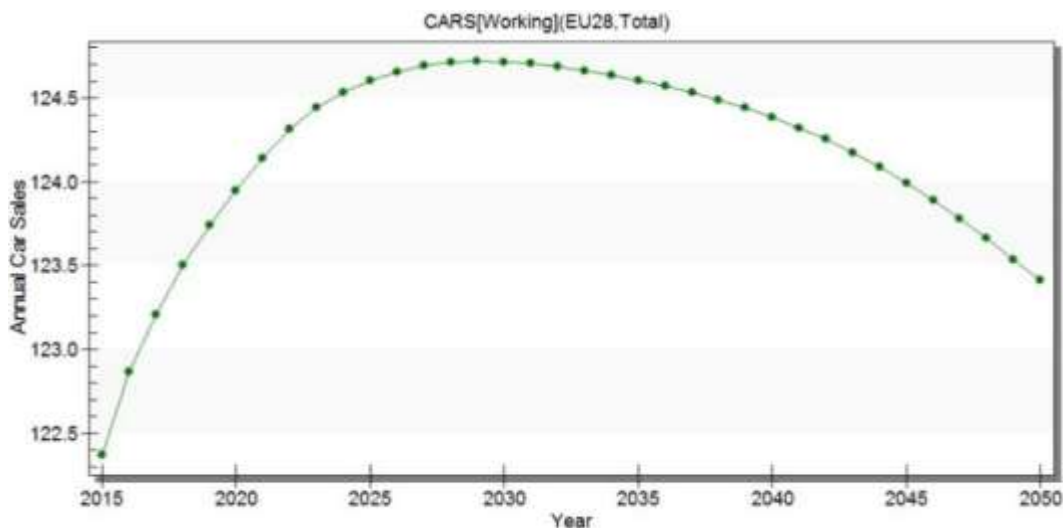
Odvisnost prodaje različnih tipov osebnih vozil do leta 2050

Slika 69 kaže gibanje letnega števila prodanih osebnih vozil po posameznih razredih v letih med 2015 in 2050. Zanimiv detajl je hitrejša rast majhnih osebnih vozil v primerjavi s srednje velikimi.



Slika 69: Prikaz gibanja letnega števila prodanih osebnih vozil po posameznih razredih v letih med 2015 in 2050.

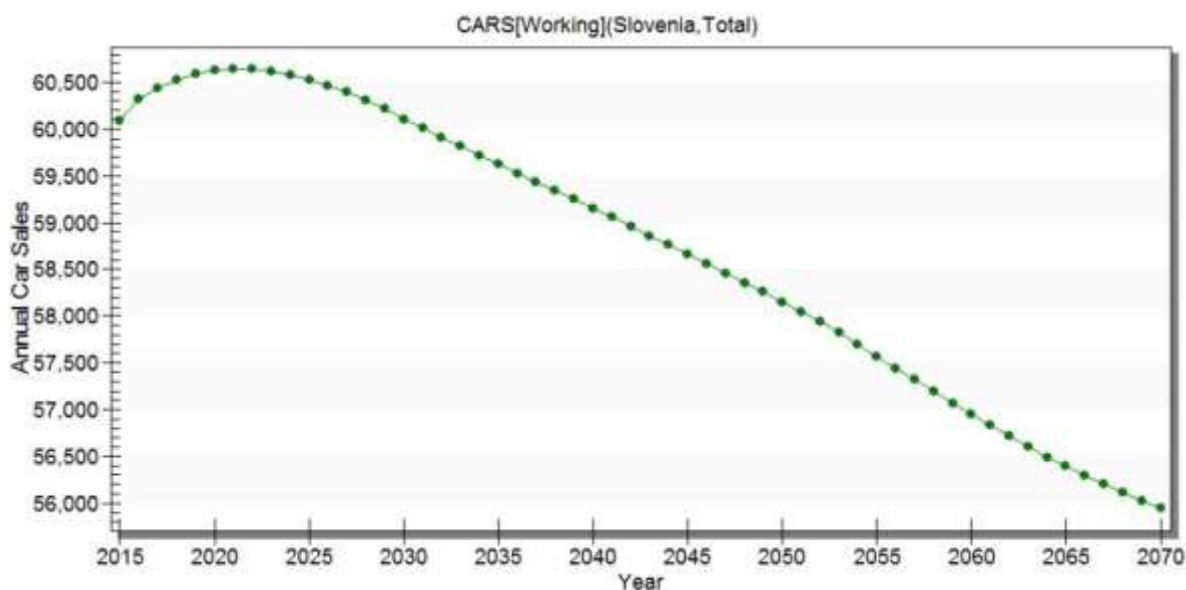
Naslednji graf prikazuje število novih vozil v EU28. Zanimivo je, da model predvideva upad po letu 2030. Razlog najverjetneje tiči v staranju prebivalstva ter urbanizaciji in povečanju učinkovitosti alternativnih oblik prevoza.



Slika 70: Ocena števila letno prodanih osebnih vozil v EU28 območju, v tisočih vozil

Ocena letne prodaje osebnih vozil za Slovenijo do leta 2070.

Podoben trend kot za EU28 je predviden tudi za Slovenijo, le da se upadanje pričakuje še nekoliko hitreje, okoli leta 2025.



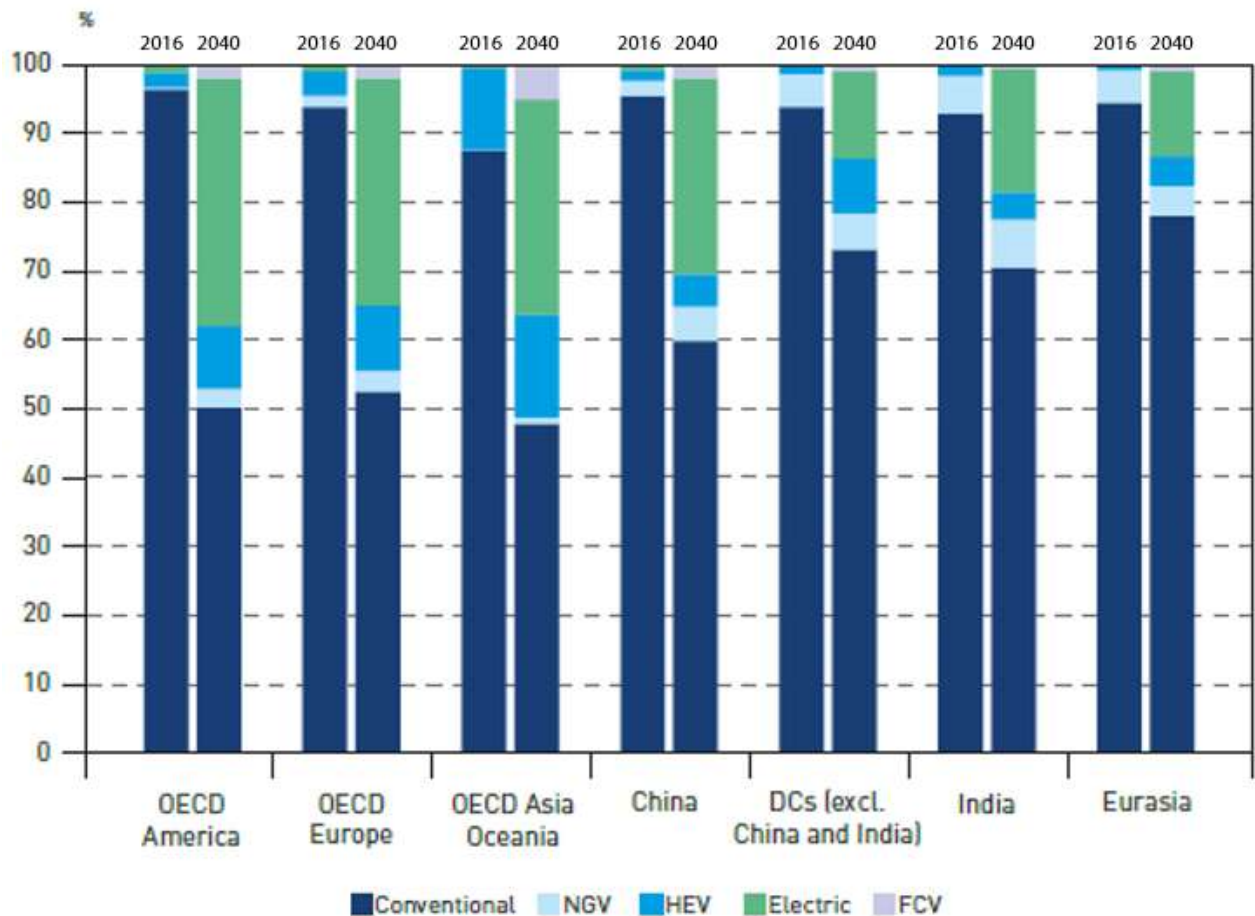
Slika 71: Ocena števila letno prodanih osebnih vozil v Sloveniji (v tisočih).

5.2.2.3 Ocena deležev pogonskih sistemov v osebnih vozilih

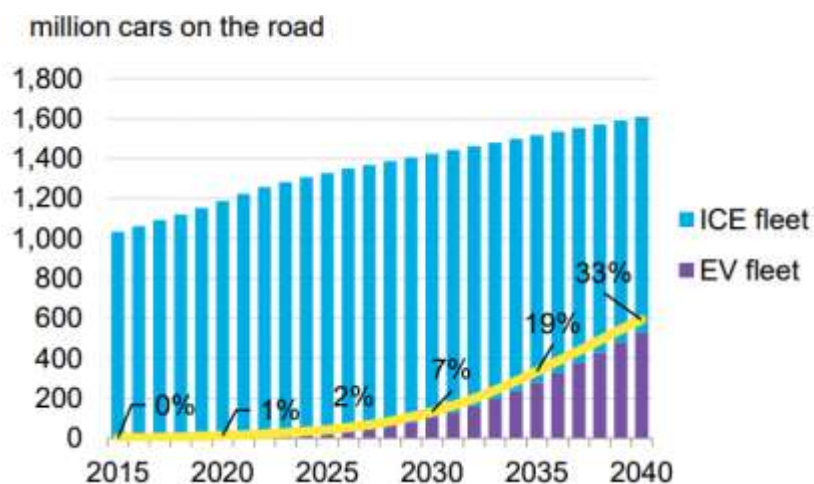
Vlade po vsem svetu so začele udejanjati subvencije v raznih oblikah za spodbujanje električne mobilnosti, zlasti v urbanih območjih. Še vedno pa je delež prodaje EV ostal nizek za leto 2016 in 2017, čemur botruje dejstvo, da so električna vozila (EV) še vedno veliko dražja od primerljivih avtomobilov MNI in da je slabo razvita infrastruktura za polnjenje vozil,. To se lahko v prihodnosti bistveno spremeni (do leta 2040) v več regijah.

Slika 72 prikazuje pričakovano prodajo osebnih avtomobilov v 2016 in 2040 glede na tehnologijo za takšne regije, ki hitro sprejemajo nove tehnologije (OECD Amerika, OECD Evropa, OECD Azija Oceanija in Kitajska) in v počasnejših regijah (Evrazija, Indija in države v razvoju razen Kitajske in Indije).

OPEC-ova globalna analiza potreb po nafti [93] predvideva, da bodo prodajni deleži EV, ki vključujejo baterijska električna vozila (BEV) in priključni hibridi (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 EV dosežejo skoraj 29% tržni delež. Očitno je, da so bogate regije z dostopom do naprednih kapitalskih trgov med tistimi, ki bodo hitro vpeljali nove tehnologije. Druge regije se elektrifikacije prometa lotevajo veliko počasneje. V Indiji, ki je država z najbolj agresivnim programom elektrifikacije katerekoli regije, lahko po ocenah OPEC-a EV-ji dosežejo 18% tržni delež leta 2040. Tako v državah v razvoju (z izjemo Kitajske in Indije) in na evrazijskem kontinentu je pričakovan delež EV približno 12% do leta 2040. Poleg večjih stroškov za BEV in PHEV, ki jih mora posamezni lastnik avtomobila kriti že ob nakupu, rast tržnega deleža EV prav tako omejujejo velike naložbe, ki so potrebne za infrastrukturo za proizvodnjo energije in polnjenje.

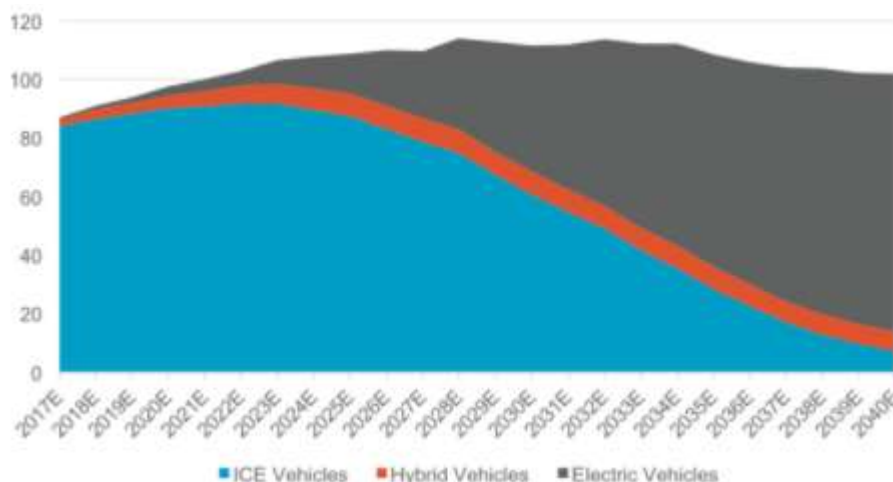


Slika 72: Delež prodaje vozil glede na tehnologijo pogona, 2016 (levi stolpec) in 2040 (desni stolpec). Conventional = MNI, NGV = VZP, Electric = (BEV + PHEV), FCV = gorivne celice na vodik.



Slika 73: Vozni park osebnih vozil 2015 – 2040. [96]

Alternativna študija Bloombergga [96] pa poleg v splošnem manjšega globalnega voznega parka s svojimi modeli prikaže tudi časovno rast po letih (Slika 73).



Slika 74: Dinamika porasta tehnologij v letni prodaji vozil do leta 2040. [96]

Slika 74 še bolj nazorno prikazuje vzpon priključnih električnih vozil (PHEV in EV) ter stagnacija hibridnih vozil, pri čemer je s strani Bloombergga 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.

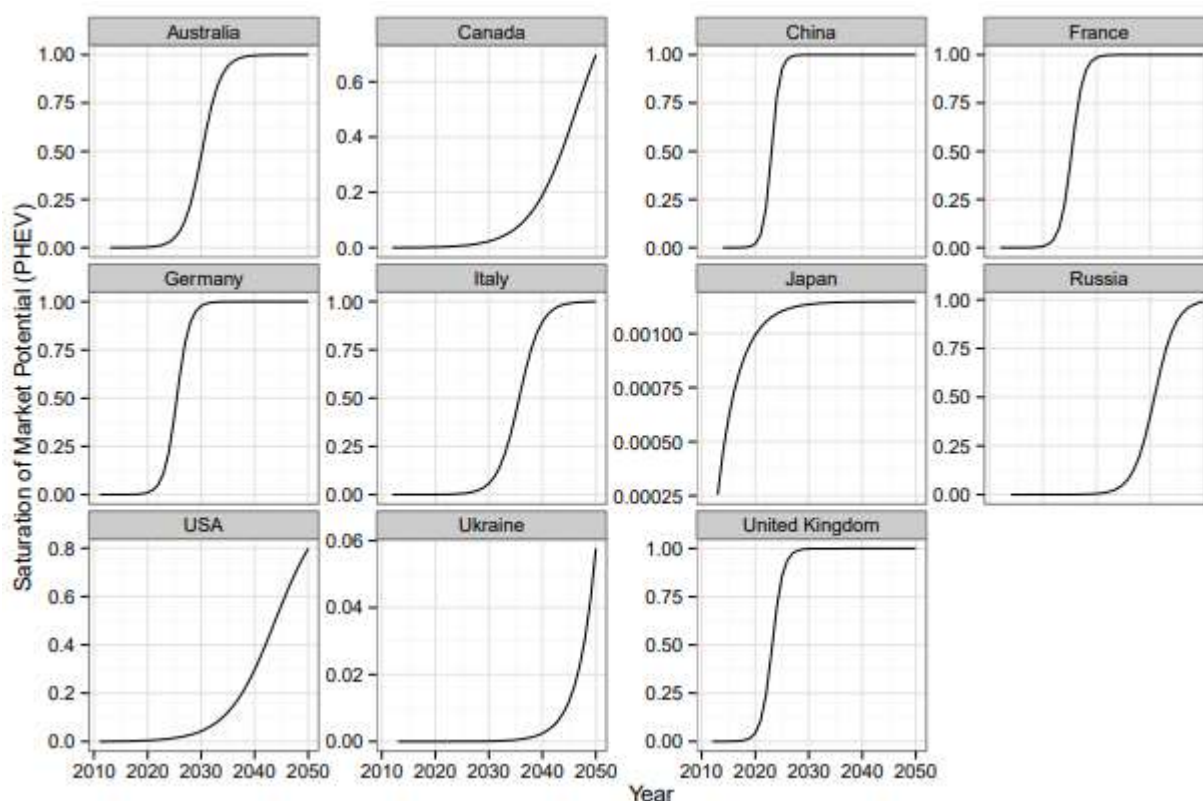
Elektrifikacija pogonskih sklopov se je začela s hibridnimi električnimi vozili (HEV) kot alternativno tehnologijo dizelskim agregatom pri trudu za izboljšanje učinkovitosti porabe goriva. V prihodnosti lahko HEV večkratno poveča svoj tržni delež v vseh regijah, z izjemo razvitega dela Azije in Oceanije (OECD), kjer je mogoče le manjše povečanje, saj ima regija že sedaj 12-odstotni delež HEV (ta tehnologija izvira predvsem iz Japonske in lahko sčasoma doseže skoraj 15% tržnega deleža v regiji). Pričakovano je, da bodo HEV ostala tržno močna na kratek rok (z deležem med 8% in 9%) v OECD Ameriki, OECD Evropi in državah v razvoju. V državah v razvoju, razen na Kitajskem in v Indiji, HEV zagotavljajo cenejšo tehnologijo za doseganje boljše učinkovitosti porabe goriva (bencin), ne da bi morali uporabiti dizelsko tehnologijo, ki bi lahko povzročila več onesnaževanja, ali pa bodo primorani vpeljati veliko dražja priključna električna vozila.

Po OPEC-ovi študiji je predvideno rahlo do zmerno povečanje deleža vozil na zemeljski plin (VZP) v vseh regijah. Indija bi lahko imela največji delež, do leta 2040 približno 7%, v drugih počasneje spreminjajočih se regijah pa se lahko delež VZP rahlo poveča s trenutnih 4,8% na 5,3% (v državah v razvoju brez Kitajske in Indije) ali se celo nekoliko zmanjša s 4,7% do 4,3% (v Evraziji). V regijah, ki hitro sprejemajo nove tehnologije se delež VZP v prihodnosti lahko relativno znatno poveča, čeprav z zelo nizke trenutne ravni. Močno relativno povečanje iz 0,2% v letu 2016 na 2,7% leta 2040 v OECD Ameriki ali iz 2,2% na 4,9% na Kitajskem ponovno kaže, da so ti trgi zelo

dovzetni za diverzifikacijo transportne tehnologije. Vozila na vodik (VV) lahko v OECD Aziji in Oceaniji zavzamejo 5% delež, v kateri koli drugi regiji na svet pa verjetno ne več kot 2%. Tudi v drugih regijah, ki hitro sprejemajo nove tehnologije, se kažejo višje vrednosti deleža VV kot počasi sprejemajoče regije, kjer bodo imela VV največ 1% tržni delež. (op. avtorjev študije. Naša ocena ne predvideva jasnega vzpona pogonov na vodik, saj niti učinkovitost gorivnih celic niti proizvodnja in infrastruktura za distribucijo še nista komercialno smiselna. V kolikor pride do hitrega razcveta baterijskih električnih vozil, se možnost porasta vodikovih tehnologij še dodatno zmanjša. Ocenjujemo, da bodo gorivne celice našle svoj omejen trg le v komercialnem transport na dolge proge, pri čemer bo infrastruktura odigrala ključno vlogo v tesni kombinaciji z lokaliziranimi načini proizvodnje vodika.

Čeprav Kitajska uresničuje energijsko politiko do električnih in na splošno alternativnih oblik pogona, naj bi po OPEC-ovi študiji konvencionalni avtomobili še vedno predstavljali skoraj 60% prodaje osebnih vozil v letu 2040, v primerjavi z več kot 95% v letu 2016. Država še vedno množično veča floto na številnih področjih in stranke bodo morda rajši uporabile poceni tehnologijo pri zapolnjevanju vrzeli. Ker je predvideno, da bodo bencinski motorji v prihodnosti na voljo z znatno izboljšanim izkoristkom goriva, lahko na koncu za mnoge stranke predstavljajo na določenih trgih najboljšo izbiro glede na strošek. Ta vidik je še bolj pomemben v skupini regij, ki počasi vpeljujejo nove tehnologije, glede na njihovo sedanje stanje in pogoje gospodarskega razvoja. V vseh teh regijah se pričakuje občutno zmanjšanje deleža konvencionalnih osebnih avtomobilov, ki trenutno znaša več kot 93%. Indija naj bi s predvideno agresivno strategijo elektrifikacije zmanjšala delež konvencionalnih vozil do približno 70%. Pričakuje se, da bo ta delež v Evrazija nad 78%, saj ima večina držav v tej regiji podnebne razmere, ki niso naklonjene električni mobilnosti. Za preostale države v razvoju (izvzemajoč Kitajsko in Indijo) OPEC pričakuje, da bo delež vozil z MNI v rangi 73%.

Regije, za katere je značilna pospešena stopnja uvajanja novih tehnologij, danes predstavljajo več kot dve tretjini svetovne prodaje avtomobilov. To lahko daje vtis, da se bo sestava flote osebnih vozil do leta 2040 znatno spremenila v prevlado električnih vozil. Vendar je potrebno upoštevati tudi, da se bo zelo verjetno delež vozil, prodanih v Severni Ameriki in Evropi znižal, medtem ko bodo države v razvoju, ki novo tehnologijo uvajajo počasi (razen Kitajske in Indije) beležile občutno povečanje deleža v svetovni prodaji novih vozil. Skupaj z dejstvom, da bodo osebni avtomobili, kupljeni pred prihodom novih tehnologij na trg, ostali v uporabi in bodo zato sestavni del voznega parka še dolgo po nakupu, je učinek uveljavitve novih tehnologij na trgu v smislu voznega parka lahko veliko manj izrazit, kot se bo kazal v deležu prodaje po tipu pogonske tehnologije/goriva.

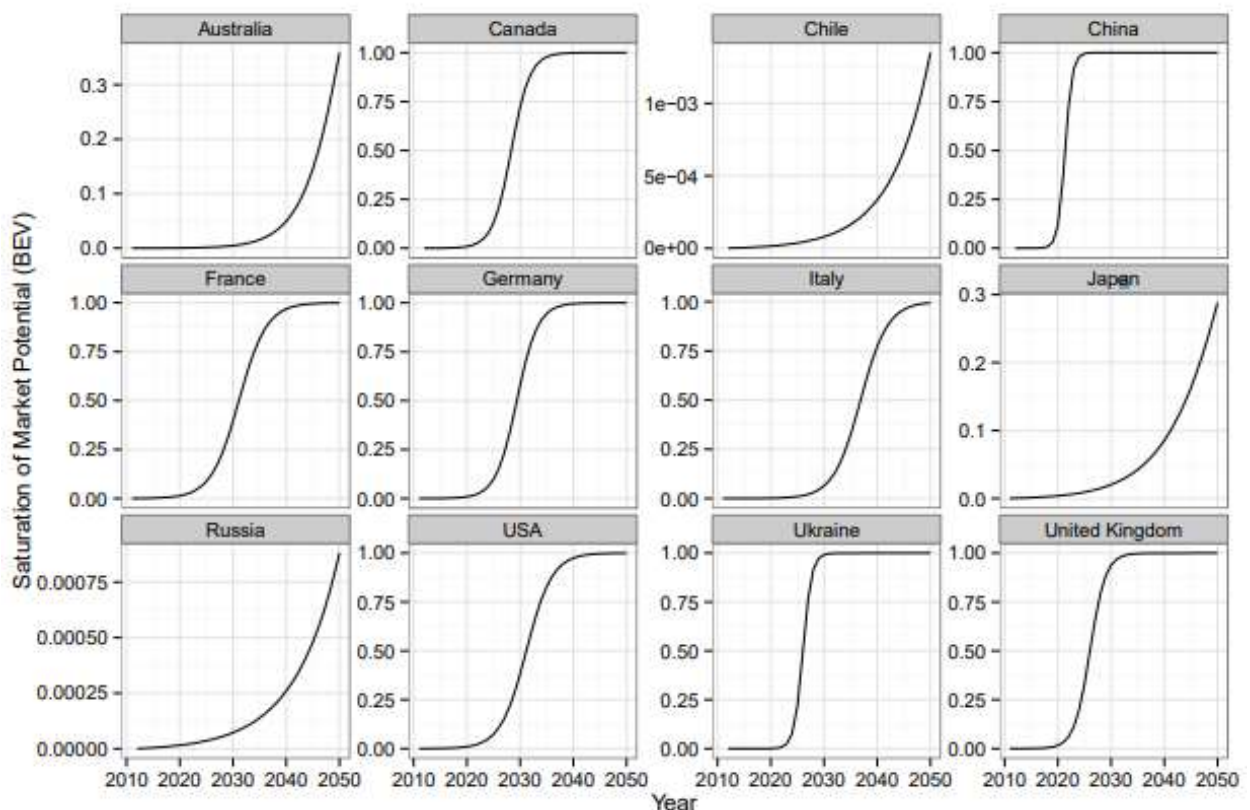


Slika 75: Primeri tržnih deležev PHEV z več-modalnimi modeli, ki ocenjujejo saturacijo in rast trgov po posameznih državah [97].

Tudi druge študije, ki temeljijo na različnih več-modalnih pristopih k ocenjevanju rasti določenih pogonskih tehnologij, ocenjujejo, da bo v določenih regijah še vedno velik del vseh vozil tudi z MNI, čeprav pa so napovedi za električna vozila precej bolj optimistične. Ocena avtorjev ene izmed teh študij je, da bo imela vsaka izmed regij, oz. celo vsaka izmed držav svoj maksimalni potencial za vsako izmed tehnologij, in določene bodo dosegle saturacijo v tržnem deležu že v letih pred 2040, ponekod pa se bo rast počasi nadaljevala. Le v redkih državah bodo primerni pogoji, ki bodo omogočali pri osebnih vozilih prehod na popolnoma električna vozila, ponekod pa bo vedno potreben en del voznega parka, ki bo zaradi različnih dejavnikov še vedno ostal na starih pogonskih tehnologijah z MNI.

Bassovi modeli difuzije so ena od konkurenčnih paradigem za napovedovanje širjenja inovativnih izdelkov ali tehnologij. Ta pristop določa, da se vzorci difuzije lahko oblikujejo preko dveh mehanizmov: inovatorjev in imitatorjev. Inovatorji sprejemajo nov izdelek z določenim tempom, imitatorji pa sprejemajo nov izdelek, ko pridejo v stik z obstoječimi uporabniki. Koeficient inovatorjev raste s stopnjo adopcija, ko je tehnologija prvotno ponujena na trgu. Koeficient q opisuje koeficient imitacije, čigar vrednost raste glede na rast adopcije tehnologije, ko zasiči potencial inovatorjev. Dodatni pristop modele nadgradi še z modelom diskretne logike izbire potrošnikov, kjer za vsako izmed držav določijo z evalvacijo različnih lastnosti lastništva in nakupa vozil na podlagi faktorjev, kot so specifikke samega trga, družbene in kulturne razlike držav, trend agresivnosti državnih politik ter infrastruktura in dostopnost različnih oblik energije. Z

interpretacijo koeficientov so električna vozila v večini držav bolj zaželena kot bencinska, a ko faktor sentimenta združiš s faktorjem dosega vozila z enim polnjenjem, konvencionalna vozila predstavljajo veliko večji tržni potencial glede na uporabnost za potrošnika. To pomeni, da v trenutku ko električna vozila uspejo zagotavljati vsaj zadosten doseg, tržni potencial EV praktično izniči potencial konvencionalnih vozil. Slabost modela je, da ne upošteva možnih sprememb v sentimentu tekom obdobja estimacije. Splošne karakteristike trgov so avtorji pridobili preko regresijskim modelov, kjer analizirajo zgodovinski vpliv variacije v parametrih, ki so neodvisni od pogonskih tehnologij (strošek lastništva začetna cena, BDP trga, stopnja zaposlenosti, število prebivalcev, itn.)

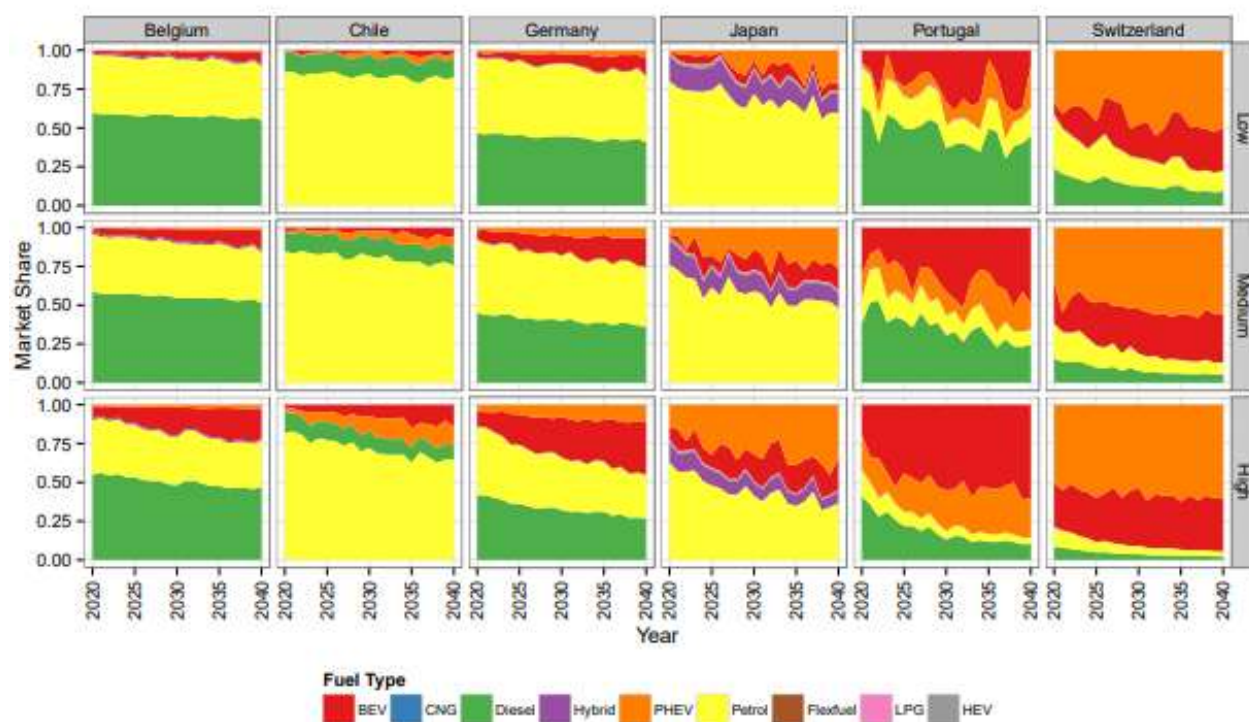


Slika 76: Primeri tržnih deležev BEV z več-modalnimi modeli, ki ocenjujejo saturacijo in rast trgov po posameznih državah [97].

Na podlagi več-modalnega pristopa, tudi z aplikacijo Bassovih modelov na širitev električnih vozil, so na UC Davies oblikovali scenarije za rast adopcije električnih vozil po svetu. Dobljene krivulje adopcije različnih pogonskih tehnologij, ki jih navajajo Bassovi modeli iz študije UC Davies [97] se zelo razlikujejo po državah in geografijah. Če opazujemo letno prodajo vozil in strukturo pogonov, ima vsak trg svojo značilno saturacije prodaje glede na ocenjen tržni potencial določene pogonske tehnologije. V splošnem Bassovi modeli temeljijo na podatkih zadnjih treh let glede na adopcijo BEV in PHEV po posameznih državah, ki imajo vsaka svoje značilne karakteristike, kot so stopnja urbanizacije, starostna piramida, ekonomska blaginja in razpoložljiv prihodek ter drugi.

Modeli pokazali, da ko tehnologija preide preko faze začetnega sprejemanja električnih vozil (kar se ponekod že dogaja), se bo v primerjavi z drugimi tehnologijami odvil sorazmerno hiter prevzem EV. Kot primer, baterijska električna vozila ponekod dosežejo svoj tržni potencial šele v letu 2050, medtem ko na Kitajskem ta potencial dosežejo po modelih avtorjev študije že relativno kmalu, do leta 2025.

Rezultati so zanimivi, saj modeli predvidijo tri različne scenarije adopcije glede na kombinacijo cene, razpoložljivost različnih modelov EV in doseg električnih vozil (nizka, srednja in visoka adopcija). Slika 77 prikazuje kot primer 6 različnih trgov, ki predstavljajo različne konce spektra porazdelitve različnih pogonskih tehnologij in obsega njihove adopcije. Glede na trenutno stanje trgov iz modelov lahko vidimo, da imajo evropske države relativno visoke deleže dizelskih vozil, medtem ko se na primer Čile in Japonska danes zanašajo predvsem na bencinska vozila. V podskupini rezultatov bodo na Portugalskem električna vozila zelo dobro sprejeta z večino BEV, prav tako v Švici z večino PHEV. V scenariju "nizke" stopnje adopcije bodo imela v Belgiji EV do leta 2050 do 10% tržnega deleža, medtem kot v bolj agresivnem scenariju "visoke" stopnje adopcije do približno 25% v določenih državah. Opaziti je tudi, da na Švicarskem trgu sorazmerno prevladajo električna vozila (večji del je PHEV) s 75-odstotnim tržnim deležem tudi v scenariju "nizke" adopcije in v primeru scenarija visoke adopcije celo popolnoma prevladajo.

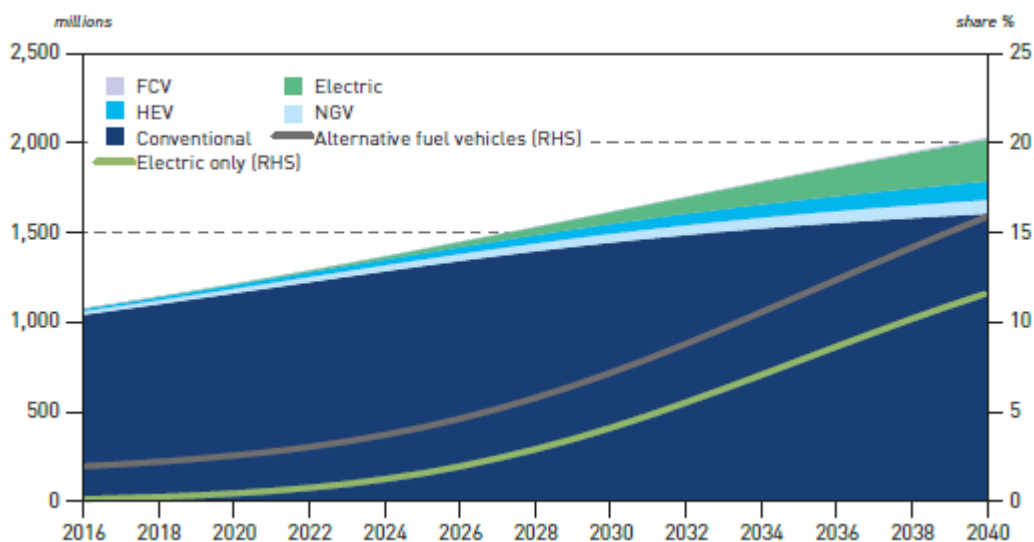


Slika 77: Po modelu logične izbire potrošnikov ocenjeni deleži različnih pogonskih tehnologij v prodaji vozil glede na predviden scenarij v obdobju med 2020 in 2040, po različnih državah, pri čemer desna os označuje dostopnost električnih vozil (glede na ceno, število modelov in doseg).

Bassovi modeli in ostala modela se ne poravnajo popolnoma. Difuzijske krivulje Bassovih modelov dosežejo veliko hitrejše in strmejšše trende začetne penetracije EV v primerjavi z drugima pristopoma. Model logične izbire potrošnikov in regresijski pristop, ne dosežejo nujno nobenih povečanih začetnih prihodnjih tržnih deležev. Oba kažeta relativno počasno začetno povečanje glede na trajektorije, ki so jih avtorji lahko nastavili za pojasnjevalne spremenljivke. Je pa pomembno dejstvo, da sčasoma dohitijo stopnje adopcije ki jih predvidevajo Bassove krivulje.

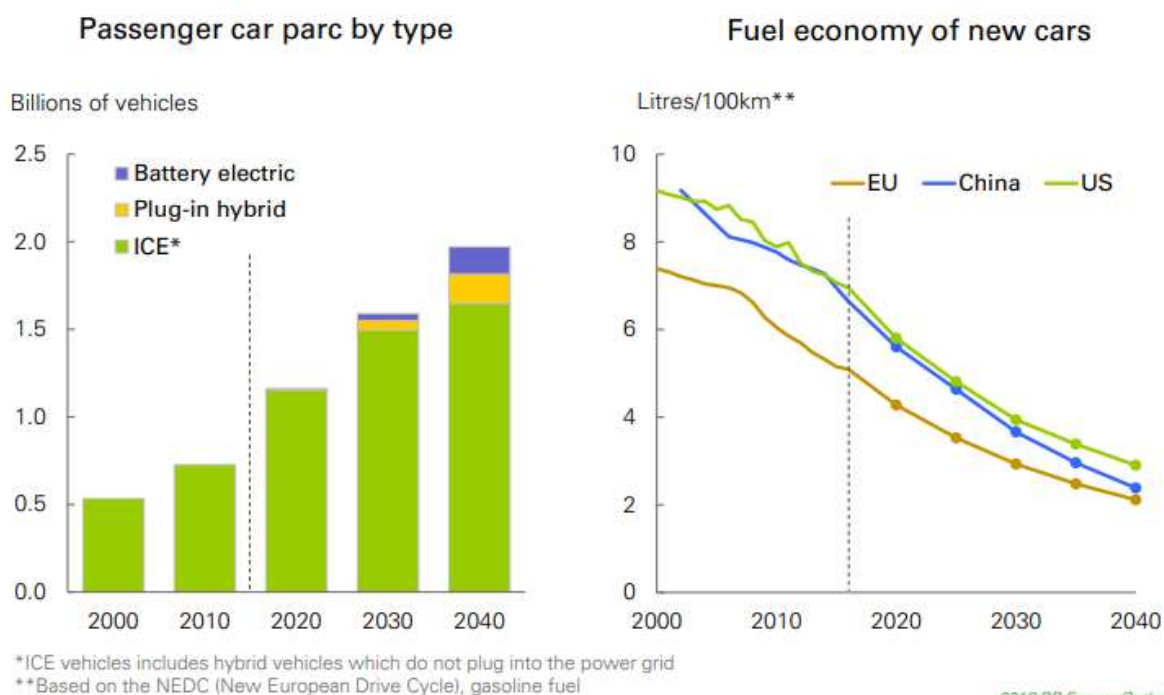
V primeru vseh scenarijev pa je ocena avtorjev, da bi bilo do leta 2030 težko doseči cilje, kot je 100 oz. 200 milijonov električnih vozil po vsem svetu (cilji Mednarodne agencije za energijo in cilje ZN). Seveda obstaja velika možnost, da bi lahko prišlo do sprememb na trgih in vedenja potrošnikov, ki so v teh modelih slabo zajete. To pomeni, da tudi ti modeli predstavljajo relativno konzervativno oceno potencialnih bodočih deležev pogonov osebnih vozil po svetu.

Za primerjavo je seveda zopet smiselno vzeti druge konzervativne ocene deležev pogonov, ki jih pripravljata OPEC ali BP [93], [94]. Po ocenah OPEC-a naj bi bilo HEV v letu 2040 kar 103 milijone, kar je relativno velik delež svetovne flote. Alternativna goriva, vključno z električnimi pogoni, zemeljskim plinom in gorivnimi celicami vozila naj bi vse bolj prodrli v svetovno floto. Vseeno pa naj bi po ocenah OPEC-a EV predstavljala glavni delež voznega parka na alternativne pogone, s približno 235 milijoni vozil do leta 2040 (126 milijonov BEV in 109 milijonov PHEV). VZP (skoraj 77 milijonov avtomobilov v letu 2040) naj bi zasedla opazen, vendar ne odločilen delež v obdobju projekcij. Predvidenih 9,6 milijona vozil na vodik (VV) naj v prihodnosti ne bi igralo pomembne vloge v voznem parku, čeprav lahko predstavljajo opazno nišo v razvitem delu Azije in Oceanije (predvsem trg Japonske in morebiti Avstralije). Slika 78 prikazuje predvideno strukturo voznega parka osebnih avtomobilov v letih 2016 med 2040.

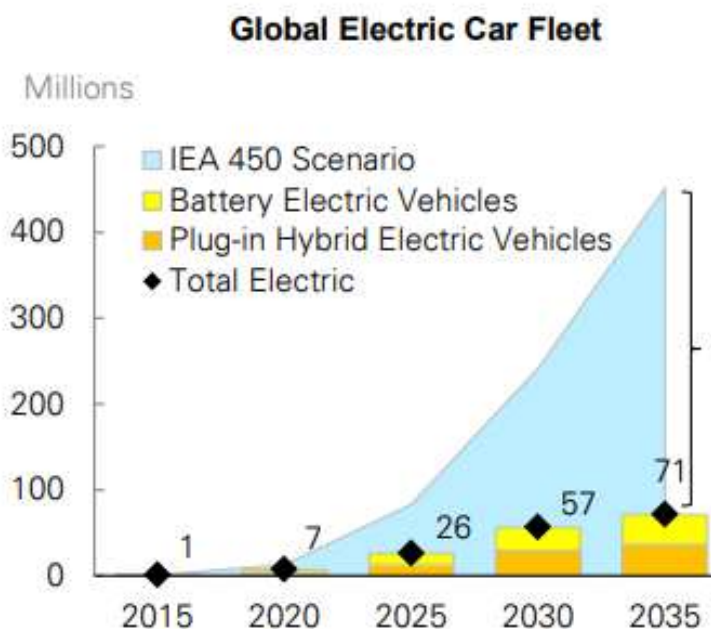


Slika 78: Predvidena struktura voznega parka osebnih avtomobilov v letih 2016 med 2040.

Predvideva se, da se bo skupno število običajnih osebnih avtomobilov v prihodnjih nekaj desetletjih še povečalo na vsaj 1,6 milijarde v letu 2040 (ocene segajo do 2,1 milijarde), čeprav je predvideno zmanjšanje letnega relativnega prirastka.



Slika 79: Struktura voznega parka, pesimistična ocena BP [98] (levo); trend izkoristka vozil z motorji na notranje izgorevanje po treh regijah z največ avtomobili v letu 2017 (desno).



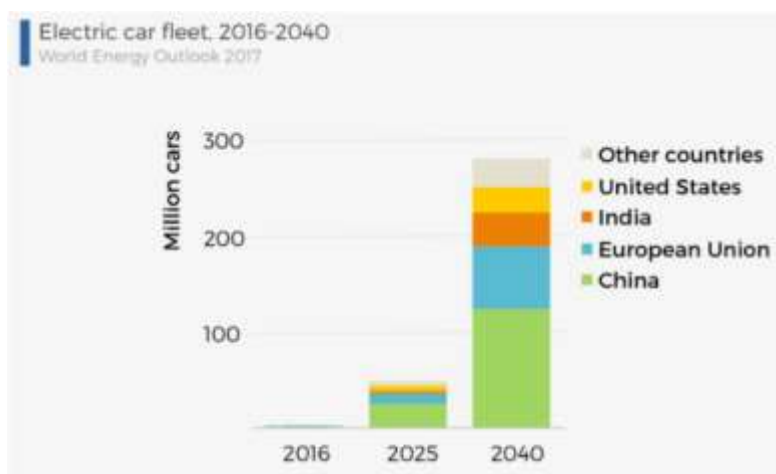
Slika 80: Primerjava ocen števila električnih avtomobilov svetovnega voznega parka v letih 2015 – 2035, optimistična (IEA450 [99]) in pesimistična ocena. (Ocena BP[100])

V skupnem je predvideno, da bo delež vozil z alternativnimi pogonskimi sistemi v letu 2040 predstavljal več kot 16% tržni delež, pri čemer bodo električna vozila prispevala okoli 11.6%, in bodo ključna tehnologija, ki se bo uveljavila kot alternativa konvencionalnim pogonom na naftne

derivate. Da bi razumeli razpon vseh predvidevanj in ocen se lahko opremo na dva pola, ki predstavljata pesimistični in optimistični pogled na hitrost adopcije električnih vozil.

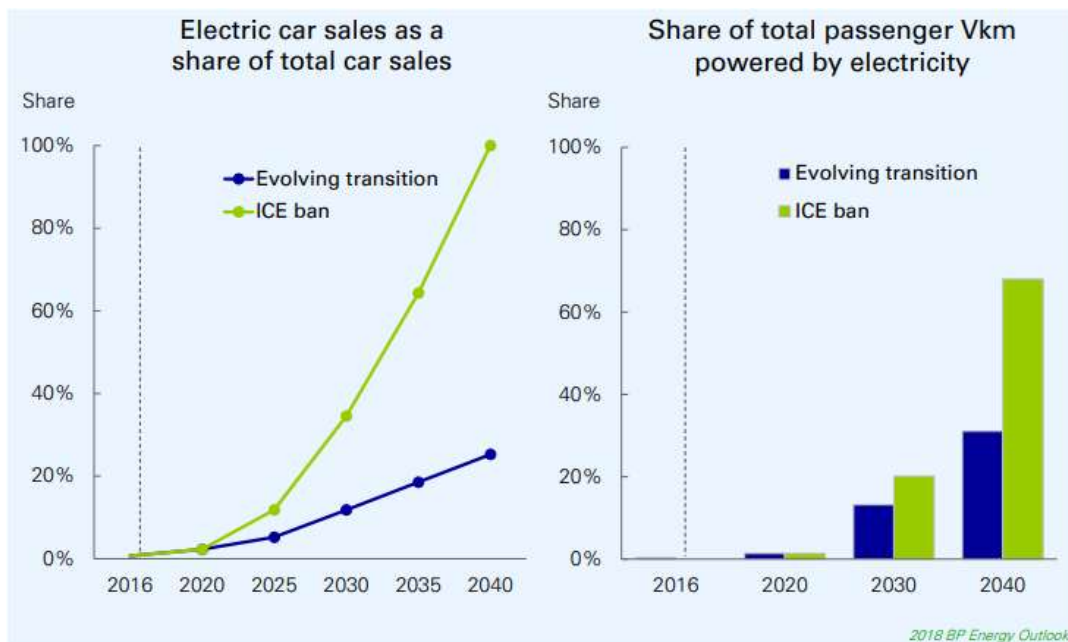
Prvi, optimistični scenarij predvideva najboljšo možno opcijo, da bi zadostili vsem emisijskim zavezam, ki jih predvidevamo za omejitve vpliva na globalno segrevanje ozračja (določa energetska pot v skladu s ciljem omejevanja globalnega povečanja temperature na 2 °C z omejevanjem koncentracije toplogrednih plinov v ozračju na približno 450 delcev na milijon CO₂). Ta scenarij predvideva Mednarodna Agencija za Energijo (IEA) v študijah [99], [101]–[104]. Po drugi strani lahko spodnjo mejo ocenimo iz čisto osnovnih scenarijev tako IEA kot tudi ocen energijskih (in naftnih) gigantov, ki imajo dokaj predpostavljene določene neizogibne vpeljave novih tehnologij. Za primer lahko na Slika 80 vidimo primerjavo razpona različnih pogledov na adopcijo električnih vozil (razmerje je malenkost v prid baterijskim električnim vozilom v primerjavi z PHEV). Srednji scenarij predvideva neko močno elektrifikacijo, ki pa se bo odvila zmerno, brez pretirano agresivnih politik držav po svetu, ki bi pospešile adopcijo novih pogonov brez emisij.

Slika 81 prikazuje oceno števila električnih avtomobilov na svetu v letih 2025 in 2040.



Slika 81: Skupna ocena števila električnih vozil v svetovnem voznem parku avtomobilov v letih 2016, 2025 ter 2040 [104].

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 82 prikazuje dva trenutno robna scenarija adopcije električnih vozil, ki ju lahko sprejmemo kot oceno območij, znotraj katerih se bodo gibale realne številke. Opozoriti je potrebno na dejstvo, da pri tem ne upoštevamo delitve električnih vozil na BEV in PHEV; pri čemer imajo PHEV še vedno bencinski motor, in avtorji študije niso jasno podali te ločnice. Za osnovo lahko vzamemo, da bodo do leta 2035 PHEV prevladovali, potem pa jih bodo z več kot polovičnim deležem prehitela baterijska električna vozila.



Slika 82: Delež EV med letno prodanimi avtomobili v svetu v dveh scenarijih – pesimistični scenarij predvideva navadno nadaljevanje razvoja in adopcije vozil brez dodatnih spodbud in zaostrovanja okoljskih politik držav in regij – optimistični scenarij pa predvideva v obdobju do 2030 prepoved motorjev na notranje izgorevanje, kar je najbolj ekstremna politika, ki bi lahko botrovala vse večjemu prodoru električnih vozil (levo); Število prevoženih kilometrov z avtomobili na električni pogon v obeh scenarijih desno).

Iz strukture vseh prevoženih kilometrov na električni pogon, ki jih prikazuje Slika 82 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.

5.2.2.4 Povzetek študij pri oceni deleža pogonskih tehnologij osebnih vozil v svetu do leta 2070

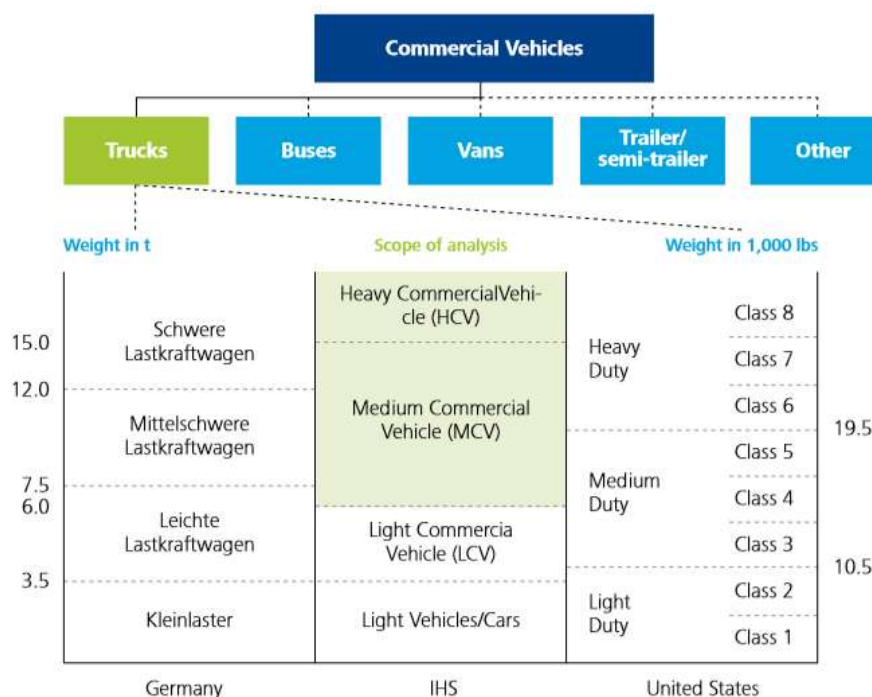
Tabela 44 navaja predvideno število osebnih vozil glede na pogon po letih med 2016 in 2070 za vsa električna vozila (torej PHEV + BEV), pri čemer so vrednosti v tabeli ocena avtorjev na podlagi različnih študij in vrednosti iz literature.

Tabela 44: Predvideno število osebnih vozil glede na pogon po letih med 2016 in 2070

Študija	Tip	2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
GFEI	EV			120					
Carbon TRacker						1100			
BP					100	160			
Wood Mackenzie					350				
IEA						900			
IEA BASE					56				
IEA 2DS					160			1200	
IEA B2DS					200			2070	
IEA			9	40					
IEA			20	70	200	450			
UBS				11,36					
Morgan Stanley								970	
McKinsey					720				
IRENA					160				
BP			7	26	57	71	460		
OPEC			7	25	60	180	243,6		
ICCT ZEV				30					
BNEF			11,9	26,4	99,4	290,7	531,3		
Mediana			8	28	160	180	460	970	1635
Povprečje			10,98	32,68	183,24	240,3	565,8	970	1635
BP		PHEV				90	160		
UBS				2,84					
BP				4,2	15,6	33,06	39,05	250	
OPEC								125	
Argonne									
Mediana				4,2	9,22	33,06	64,5	160	
Povprečje			4,2	9,22	33,06	64,5	178,3		
BP	BEV	2,8	10,4	23,94	31,95	210			
OPEC					90	141			
Mediana			2,8	10,4	23,94	61	175,5		
Povprečje			2,8	10,4	23,94	61	175,5		
OPEC	HEV	10	30	50	80	100			
OPEC	VZP	13	40	50	75	85			

5.2.3 Ocena deležev pogonskih tehnologij v voznem parku gospodarskih (tovornih) vozil

Gospodarska vozila sestavljajo različne kategorije, kot so tovornjaki, vozila za prevoz več kot 8 potnikov, tovorna vozila – ter vlačilci. V tem poglavju so lahka gospodarska vozila, ki imajo skupno dovoljeno maso pod 3,5t izključena iz ocene, saj so po karakteristikah ocen pogonov v enaki skupini kot osebni avtomobili.



Slika 83: Različne označbe in klasifikacije vozil glede na težo, poimenovanje in nacionalne posebnosti [105].

5.2.3.1 Pregled študij

Na podlagi raziskovalne literature se pri različnih aplikacijah srednje-težkih tovornjakov in vlačilcev predvideva vpeljavo električnih vozil. Visok izkoristek, ki je za električna vozila v splošnem 3 do 4-krat bolj učinkovit od dizelskih motorjev in motorjev na zemeljski plin, ima za posledico zmanjšanje porabe primarne energije in emisij toplogrednih plinov ([106], [107]). Ta vozila so, kot že omenjeno, najbolj primerna za aplikacije s kratkimi razdaljami in obratovalnimi cikli, ki lahko izkoristijo regenerativno zaviranje in, kjer je to potrebno, tudi omejene velikosti električnih baterijskih paketov [108]. Analiza delovnih ciklov kaže, da so mestni dostavni kombiji in dostavni tovornjaki, tovornjaki za odvoz in tovorna vozila za mestni transport najbolj primerni cilji elektrifikacije tovornih vozil [109].

Možnost električnih pogonov za srednje težke tovornjake je bila analizirana v več različnih študijah. Lofstrand et al. [110] ocenjujejo, da bodo baterijski električni tovornjaki do leta 2025 imeli najnižje skupne stroške lastništva vseh pogonskih sklopov za scenarije s kratkimi potmi in visoko izkoriščenostjo. Podobno tudi California Hybrid, Efficient and Advanced Truck Research Center, inštitut za raziskave, pričakuje, da bodo elektrificirani dostavni tovornjaki pripravljeni za splošno

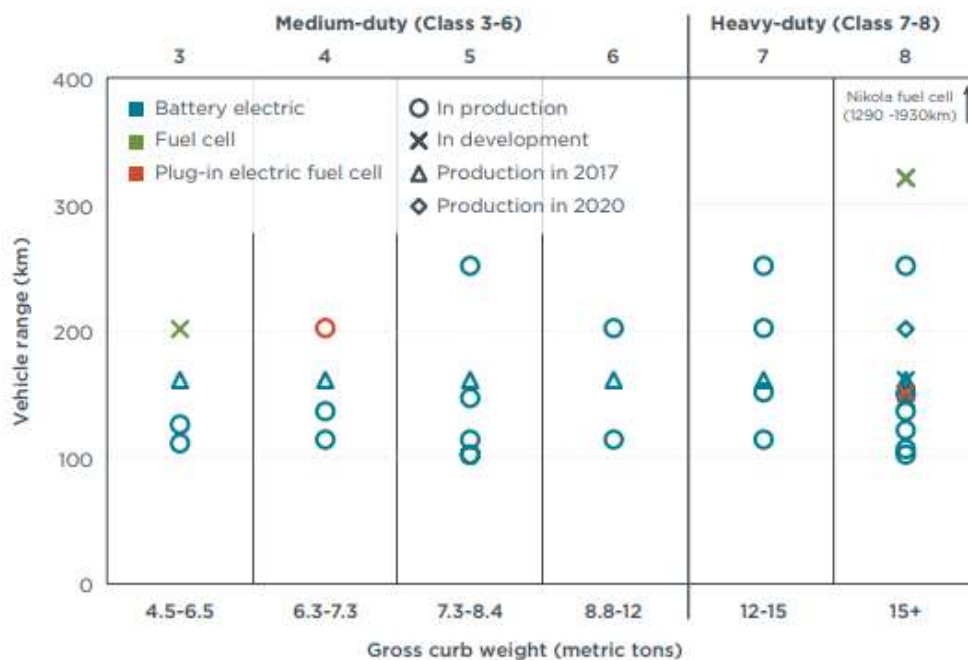
razširjeno komercialno aktivnost, s približno 3- do petletno donosnostjo naložb že okoli leta 2020 [111]. Druge ocene so še bolj optimistične, pri čemer se kaže, da so pri obravnavi davčnih politik [112] v več državah skupni stroški lastništva baterijskih električnih dostavnikov preko življenjske dobe vozila že sedaj lahko nižji od dizelskih vozil. Tudi pri vlačilcih, ki dnevno operirajo na krajših razdaljah, so lahko baterijski električni pogoni kmalu velik del trga, kot opisuje študija Chandler et al. [106]., izmed katerih so tovornjaki za odvoz smeti še najbolj primerna aplikacija, ker obenem zmanjšujejo tudi hrup in onesnaženje v urbanih okoljih.

Tabela 45: Tabela nekaterih znanstvenih študij, ki v različnih časovnih okvirih analizirajo stroškovno sprejemljivost tovornih vozil z alternativnimi pogoni, pri čemer vključujejo tudi druge faktorje.

Regija	Referenca	Časovni okvir	Tip vozila			Pogon		Analiziran podatek	
			LCV	MCV	HCV	BEV	Vodik	Strošek	CO ₂ emisije
Evropa	[113]	2030		X	X	X	X	X	X
Kanada, ZDA	[114], [115]	2050			X	X	X	X	X
Kanada, ZDA	[116]	2020			X	X	X	X	X
ZDA	[117]	Sedanjest	X	X		X	X	X	
Kanada, ZDA	[111]	2050		X	X	X			X
Evropa, Južna Koreja, Turčija	[112], [118]	Sedanjest	X			X	X	X	
Kanada, ZDA	[108], [119]	2030		X	X	X		X	
Kanada, ZDA	[120]	2025		X	X		X	X	
ZDA	[121]	Sedanjest			X	X	X	X	X
Danska	[122]	2050			X	X		X	X
Švedska	[110]	2025		X	X	X		X	
ZDA	[123]	2040			X	X		X	X
ZDA	[124]	sedanjest		X		X		X	X

Za vlačilce ter težke tovornjake pa je ključnega pomena, da se čas, ki je potreben za polnjenje energije, čimbolj zniža in približa časom polnjenja goriva. Kot najbolj primeren način se kaže

menjava baterijskih paketov, ki je trenutno še v povojih ali v začetnih fazah testiranja, kot to opisujejo študije [113], [125]–[127].



Slika 84: Primer trenutnega stanja razvoja in dosegov različnih tovornih vozil glede na največjo dovoljeno maso.

Gorivne celice se omenjajo kot resna alternativa baterijskim električnim pogonom, a so še zelo slabo tržno razvite, predvsem pa ponujajo dobro kombinacijo hitrega polnjenja in odsotnosti izpustov. Nekatere študije ocenjujejo, da pri razdaljah preko 100 km gorivne celice na vodik že postanejo stroškovno smiselne, a ker stroški baterij zelo hitro padajo, bo ta razdalja vedno daljša. Druge študije spet ocenjujejo, da glede na pomanjkljivosti vodikovih pogonov - zelo slaba ali neobstoječa infrastruktura ter visok strošek proizvodnje vodika – le-ti ne bodo stroškovno uspeli tekmovati z drugimi oblikami pogonov. To je tudi razlog, da so ocene števila tovrstnih pogonov v literaturi za prihodnost izjemno majhne, pogonski sistemi pa uveljavljeni le v nekaterih nišnih tržnih segmentih.

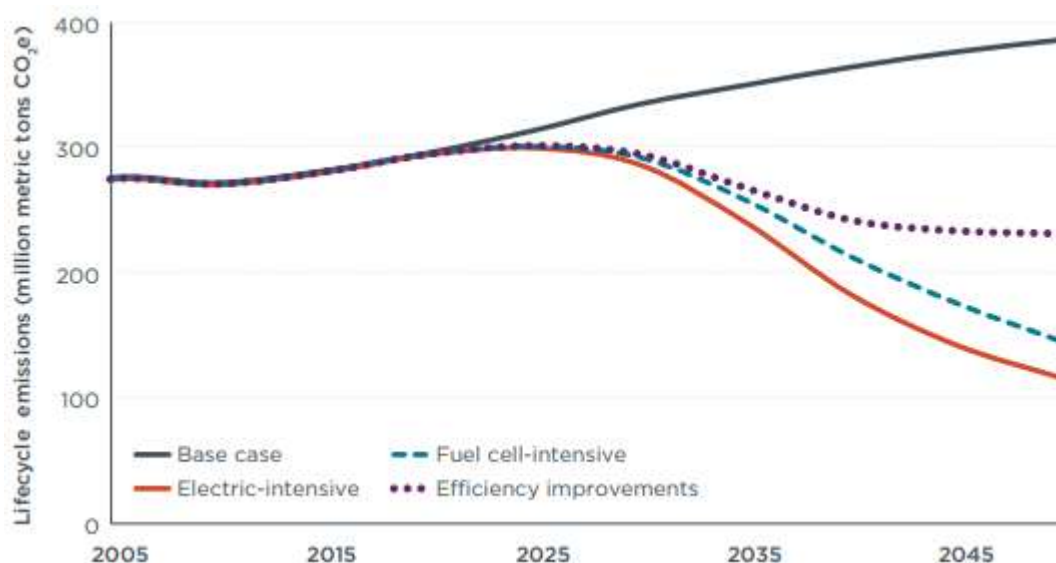
Slika 84 prikazuje današnje stanje (2017) na področju razvojnih komercialnih projektov za splavitev tovornih vozil z alternativnimi pogonskimi tehnologijami. Večina vozil, kot je prikazano na sliki, se razvija v smer baterijskih električnih pogonov, a gorivne celice so še vedno v igri. Kot zanimivost je smiselno omeniti, da bodo pri pričakovanih vrednostih izpustov CO₂ pri proizvodnji energije v letu 2030 tako električna kot tudi vozila na vodik bistveno znižala izpuste, v kolikor se uveljavijo tovrstni pogoni v tovornih vozilih (Tabela 46).

Tabela 46: Intenziteta izpustov CO₂ za različne tipe energentov v letih 2015 in 2030, ter relativno zmanjšanje emisij v letu 2030 za dan energent/energijo

Gorivo	Regija	Ogljična intenzivnost goriv [gCO _{ek} /MJ]		Zmanjšanje emisij TGP
		2015	2030	
Diesel		102	102	/
Stisnjen zemeljski plin		81	81	/
Utekočinjen zemeljski plin		86	86	/
Vodik		151	70	54%
Elektrika	ZDA	144	49	66%
	Evropa	101	44	57%
	Kitajska	202	82	60%

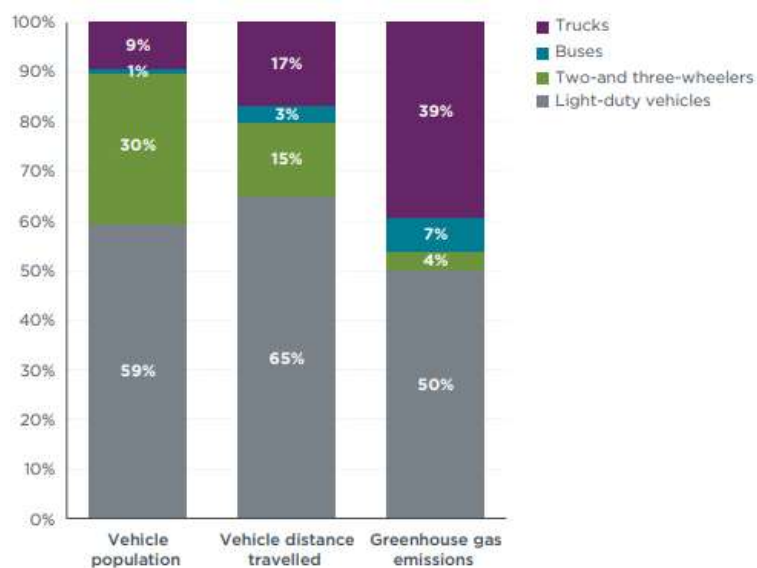
Na podlagi različnih predpostavk so avtorji študije [107] predvideli gibanje izpustov CO₂ glede na življenjsko dobo vozila z različnim tipom pogona, pri čemer so predvideli tudi različne scenarije razvoja tržnih deležev teh tehnologij. Prvi scenarij je osnovni primer, ki predpostavlja, da celotna evropska flota vlačilcev ostane v celoti sestavljena iz vozil z motorjem z notranjim izgorevanjem, ki jih poganja dizelsko gorivo, ne da bi sprejeli dodatne standarde učinkovitosti, ki spodbujajo večji izkoristek. Drugi scenarij predvideva, da se standardi zahtevane učinkovitosti zaostrojujejo, kar vodi k naprednim izboljšavam izkoristkov dizelskega goriva na podlagi najboljše razpoložljive tehnologije. Vključena sta tudi dva scenarija tehnologij brez emisij, pri čemer vsak odraža možnost, da ena tehnologija postane vodilna tehnologija skozi čas, medtem ko druga ostane v več nišnih aplikacijah v floti.

Oba scenarija brez emisij vozil upoštevata tudi izboljšanje učinkovitosti dizelskega goriva (to pomeni, da vsi scenariji, razen osnovnega primera vključujejo izboljšave dizelskega goriva). Scenarij, ki vsebuje intenzivnost uporabe gorivnih celic, predvideva začetek prodaje priklopnikov s prikolicami z gorivnimi celicami v letu 2020 in 50% delež v prodaji leta 2050, prodaja vlačilcev na električni pogon pa je prav tako predvidena od leta 2020 dalje, pri čemer je predviden 15% tržni delež leta 2050. Zadnji električno-intenzivni scenarij za osnovo jemlje prodajo vlačilcev z električnim pogonom, ki se bo začela večati leta 2020 in dosegla 50-odstotni delež prodaje leta 2050, pogoni na gorivne celice pa podobno obratno kot pri prejšnjem scenariju, pričeli rasti v številu leta 2020 in leta 2050 dosegli 15-odstotni tržni delež.



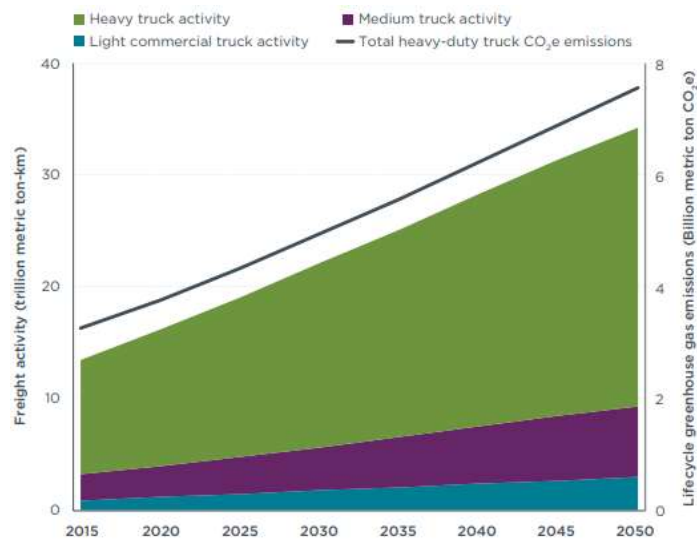
Slika 85: Emisije težkih vlačilcev v Evropi med 2015 in 2050 glede na različne scenarije.

5.2.3.2 Struktura in število voznega parka gospodarskih vozil



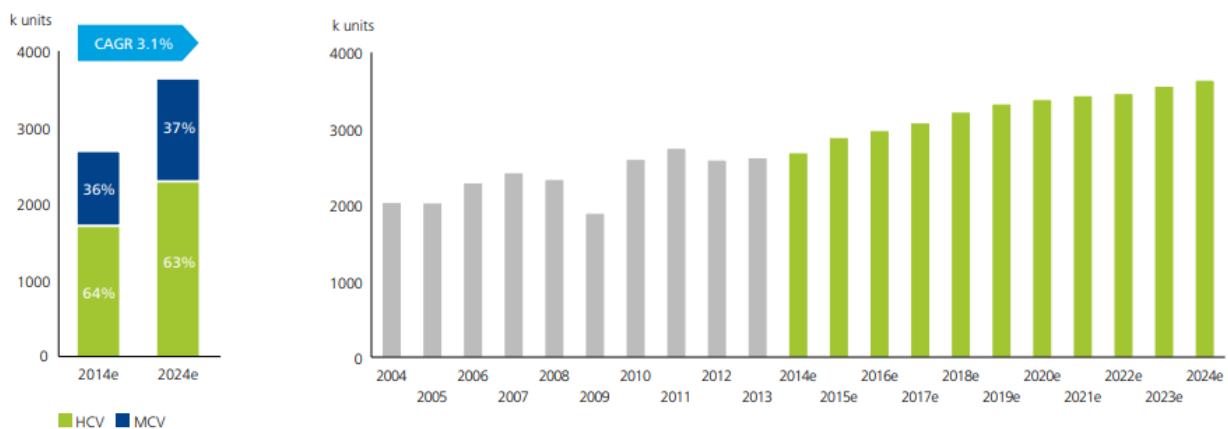
Slika 86: Struktura vozil v svetu leta 2017, število prevoženih kilometrov glede na tip vozila, rang velikosti prispevka k skupnim emisijam cestnega prometa.

Medtem, ko so osebni avtomobili dobro na poti proti izničenju pogonskih emisij, so težja tovorna vozila povsem v zaostanku pri sprejemanju radikalne, večinoma elektrificirane, čiste tehnologije. Po poročilu Mednarodnega sveta za čisti transport (ICCT) [107] v letu 2017, težka tovorna vozila nesorazmerno veliko prispevajo k večjim emisijam. Kljub temu, da predstavljajo le 9% svetovnega števila vozil in 17% vseh prevoženih kilometrov, tovorna vozila predstavljajo približno 39% življenjskega cikla emisij toplogrednih plinov v cestnem prometu; pri čemer je prispevek še višji za druge onesnaževalce delce.



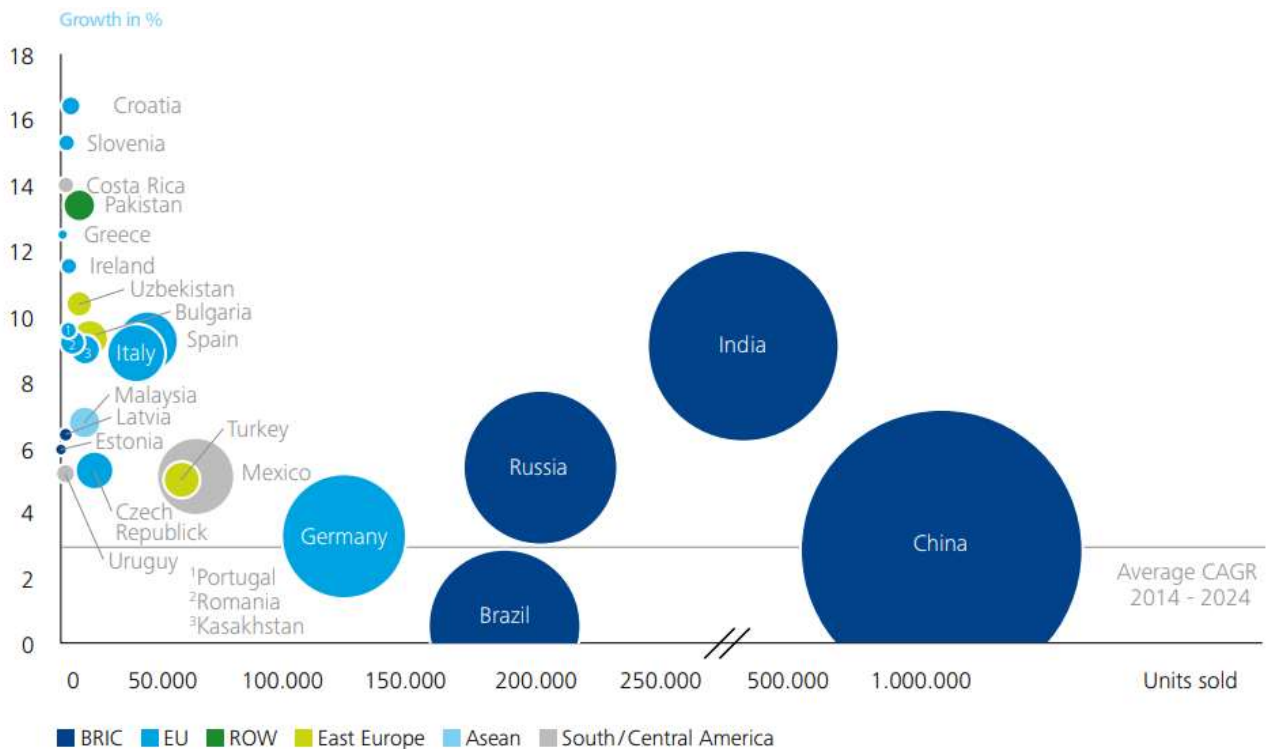
Slika 87: Ocena prevoženega tovora in kilometrov gospodarskih vozil do leta 2050 ter njihov prispevek k izpustom toplogrednih plinov tekom njihove življenjske dobe.

Najtežja tovorna vozila (vlačilci, nad 15 t – class 8) predstavljajo več kot 60 % vseh prevoženih tonskih kilometrov, pri čemer prispevajo več kot 75 % CO₂ emisij med vsemi tovornimi gospodarskimi vozili.



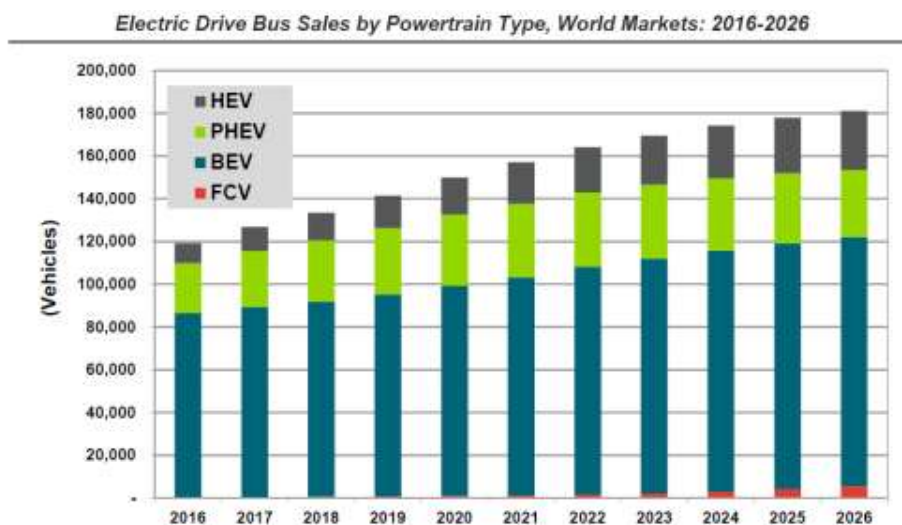
Slika 88: Rast prodaje tovornjakov z največjo dovoljeno maso preko 6t med leti 2014 in 2024 [105].

Kot primer, študija in predvidevanja Deloitte [105], ki se osredotoča na težka tovorna vozila (obarvano z zeleno na Slika 88), predvideva, da bodo tovornjaki (ki niso vlačilci) rasli naslednjih 10 let le zmerno s predvideno rastjo 3,1 % letno, prodaja pa se bo v naslednjih 10 letih dvignila za približno četrtino. Težka vozila z največjo dovoljeno maso preko 15ton bodo imela večji tržni delež kot vozila z največjo dovoljeno maso med 6 in 15 ton, in sicer 63 %. Največja rast je predvidena v Indiji in Vzhodni Evropi. Za Slovenijo je kratkoročno predvidena ena izmed večjih rasti, in sicer do leta 2024 letna rast preko 15 % (CAGR), kot prikazuje Slika 89.



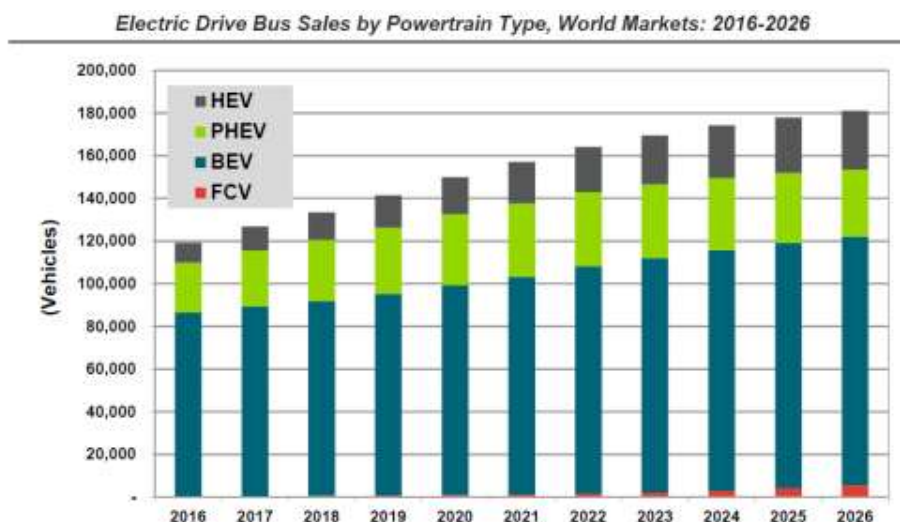
Slika 89: Pričakovana rast ter število letno prodanih tovornjakov po različnih državah sveta.

V splošnem pa je po oceni OPEC-a do leta 2040 pričakovati drastično povečanje števila gospodarskih vozil z največjo dovoljeno maso nad 3,5t. Ta vozila odlikuje relativno ustaljen vozni cikel kot skupna karakteristika, in zato tudi večja učinkovitost pogonov z motorji na notranje izgorevanje, kar seveda tudi vpliva na izbiro pogona s strani kupcev, ki se pri nakupu večinoma ozirajo na ekonomiko nakupa preko celotne življenjske dobe vozila v floti. Alternativna goriva se bodo v teh kategorijah uveljavila predvsem za vozila lažja od 7,5 ton, ki delujejo v urbanih okoljih ali na kratke razdalje, pri čemer bi pri vozilih za transport na daljše razdalje lahko pogonsko gorivo in agregat zamenjal zemeljski plin oz gorivne celice na vodik.



Slika 90: Primeri deležev avtobusov z alternativnimi pogoni do leta 2026.

Tabela 47 podaja oceno števila gospodarskih vozil vseh kategorij na svetu ter ocenjuje njihovo rast do 2070. Po ocenjeni rasti je razvidno, da bodo države v razvoju, ki danes predstavljajo enakovredno število gospodarskih vozil kot razvite države, do leta 2040 imele več kot dvakratnik gospodarskih vozil na cestah. Glede na trend teh dežel (z izjemo Kitajske in Indije), da izkazujejo počasnejšo adopcijo novih tehnologij in pa tudi nižjo kupno moč, je pričakovati, da bo večina teh vozil, vsaj do leta 2040, na konvencionalni pogon, pri čemer bo izbira goriva tista, ki bo predstavljala najbolj ekonomično rešitev. Razvite države bodo rasle predvsem na račun večjega volumna pretovora, pri čemer je potrebno upoštevati tudi potencial migracije tovorjenja iz cestnega na železniški promet.



Slika 90: Primeri deležev avtobusov z alternativnimi pogoni do leta 2026.

Tabela 47: Ocena števila vseh kategorij gospodarskih vozil v svetovnem voznem parku, v letih 2016 – 2070, v milijonih vozil

Regija	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
OECD Severna Amerika	38	41	45	49	54	58			
OECD Evropa	39	432	47	52	58	64			
OECD Azija in Oceanija	26	26	26	26	27	27			
OECD	103	109	118	128	138	149			
Latinska Amerika	19	22	26	31	36	42			
Bližnji vzhod, Afrika	14	16	20	25	32	39			
Indija	14	18	25	34	46	59			
Kitajska	24	30	37	45	55	66			
Azija – ostalo	25	29	36	44	52	60			
Države v razvoju	110	132	165	204	248	299			
Rusija	6	6		6	7	7			
Evrazija – Drugo	4	5	6	7	8	9			
Evrazija skupaj	10	11	12	13	14	15			
Svet	224	253	296	345	400	463			

5.2.3.3 Avtobusi

Avtobusi brez emisij so vedno pogostejši, kar bi lahko pomagalo utrditi pot tudi za tovorna vozila brez emisij. Električni avtobusi so trenutno najhitreje rastoči trg, glede na skupno število vozil v svetu, pri čemer podatki za leto 2016 navajajo kar 345 000 električnih avtobusov v uporabi, kar pomeni dvakratno povečanje glede na leto poprej. Večina mestnih občin v svetovnih prestolnicah se obvezuje k vpeljavi električnega mestnega prevoza v rangu do 80 odstotkov vseh javnih prevoznih sredstev. Do leta 2016 je ta trg zaznamovala Kitajska; država je imela več kot 280.000 električnih avtobusov ali več kot 95% svetovnega trga električnih avtobusov [107]. Uvajanje vseh električnih, plug-in hibridnih in avtobusov na gorivne celice v Evropi in v ZDA se povečuje. Tovrstna pospešena uvajanja povečujejo obseg proizvodnje baterij, gorivnih celic, močnostne

elektronike na vozilih, elektromotorjev ter opreme za polnjenje in oskrbo z gorivom. Ta naraščajoči obseg komponent prispeva k razvoju dobaviteljske baze, ki bo verjetno lahko podpirala tudi tovrstno tehnologijo za tovorna vozila. Prav tako vse večje izkušnje ponudnikov polnjenja in oskrbe z gorivom na primeru uvajanja avtobusov brez emisij le-te v prihodnje postavlja v močnejši položaje za dobavo in vgradnjo tehnologij ter infrastrukture za podobne aplikacije, kot so tovorna vozila.

5.2.3.4 Tovorna vozila med 6t in 15t skupne dovoljene mase

Svetovni trg srednje težkih in težkih tovornjakov nad 3,5 tone je skoraj izključno na MNE pogon (95% dizel), električni pogon še ne igra pomembne vloge. Skupna letna prodaja naj bi v petih letih od leta 2014 narasla za 2%. Kot je prikazano na sliki spodaj, razmerja vozila z rastjo ostajajo približno enaka, saj so podvržena natančnemu planiranju flot. Čeprav bo večina tovornih vozil po ocenah študij v prihodnosti še vedno na dizelsko gorivo, se pričakuje, da bo prihodnost rasti prodaje nafte in hibridnih vozil še naprej rasla. Glavne gonilne sile za spremembe alternativnih goriv so predpisi o emisijah, povečana urbanizacija in povpraševanje po energiji.



Slika 91: Razvoj prodaje tovornih gospodarskih vozil med leti 2013 – 2020 .

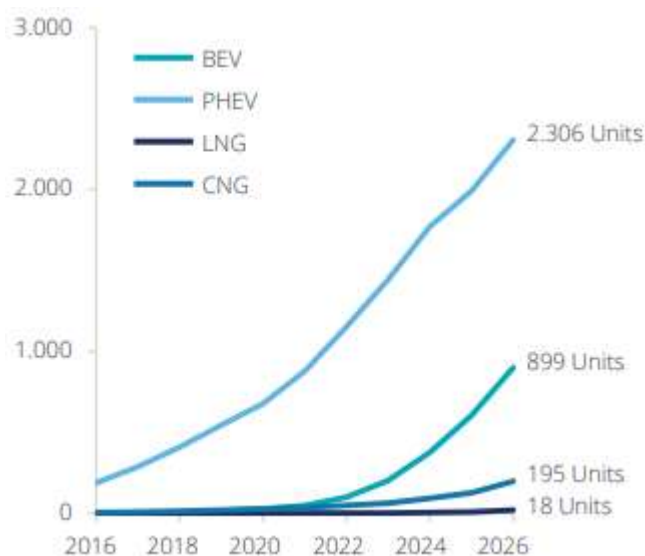
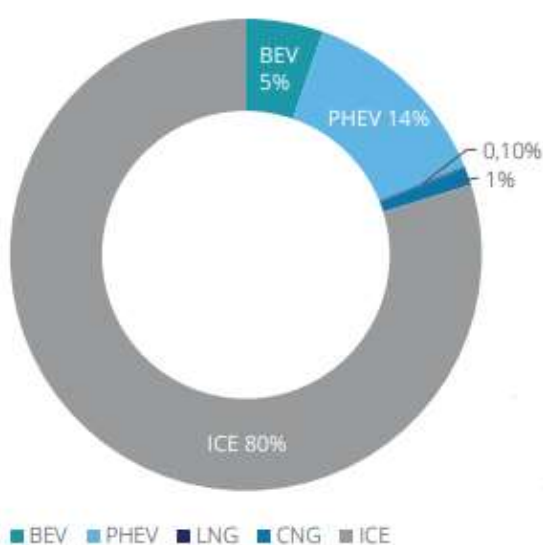
Med letoma 2016 in 2026 se bo delež alternativnih pogonskih sistemov med letno prodajo v segmentu srednje-težkih tovornih vozil povečal iz približno 1% v letu 2016 na nekaj več kot 20% v letu 2026. Kumulativno bo med leti 2016 in 2026 prodanih okrog 14.500 srednje-težkih tovornih vozil z alternativnimi pogoni. Hibridna vozila bodo pridobila večjo privlačnost in od leta 2016 do leta 2026 povečala svoj tržni delež na slabih 14%. PHEV (priključni hibridi) ustvarjajo največji potencial prihranka pri dostavnih ciklih vožnje, saj lahko regeneracija energije pri zaviranju igra posebno pomembno vlogo, kjer je večji delež cikla več ustavljanj in speljevanj kot pri prevozu na dolge razdalje. Stroški baterij za popolnoma električna vozila se bodo prepolovili do leta 2026. To ustreza zmanjšanju s približno 150 evrov/kWh v tem trenutku na pod 100 evrov/kWh leta 2026 (večina ocen kaže še znatnejši padec cene baterij). Hkrati je predvideno izboljšanje zmogljivosti baterij glede na njihovo težo v istem obdobju za 70% [128].

Dejavniki, ki spodbujajo prodajo popolnoma električnih in hibridnih vozil, vključujejo strogo regulirane mejne vrednosti emisij in hrupa v urbanih območjih ter napredek v tehnologiji baterij

(boljša zmogljivost, manjša teža, nižji proizvodni stroški). BE tovorna vozila (baterijska električna vozila) bodo do leta 2026 dosegla le 5-odstotni tržni delež, saj so pričakovane zmogljivosti za shranjevanje v letu 2026 (na kilogram teže baterije) še vedno prenizke in dodatna cena previsoka. Nizka poraba tega ne more nadomestiti. V primerjavi z drugimi evropskimi državami so cene električne energije v Nemčiji relativno visoke, ki še dodatno zmanjšuje prednosti uporabe BEV.

Komercialna vozila s pogonom na zemeljski plin tudi do leta 2026 ne bodo igrala večje vloge. Dodatnih stroškov nakupa ali konverzije se ne more amortizirati, ali pa je to mogoče šele po zelo dolgem času zaradi nižje letne kilometrine v primerjavi s težjimi vlačilci. Cene zemeljskega plina prav tako igrajo pomembno vlogo kot dejavnik negotovosti, zato je pričakovano zmanjšanje tržnega deleža na manj kot 2% do leta 2026. Pri preučevanju tržnih deležev je treba upoštevati, da je le približno 60 % trga srednje-težkih tovornih vozil primerno za alternativne pogonske sisteme, ker ima 40% vozil posebne funkcije, na primer so, tovornjaki z žerjavom, mešalniki betona ali gasilci, od katerih vsi potrebujejo moč agregatov za operacijo opreme, ki jih alternativni pogonski sistemi še ne morejo zagotoviti. Če bi se kvota prilagodila tako, da bi bila takšna vozila izključena, bi bil delež alternativnih pogonskih sistemov 30%.

Total market in 2026



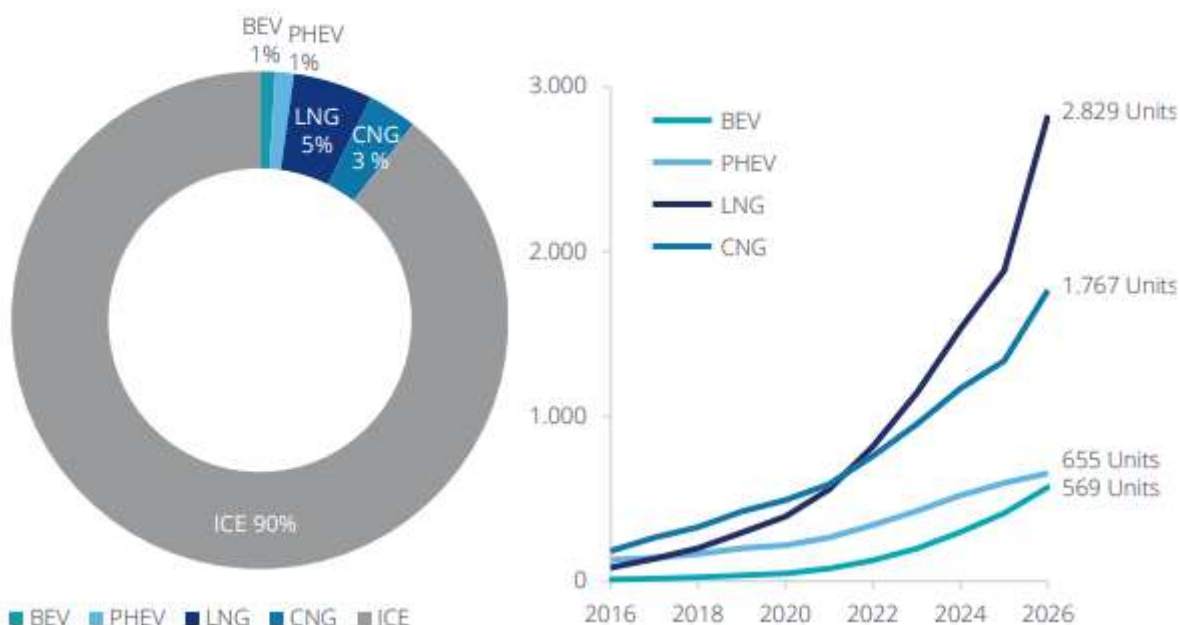
Slika 92: Struktura trga srednje-težkih tovornih vozil (do 15t največje dovoljene mase) v letu 2026 (levo) in trend rasti alternativnih pogonov v času 2016 – 2026 (desno)

5.2.3.5 Vlačilci

V segmentu vlačilcev bo imelo do leta 2026 po ocenah Deloitte-a alternativne pogonske sisteme le približno 10% novih vozil [128]. Infrastruktura polnjenja in kapacitete baterijskih sistemov se v tem obdobju še ne bodo dovolj razvila za uporabo na dolgih oddaljenih poteh – za katere se običajno uporabljajo vlačilci. Zaradi velikega deleža stroškov goriva v skupnih stroških lastništva so prednosti na področju potrošnje goriva odločilne za ekonomiko vlačilcev. Vozila na zemeljski plin so dražja za nakup, a hitro upravičijo nakup saj imajo kar 40% nižje stroške v porabi goriva v primerjavi z dizelskimi motorji. Pri ocenah tehnologije je potrebno razlikovati med CNG (stisnjen

zemeljski plin) in LNG (utekočinjeni naftni plin), ker je gostota shranjevanja energije LNG višja od CNG za faktor tri. Pogoni CNG se zato pogosto uporabljajo v prometu na kratkih razdaljah / srednjih razdaljah, a LNG ima očitno prednost pri prevozi na dolge razdalje. Kljub prednostim pa je uporaba LNG vozil omejena zaradi pomanjkanja nacionalnih mrež polnilnih postaj. Trenutno jih večinoma najdemo v obstoječih infrastrukturah utekočinjenega naftnega plina, kot so pristanišča ali rafinerije. V vsakem primeru pa kljub potencialu vozila na zemeljski plin še vedno oddajajo izpuste v ozračje. Trenutno najbolj smiselne tehnologije, ki lahko zagotovijo vlačilcem pogon brez emisij predstavljajo električni baterijski pogoni ter gorivne celice na vodik. Čeprav je prihodnost polnilnih tehnologij na področju težkih tovornih vozil, kjer bo zagotovo potrebno izjemno hitro polnjenje, težko napovedati, so poleg polnilnic na počivališčih kot potencialne tudi izmenljivi baterijski paketi ter tudi induktivno polnjenje na posebnih pasovih cest oziroma tudi polnjenje preko nadzemnih vodov. Vse to seveda zahteva množične investicije v infrastrukturo in poenotenje standardov preko celotnih kontinentov.

Total market in 2026



Slika 93: Struktura trga težkih tovornih vozil (nad 15t največje dovoljene mase) v letu 2026 (levo) in trend rasti alternativnih pogonov v času 2016 – 2026 (desno)

Nadaljevanje uspeha tehnologije pogonov na zemeljski plin je kritično odvisno od širitve omrežja za oskrbo, trajnih znižanj davka na energijo in nadaljnjih izboljšav učinkovitosti, zmogljivosti in ekonomije obsega. Predvideni pogoji ostajajo ugodni tudi za prihodnost, zato lahko na primer pričakujemo, da bodo do leta 2026 vozila s pogonom na zemeljski plin predstavljala skoraj 80% težkih tovornih vozil v Nemčiji. Hibridna vozila so tudi zanimiva opcija in lahko ustvarijo znatne prihranke goriva pri dodajanju električnega pogona v trenutkih večjih obremenitev (zato imajo lahko tovornjaki manj zmogljive in bolj optimizirane motorje z notranjim izgorevanjem). Žal se takšen režim vožnje (večje obremenitve) v voznem ciklu na dolge razdalje pojavi preredko, da bi upravičil dodatne fiksne stroške dodatnega pogonskega sistema. S takšnimi pomanjkljivostmi tržni potencial hibridnih pogonov ostaja zelo nizek do leta 2026. Električni vlačilci na baterije se

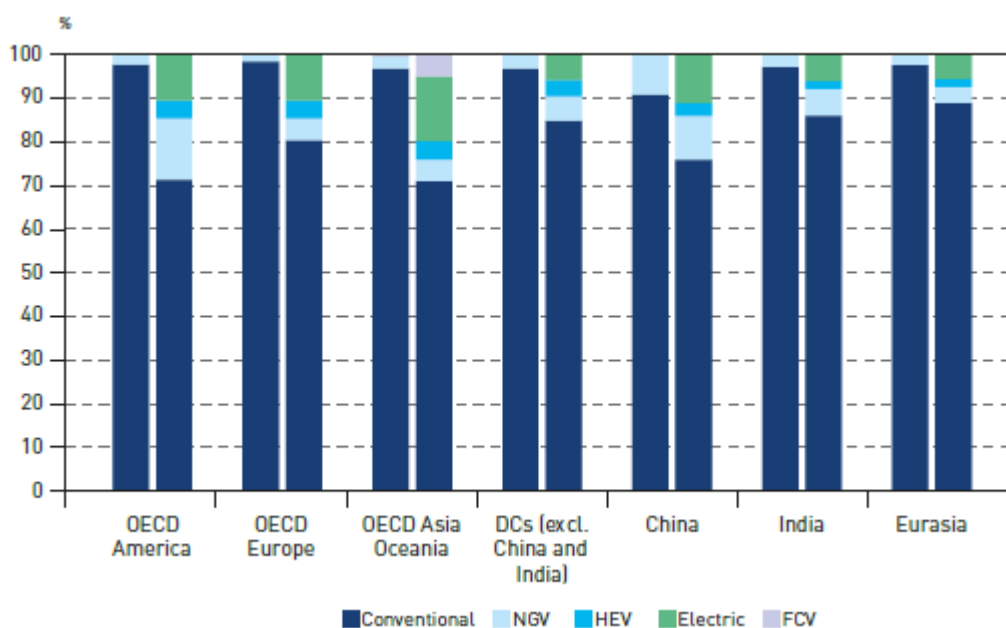
ekonomsko težko upravičijo pri prevozu na dolge razdalje, tudi pri napredni tehnologiji baterij, saj ima večina še vedno omejeno hitrost polnjenja kar omejuje neprekinjeno delovanje vlačilcev.

5.2.3.6 Pogonske tehnologije in gibanje ocenjenega deleža v gospodarskih vozilih

Izziv za proizvajalce osebnih avtomobilov in s tem proizvajalce pogonskih sistemov za osebna vozila je širok razpon zahtev po električni moči, ki jo povzročata pogosto pospeševanje in zaviranje ter bistveno spremenljiva hitrost na širokem območju. Razvoj moči motorja za osnovno vozilo se lahko giblje med 10 kilovatov (kW) in 100 kW ali celo več pri velikih športnih terencih (SUV) in limuzinah. Eden od razlogov je, da so v smislu moči motorja osebna vozila običajno prekomerno opremljena z namenom, da lastniku avtomobila zagotovijo priročno izkušnjo vožnje. Po drugi strani je bolje, da motorji delujejo v stacionarni delovni točki (in moči), da bi dosegli čim večji izkoristek goriva. Hibridizacija je logična strategija za doseg tega vedenja: če vozilo zahteva le malo mehanske moči, potem motor obenem poganja še generator, da polni baterijo. Posledično motor z izgorevanjem ohranja značilnosti zelo učinkovitega stacionarnega termičnega motorja. Vendar pa vozniška izkušnja ni ključni kriterij v primeru gospodarskih/tovornih vozil.

Vodja flote je preprosto dolžan kupiti ustrezno opremljen tovornjak ali kombi. Posledično še posebej velika gospodarska vozila, kot so npr. tovornjaki za transport na dolge razdalje, uporabljajo ustrezno dimenzioniran motor v bolj ali manj tipskem načinu vožnje (voznem ciklu) in pri relativno stabilni vrednosti proizvedene mehanske moči. Razlika je tipično okoli dvakratnik (tj. Razvoj največje moči ni višji kot dvakratnik povprečne moči, najnižja moč pa ni nižja od polovice povprečne moči). To je zelo primerljivo s stacionarnim motorjem na notranje izgorevanje. Zato je v splošnem lažje optimizirati učinkovitost porabe goriva večine gospodarskih vozil. Izjeme zajemajo aplikacije s pogostimi speljevanji in zaustavitvami, kot so mestni avtobusi ali dostavna vozila na kratkih razdaljah. Zaradi tega so bili težki dizelski motorji gospodarskih vozil najučinkovitejši med vsemi v cestnem prometu. Posledično je predvidevanje, da bodo upravljavci voznih parkov v glavnem iskali cenejša alternativna goriva namesto novih pogonskih tehnologij (menjava je cenovno zelo zahtevna). Zemeljski plin je morda najboljša izbira.

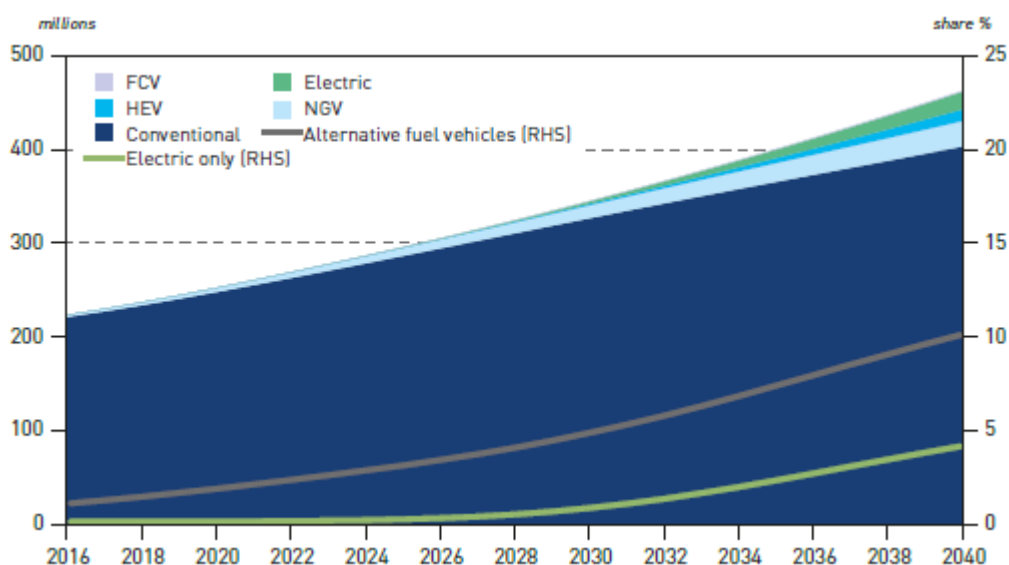
Konvencionalni pogoni na naftne derivate (s še povečanim izkoristkom) bodo torej zelo verjetno imeli prevladujoči delež prodaje vozil tudi še leta 2040, kot kaže Slika 94. V trenutnem obdobju (leta 2016) le na Kitajskem znatni delež novih komercialnih vozil predstavlja pogon na zemeljski plin (VZP) - približno 9%. V vseh drugih regijah po ocenah OPEC-a delež nekonvencionalnih pogonov danes znaša največ 3%.



Slika 94: Struktura prodaje gospodarskih vozil po tehnologiji pogona, v letu 2016 (levi stolpec v nizu) in v letu 2040 (desni stolpec v nizu)

Slika 94 kaže tudi, da se bo v prihodnje - do leta 2040 - delež prodaje gospodarskih vozil verjetno občutno spremenil v veliko bolj razgibanega. Vozila na pogon na zemeljski plin bodo zasedla vse večji delež, približno 14% v Severni Ameriki in okrog 5-6% v Evropi, razvitem delu Azije in Oceanije, državah v razvoju (brez Kitajske) in Indiji. Kitajska ima potencial, da poveča delež gospodarskih VZP s približno 9,1% na 10%. Hibridna električna gospodarska vozila so trenutno le relativno majhen segment, tudi leta 2040 bodo še vedno le niša, ki dopolnjuje predvsem bencinska komercialna vozila za izboljšanje učinkovitosti porabe goriva in za povrnitev zavorne moči pri mestnih in dostavnih vozilih.

Električna gospodarska vozila, ki vključujejo BEV in PHEV, bodo predvidoma predstavljala pomemben delež flote v letu 2040, večinoma v Severni Ameriki in Evropi, približno v enakem razmerju (10% delež vsakega tipa pogona), na Kitajskem pa okoli 11%. Največja razširjenost se pričakuje v razvitem delu Azije in Oceanije, s skoraj 15% tržnim deležem. Električna gospodarska vozila bodo večinoma kratih dolžin, predvsem mestna vozila, ki poleg boljše učinkovitosti porabe goriva lahko izkoristijo tudi ničelne emisije in skoraj tiho delovanje – kar bo vse bolj pomembno v gosto naseljenih območjih. Tako kot pri osebnih avtomobilih je predvideno, da bodo gospodarska vozila z gorivnimi celicami igrala pomembno vlogo le v razvitih državah Azije in Oceanije s pričakovanim maksimalnim 5-odstotnim deležem prodaje, medtem ko je v preostalih regijah njihov delež omejen na borih 0,1%.



Slika 95: Sestava voznega parka gospodarskih vozil po tipu pogonskega sistema med leti 2016 in 2040. NGV = vozila na zemeljski plin. FCV – vozila na vodikove gorivne celice. Electric – vozila PHEV in BEV.

Ker ni pričakovano, da bi se prodaja gospodarskih vozil diverzificirala v enakem obsegu in tako hitro kot osebna vozila, in ker bodo države v razvoju, ki počasi sprejemajo nove tehnologije (razen Kitajske in Indije) absorbirale več kot tretjino prodajo globalnih vozil, se bo celotna sestava flote po pogonskih sistemih v obdobju do leta 2040 spremenila veliko manj, kot pa pri osebnih avtomobilih. Slika 95 prikazuje ocenjeno sestavo flote komercialnih vozil od leta 2016-2040.

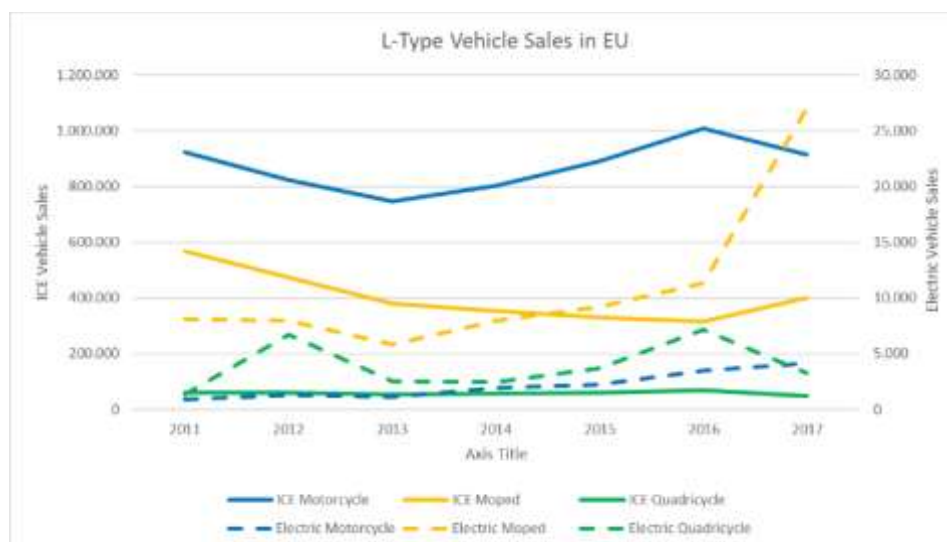
Slika jasno predvideva, da je daleč največji delež voznega parka sestavljen iz običajnih vozil z več kot 220 milijoni v uporabi v letu 2016 in več kot 400 milijonov vozil v uporabi v letu 2040. Upočasnitve pri rasti števila vozil s pogoni na naftne derivate do leta 2040 po ocenah OPEC-a praktično ne bo zaznati. Električni in hibridni pogoni naj bi, predvidoma, začeli zavzemati pomemben delež v sestavi flote šele po letu 2030 in do leta 2040 lahko dosežejo približno 31 milijonov vozil, medtem ko so pogoni na vodik skoraj nevidni v svetovnem merilu z manj kot 1 milijonom vozil v 2040. Do leta 2025 naj bi samo gospodarska vozila na zemeljski plin predstavljala znaten in naraščajoč delež, pri čemer lahko dosežejo približno 27 milijonov vozil v skupnem voznem parku do leta 2040. Skupaj so v letu 2016 vsa vozila z alternativnimi pogonskimi sistemi predstavljala manj kot 1% voznega parka, kar pa naj bi se povečalo na približno 10% voznega parka v letu 2040. Pričakovano je, da bo takrat le okoli 4% gospodarskih vozil električnih.

5.2.4 Ostala vozila (Dvokolesniki in druga lahka vozila, itn..)

5.2.4.1 Lahka električna vozila

Lahka električna vozila, ki spadajo v kategorijo počasnejših vozil, ki niso primerna za višje hitrosti ter dvokolesniki, v svetu trenutno prednjačijo po številu vseh enot v uporabi z več kot 230 milijoni vozil v uporabi. V tem segmentu ni podatkov o pogonih na vodik.

Evropski trg lažjih električnih vozil, ki zajema motocikle, mopede in štirikolesnike, zadnja let zaznamuje rast. Kot prikazuje Slika 96, so k rasti, še posebej v letu 2017, prispevali predvsem mopedi [129]. Celoten vozni park vozil tipa L (lahka električna vozila) je v zadnjih letih izredno stabilen in se giblje v vrednosti 11,5 milijona mopederov in 23 milijonov motociklov [130].



Slika 96: Prodaja lahkih vozil in delež električnih lahkih vozil v tem desetletju (2010-17)

Za trenutno največji trg lahkih električnih vozil, električne mopede, študija EBWR [131] predvideva naglo rast števila prodaje teh vozil – v letu 2015 je bilo na svetu prodanih nekaj več kot 0.5 milijona električnih mopederov, v letu 2035 pa je pričakovana letna prodaja kar 11 milijonov. Vloga evropskega trga ter trgov jugo-vzhodne Azije se bo v prihodnosti bistveno povečala – danes je največje število prodanih električnih mopederov na Kitajskem, pri čemer naj bi v letu 2035 Kitajski trg predstavljal le še 50% globalne prodaje, kar 0.5 milijona električnih mopederov pa naj bi se prodalo v Evropi.

5.2.5 Identifikacija dejavnikov in vpliv na Slovenijo

Spodaj so navedeni dejavniki, ki vplivajo na prodor različnih pogonskih tehnologij. V prvi vrsti so navedeni dejavniki, ki prodor pospešujejo, v drugem delu pa navedene ovire, ki ga zavirajo.

5.2.5.1 Strošek vozila

- Lokacija proizvodnje vozil in verige dobaviteljev (ki vplivajo na strošek proizvodnje)
- Razvoj novih proizvodnih tehnologij (ki vplivajo na strošek proizvodnje) in konceptov
- Razvoj novih materialov (kompoziti, baterijski elementi, itn...)
- Razvoj in kvaliteta vozil glede na njihov celotni življenjski cikel

5.2.5.2 Stroški energentov in izpustov CO₂

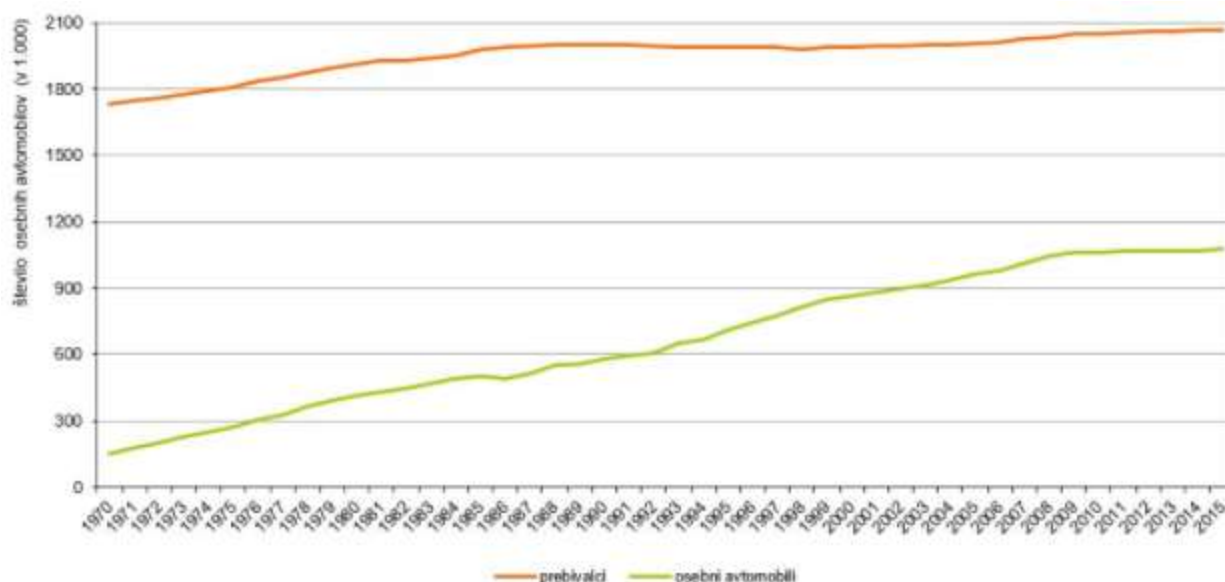
Stroški energentov (tudi električne energije iz obnovljivih virov) na trgu bodo podvrženi razmeram na trgu (povpraševanju in sposobnosti dobave). Cena nafte naj bi se glede na današnje stanje zvišala a še vedno na dolgi rok ostala nizka.

Stroški izpustov CO₂ na tono naj bo se podvojili do leta 2050, torej bi penalizirali umazano proizvodnjo energije (kar lahko povzroči tudi podražitev električne energije, ki je proizvedena iz čistejših virov).

Za Slovenijo ne ocenjujemo posebnosti, saj bo obstoječe razmerje proizvodnje energije verjetno še nekaj časa aktualno, spremembe so verjetno bolj v drugi polovici stoletja, zato je predvidena podražitev električne energije v prihodnosti.

5.2.5.3 Splošno povečanje prebivalstva in zmerno (trendno) povečanje učinkovitosti

V Sloveniji je predvidena minimalna rast števila prebivalstva, torej bo rast osebne prometa omejena, in po naših ocenah bo po zgodovinskih trendih povečanje učinkovitosti vozil pretežno večje kot pa povečanje števila vozil oz. prevoženih kilometrov za osebni transport. Predvideno je povečanje tovornega cestnega transporta, ki bo prav tako izkazoval vsaj 25 % povišanje učinkovitosti izrabe energije, pri čemer je velika verjetnost, da se bo del cestnega prometa preusmeril na železniški promet. Že sedaj pa je število osebnih avtomobilov zelo ustaljeno glede na število prebivalcev.



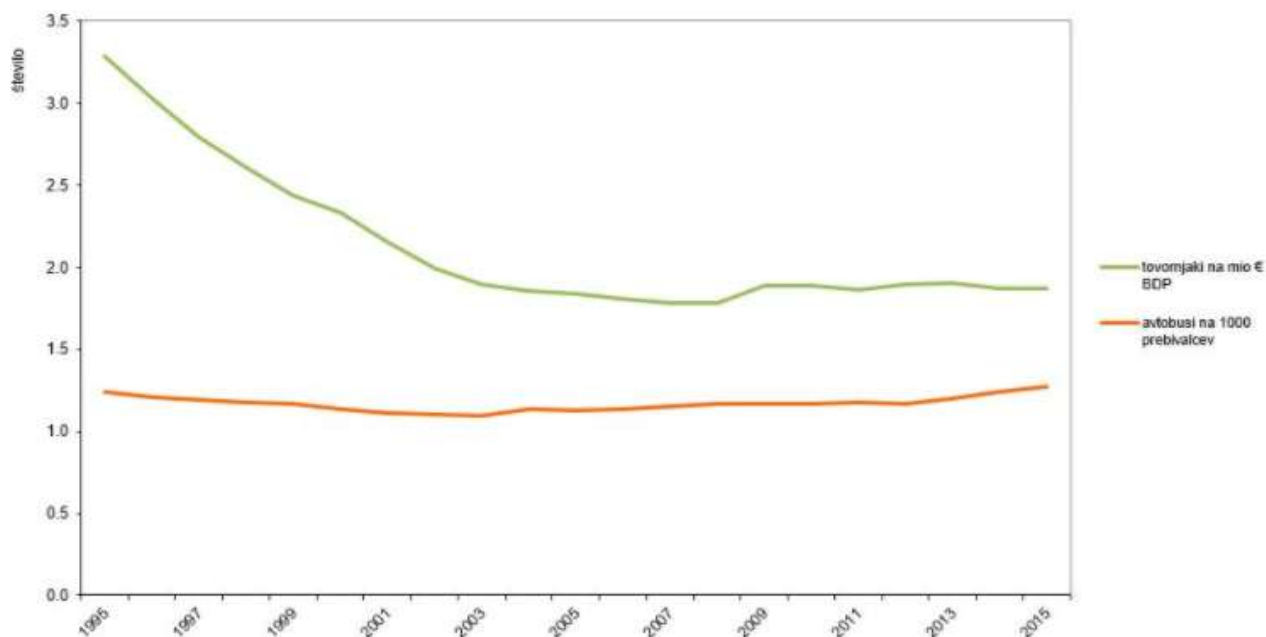
Vir: Statistični urad R.S. 2016.

Slika 97: Število osebnih vozil v primerjavi s številom prebivalcev v Sloveniji od leta 1970 do 2015.

5.2.5.4 Urbanizacija in zmanjšanje potrebe po osebnih vozilih zaradi povečanja deleža javnega transporta ter novih oblik urbane mobilnosti

Po trendih v Sloveniji je za predvidevati, da bo število avtobusov (in s tem posredno tudi vloga tudi javnega prevoza) naraščala, delno pa jo bodo zamenjale nove oblike mobilnosti, vendar šele kasneje v prihodnosti, saj Slovenija tradicionalno zaradi relativno manj gosto poseljenih mest in neobstoja velikih mestnih središč ne izkazuje dovolj nujne potrebe po bolj izraženih novih konceptih.

Mesta, kjer naj bi v letu 2050 živel 80 % prebivalstva, bodo obenem vpeljala tudi bolj stroge omejitve emisij in trdih delcev. Zakoni za omejevanje emisij CO₂ bodo zagotovo postali bolj strogi, kar bo vplivalo različno na različne tipe urbanih območij. V Sloveniji bo le deloma pomenilo izboljšanje javnega prometa, tudi individualizacijo le-tega zaradi manjše gostote migracij znotraj mesta in dostopnosti alternativnih oblik prevoza (npr. kolo). V tujini pa bo poudarek tudi na splošni infrastrukturi javnega transporta, najsi bo na cesti ali po tirih. Vedno več samovozečih vozil je za pričakovati, saj je vožnja v mestih poklic z nizko dodano vrednostjo. A do te stopnje varne vožnje v tako kompleksnih okoljih je še dolga pot.



Vir: Statistični urad RS, 2016

Slika 98: Število tovornjakov glede na BDP in število avtobusov glede na število prebivalcev Slovenije.

5.2.5.5 Sprememba mestne infrastrukture in večje vlaganje v alternativne oblike transporta, ki razbremenijo cestni promet v urbanih okoljih

Gostota prebivalstva v mestih v povezavi s povprečno stopnjo prihodka

- a) **Gosto poseljena, hitro rastoča urbana središča. Nižja stopnja prihodka.** Avtonomna vozila se v gosto-poseljenih, razvijajočih se mestih uveljavijo bistveno počasneje kot je predvideno, saj je cilj javnih institucij tudi vzdrževanje visoke stopnje zaposlenosti. Zaradi različnih načinov decentralizirane proizvodnje energije v razvijajočih se mestih se poveča delež električnih vozil na približno 40 % v letu 2030 [132], [133]. Obenem se ojača tudi stopnja cenovno-ugodnih oblik transporta po mestih, kot so deljena mobilnost in vse večje stopnje kapacitet javnega prevoza. Do 2030 bi lahko deljena mobilnost prepeljala tretjino vseh prevoženih kilometrov v razvijajočih se in gosto poseljenih mestih.
- b) **Redkeje poseljena, že razvita urbana središča.** Zmerna in visoka stopnja prihodka. Kjer je že danes visoka stopnja vožnje z lastnimi vozili (manj gosto poseljena mesta v razvitih državah), je pričakovano, da bo še vedno visoka stopnja potovanj v lastnih

vozilih. Delež avtonomnih vozil v voznem parku bo prevladoval, saj ljudje v manj gosto poseljenih urbanih območjih preživijo veliko časa na poti in migraciji na in z dela. Večina teh vozil bo električnih. Veliko bo tudi deljenja prevozov, kar bo pozitivno vplivalo na mobilnost mlajših ter starejših občanov, kar pomeni da bo število prevoženih kilometrov dejansko naraslo, lahko celo za dobro četrtino do leta 2030 glede na leto 2017 [132], [133]. Obenem se bo znotraj mest razvil tudi visoko učinkovit javni transport predvsem na glavnih mestnih vpadnicah. **Ta primer je lahko najbolj značilen za Slovenijo, čeprav bo najverjetneje nižji povprečen prihodek glede na evropsko povprečje do neke mere omejil hitrost sprememb in rang velikosti potrebnih investicij.**

- c) **Gosto poseljena, že razvita urbana središča.** Visoka stopnja prihodka. Visoka kvaliteta javnega prevoza je v bogatih, gosto-poseljenih urbanih okoljih ključna. Prebivalci teh mest bodo dopolnjevali javni prevoz z lastništvom vozil, ki so redkeje uporabljana ali pa z deljenjem prevozov. Deljeni prevozi bodo v veliki meri upravljani v flotah kot dopolnitev javnega prevoza z večjo personalizacijo in izbiro destinacij. Večina teh prevozov bo z avtonomnimi vozili, ki bodo v veliki meri električna zaradi ekonomičnosti. Število prepotovanih kilometrov se bo povečalo za do 30 % v letu 2030 [132], [133], pri čemer je potrebno tovrstni promet dopolniti z ustreznimi drugimi načini prevoza, saj bo povečana mobilnost prebivalstva sicer povzročila večje gneče na mestnem cestnem omrežju. Zato je pričakovan več-modalni princip javnega transporta, kjer bodo ključno vlogo igrale platforme integrirane mobilnosti, saj bodo prevoze lahko planirale najbolj učinkovito glede na množico podatkov, ki jo bodo vsa vozila generirala in sporočala centrali. Javni prevoz se bo z izboljšanim in bolj pogostim delovanjem vključil v ta sistem. S porastom flot avtonomnih vozil se bo lahko spremenila tudi politika načrtovanja mest (urbanizem) in vse manj prostora v mestih bo na voljo parkirnim prostorom – sedanja pa bodo dobila novo namembnost.

5.2.5.6 Politike držav in vlad z zavezami za umik ovir pri povečevanju deleža električnih vozil

V trenutni fazi prodora električnih vozil ter vozil na vodik je podporna politika na nacionalnem nivoju (v svetu in v Sloveniji) še vedno nepogrešljivo pomemben dejavnik za odpravljanje ovir za povečan prodor tovrstnih tehnologij v vsakdanjo uporabo. Podporno okolje je izredno pomembno za tržno rast, saj vozila naredi privlačnejša potrošnikom, obenem pa tovrstne zaveze spodbujajo investitorje ter proizvajalce, da razvijajo velikopotezne poslovne modele, ki gradijo in spodbujajo prodor in uporabo električnih vozil ter vozil na vodik. Ključno za rast prodaje vozil je prav čim večja možnost izbire med različnimi modeli in vrstami pogonov vozil. Politika držav na nacionalni ravni se kaže predvsem v sledečih oblikah: podpora raziskavam in razvoju inovativnih tehnologij; zaveze k doseganju zastavljenih ciljev na področjih vpeljave novih tehnologij v vozila, oblikovani mandati za izvedbo aktivnosti na tem področju ter podporna zakonodaja; finančne spodbude; različni instrumenti, ki omogočajo predvsem mestnim občinam da delujejo v smeri povečanja prednosti uporabe električnih vozil ali vozil na vodik.

5.2.5.7 Poslovni cilji velikih proizvajalcev se usmerijo v povečanje ponudbe električnih vozil ali vozil na vodik

Do vključno aprila meseca 2017 se je vsaj 9 večjih proizvajalcev vozil zavezalo k povečanju ponudbe električnih vozil v naslednjem desetletju. Zastavili so si tudi ambiciozne prodajne cilje. Dodatno je potrebno izpostaviti tudi še dodatne zaveze mnogih kitajskih proizvajalcev, ki imajo trenutno največji trg električnih vozil na svetu, da bistveno povečajo proizvodnjo le-teh.

5.2.5.8 Staranje prebivalstva

Za slovenijo še toliko bolj pomemben faktor bo vplival predvsem na potrebe po javnem prevozu oziroma potrebi po samovozečih avtomobilih. Glede na minimalno uporabo tovrstnih vozil in prevozov s strani starejših je smiselno predvidevati, da bodo tovrstna vozila del flot in deljena med več uporabniki/na klic.

5.2.5.9 Dostopnost in izbira baterijskih električnih vozil večja

Izbira električnih vozil bo vedno večja, kar potrjujejo napovedi modelov velikih proizvajalcev. Ta vozila bodo tudi vedno bolj dostopna in enako bo v Sloveniji.

5.2.5.10 Večina vozil, ki omogoča avtonomno vožnjo, je električnih.

Velika verjetnost je, in študije ter izkušnje iz gospodarstva to potrjujejo, da bo električni pogon v 80 % avtonomnih vozil ključna tehnologija. Seveda ob primernih načinih avtonomnega polnjenja, in primerni infrastrukturi. V Sloveniji ocenjujemo uporabo avtonomnih vozil izven flot in bolj v smeri individualnega lastništva. Težko je oceniti v kolikšnem obsegu se bo tehnologija uveljavila. Glede na stopnjo motorizacije ter števila delavcev, ki dnevno migrirajo na delo z lastnim avtomobilom je verjetnost razširitve vsaj delno avtonomnih vozil velika, v primeru, da ta postanejo cenovno dostopna glede na standard države.

5.2.5.11 Delež lastništva vozil se zmanjša

Po navedbah nekaterih študij naj bi se rast števila osebnih avtomobilov ustavila leta 2030 in potem pričela upadati, predvsem na račun urbanizacije in vse večje prisotnosti različnih oblik mobilnosti kot storitve ter avtonomnih vozil.

Avtorji te študije ocenjujejo, da to velja v razvitih državah, pri čemer za del sveta, kjer poteka še velik razvoj, teh tehnologij ne bo tako hitro ponotranjil, saj so povezana tudi z ekonomskim stanjem tako države v svetu kot njenih prebivalcev.

5.2.5.12 Pomanjkanje oz. neustreznost infrastrukture na povečan prodor vozil na električni ali vodikov pogon

Ker število vozil, ki zahtevajo polnjenje z električno energijo, raste, predvidevanja kažejo, da bo infrastruktura za polnjenje velik faktor za prodor vozil z novimi pogonskimi tehnologijami.

5.2.5.13 Pomanjkanje poenotenih standardov za uspešno adopcijo pri različnih proizvajalcih

5.2.5.14 Dobavljivost ter cene surovin, ki so potrebne za vir energije vozil

Potreba po materialih, kot je litij in kobalt se bo drastično povečala z vse večjim prodorom baterijskih vozil. To bo pomenilo veliko izzivov na področju razumevanja distribucije ter dostopnosti teh materialov, pri čemer je potrebno vseskozi paziti na tveganja, ki jih povečan prodor vozil predstavlja. Ta so npr. že sama dostopnost teh materialov predvsem pa tudi kako

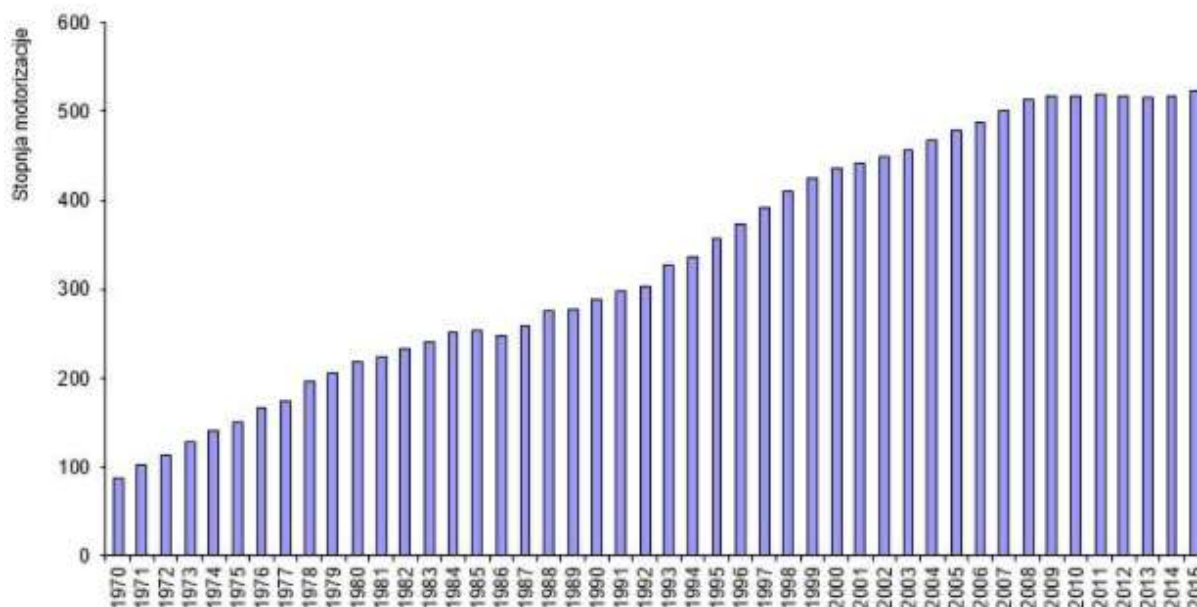
pridobivanje in predelava teh surovin vpliva na okolje. Pomemben del trajnosti in podpore širšemu prodoru vozil z novimi tehnologijami bo tudi reciklaža oziroma ponovna uporaba energijskih virov, ko ne bodo več uporabni v osnovni aplikaciji v vozilu.

5.2.5.15 Stopnja motorizacije

Stopnja motorizacije v svetu je ključni faktor za rast prodaje in skupnega števila osebnih vozil v voznem parku. Ta je seveda v razvitih državah že dokaj ustaljena in ne narašča več bistveno, medtem ko v manj razvitih državah in državah v razvoju le-ta strmo narašča in tovrstno naraščanje je predvideno tudi že do konca stoletja.

V Sloveniji ni predvidena bistvena rast, saj se je ta že dokaj ustalila in z večjo stopnjo urbanizacije ima dober potencial da se zmanjša. Svetovno povprečje razvitih držav je nekaj čez 600 avtomobilov/1000 prebivalcev [95], Slovenija pa je že nad EU15 povprečjem, in skoraj enako kot Nemčija in Avstrija.

Slika PR11-2: Stopnja motorizacije (število osebnih avtomobilov/1000 prebivalcev), Slovenija, 1970-2015



Vir: Statistični urad RS, 2016

Slika 99: Stopnja motorizacije v Sloveniji med leti 1970 in 2015. Od leta 2008 se beleži le minimalna rast, ki se zaradi izboljšane ekonomske situacije lahko še nekaj let nadaljuje, vendar v manjšem obsegu.

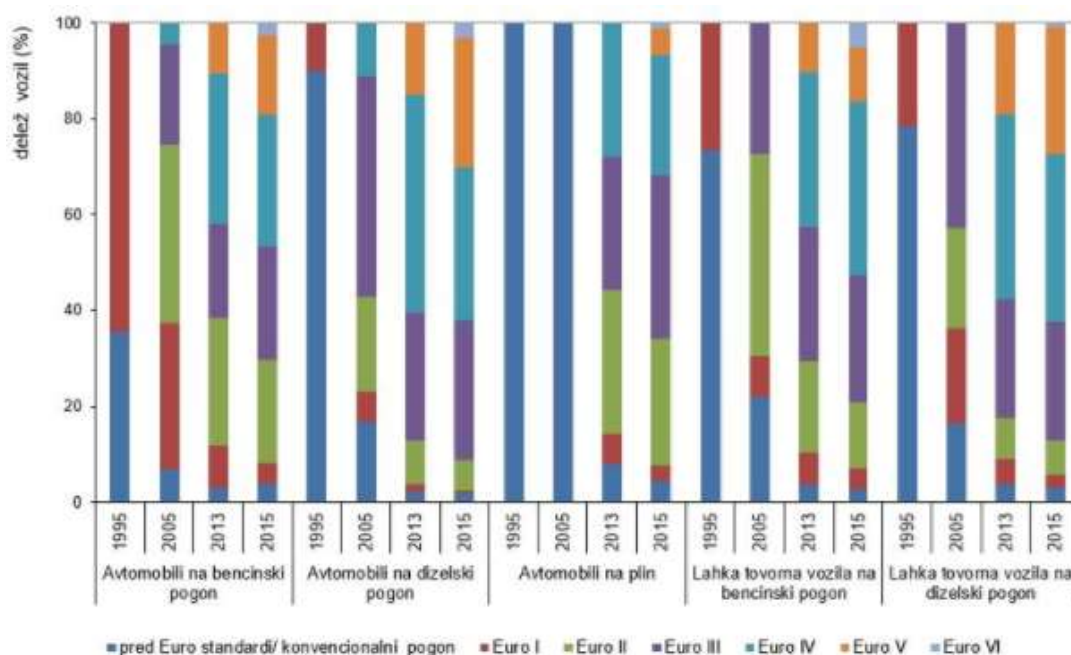
5.2.6 Delež vozil po tipu pogona v Sloveniji

V Sloveniji v letu 2015 beležimo nekaj več kot 40 % vseh osebnih vozil z dizelskim pogonom, pri čemer je velika večina vozil z motorji na notranje izgorevanje. Manjši delež vozil predstavljajo vozila predelana na pogon na stisnjen ali utekočinjen zemeljski plin, še vedno prevladujejo bencinski motorji. Pred sedmimi leti (2011) je bilo v Sloveniji registriranih manj kot 10 električnih avtov, danes (začetek 2018) jih je skoraj 600.

Tabela 48: Podatki o deležu vozil po pogonu v Sloveniji za leto 2016 (zadnji podatki na voljo)

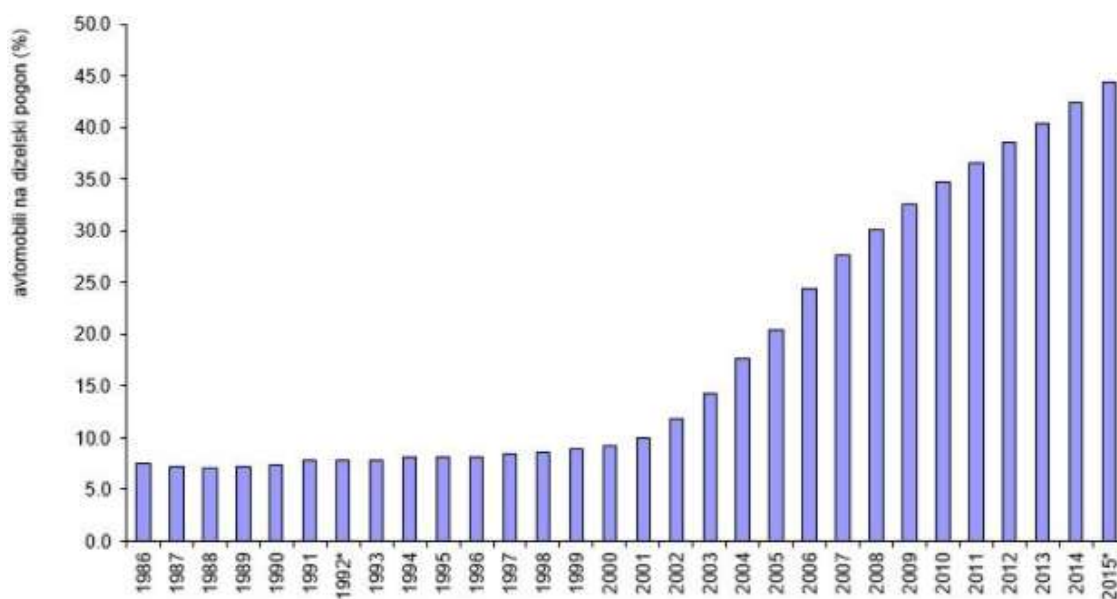
Tip pogona	2016 - absolutno	2016 – delež [%]
Električni pogon	457	0,042
Bencin	583837	53,27
Dizel, biodizel in komb., nafta, plinsko olje	500659	45,68
Utekočinjen naftni plin (LPG) in komb. z bencinom in dizlom	9422	0,86
Stisnjen zemeljski plin (CNG) in komb. z bencinom	156	0,014
Hibridni pogon	1909	0,17
Drugo	83	0,0076

Električni pogon pa postaja tudi osrednji del strategije držav, ki morajo prav tako slediti s strani Evropske unije sprejetim direktivam glede zniževanja toplogrednih plinov. Če bi Slovenija želela slediti tej direktivi, bi morali delež električnih avtomobilov med vsemi novo prodanimi osebnimi vozili z današnjega dobrega pol odstotka do leta 2030 dvigniti na okrog 33 odstotkov. Če bi želeli do leta 2030 ujeti evropska merila, omenjena strategija po idealnem scenariju predvideva spremembe deležev vozil po posameznih pogonskih energentih. Število vozil z bencinskim motorjem bi se moralo prepoloviti. Približno enako število vozil bi še naprej poganjal dizelski motor, po cestah pa bi morale voziti že 130 tisoč električnih avtomobilov. To bi predstavljalo že 10 odstotkov vseh registriranih vozil v Sloveniji, vsak deseti avtomobil na cesti bi torej že bil električni.



Vir: Evidenci registriranih motornih in priklopnih vozil v Republiki Sloveniji, Ministrstvo za notranje zadeve, 2015. Evidenca registriranih vozil - presek stanja, Nacionalni interoperabilnostni okvir (NIO), Ministrstvo za infrastrukturo, 2016.

Slika 100: Delež vozil v Sloveniji, ki pripada posameznemu EURO standardu, glede na kategorijo in vrsto pogona, v letih 1995, 2005, 2013 in 2015.



Vir: [Baza motornih vozil, NIO, 2014](#), Statistični urad RS, 2016

*Opombe k preglednici PR11-3: 1-Podatki pred letom 1992 so le ocene.

2- Podatek za leto 2015 je iz drugega vira (SURS)

Slika 101: Delež osebnih avtomobilov na dizelski pogon v Sloveniji med leti 1986 – 2015.

6 Alternativna goriva v prometu

6.1 Tehnološki pregled pogonov vozil

Vozila glede na način pogona ločimo na nekaj kategorij:

- Vozila s pogonom na notranje izgorovanje (ang. Internal Combustion Engine (vehicle), ICE). Ta zajemajo tako tako pogon na bencin, diesel in različne oblike plina (razen plinskih turbin, a takšni pogoni so proi novodobnih avtomobilih silno redki).
- Vozila z električnim pogonom (ang. Electrical Vehicle, EV) Pri teh ločimo baterijska vozila (BEV) in vozila z gorivno celico (ang. Fuel-Cell Electrical Vehicle, FCEV)
- Vozila s hibridnim (kombiniranim) pogonom (ang. Hybrid Electrical Vehicle, HEV), ki kombinirajo električni pogon in pogon z notranjim izgorovanjem. Pri temu je lahko vir elektrike generator v vozilu (klasični hibrid, HEV) ali pa elektrika iz omrežja (priključni hibrid, ang. Plug-in Hybrid Electrical Vehicle, PHEV).

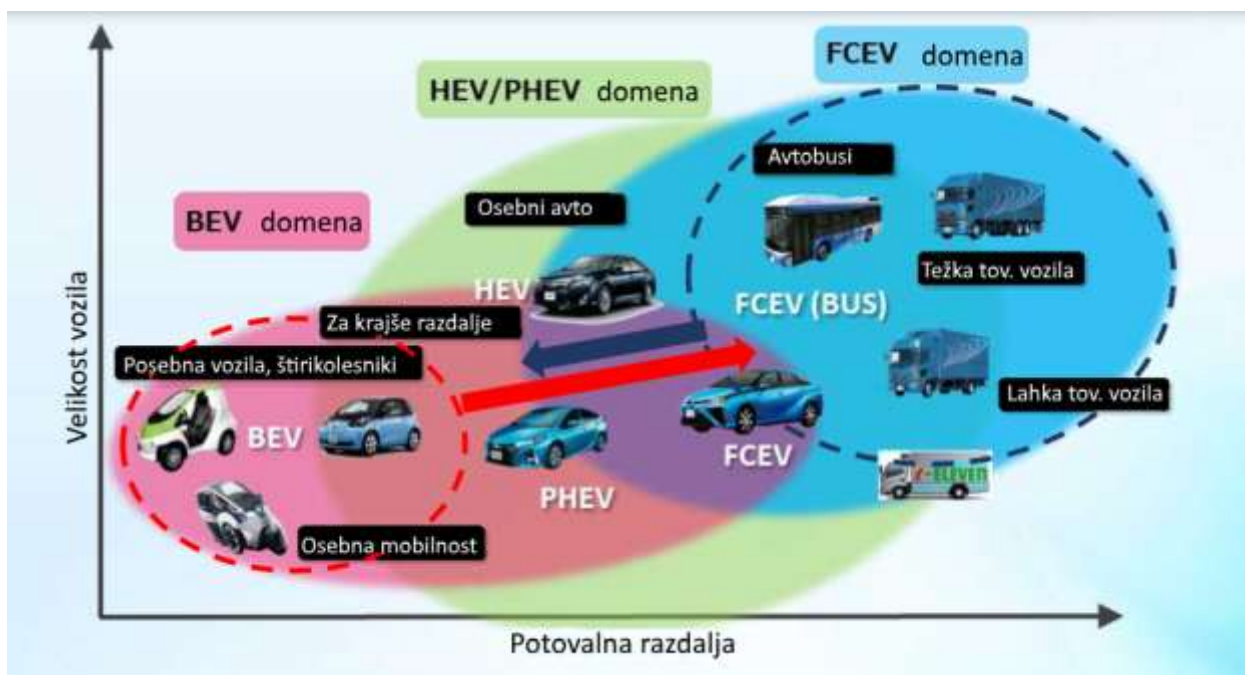
Prav tako je, predvsem v okoljevarstvenem smislu, pomemben tip goriva. Motorji na notranje izgorovanje lahko uporabljajo tako fosilna goriva kot tudi bio- (npr. biodisel, etanol) in sintetična goriva (npr. metan, pridobljen prek vodika iz elektrolize vode z OVE in nato metaniziran). V posebnih izvedbah se lahko kot gorivo uporablja tudi neposredno vodik, ki pa je zaradi svojevrstnih lastnosti (potreba po visokem tlaku in/ali nizka temperatura utekočinjenja) manj privlačen. Tabela 49 povzema lastnosti alternativnih goriv v prometu.

Tabela 49: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij alternativnih goriv

Lastnosti	Podrobno	Opis
Tehnične karakteristike tehnologij	Učinkovitost	Elektrika: 33% pridobivanje, 80-95% koriščenje Zemeljski in naftni plin: do 50% koriščenje Vodik: 60% pridobivanje, 75% koriščenje Metan: 36% pridobivanje, 33% koriščenje
	Tipična velikost	1 kW (baterije) do 1 MW (večji delovni stroji)
	Možnost skaliranja	Da, nekatere tehnologije pridobivanja alternativnih goriv/biogoriv
Ekonomske karakteristike tehnologij	Štrošek investicije	Srednje do velik: 600-2000 €/kW _{el} bio-etanol 200-800 €/kW _{el} biodisel 400 €/ kW _{el} plin
	LCOE	0.4-3 €/kWh _{el}

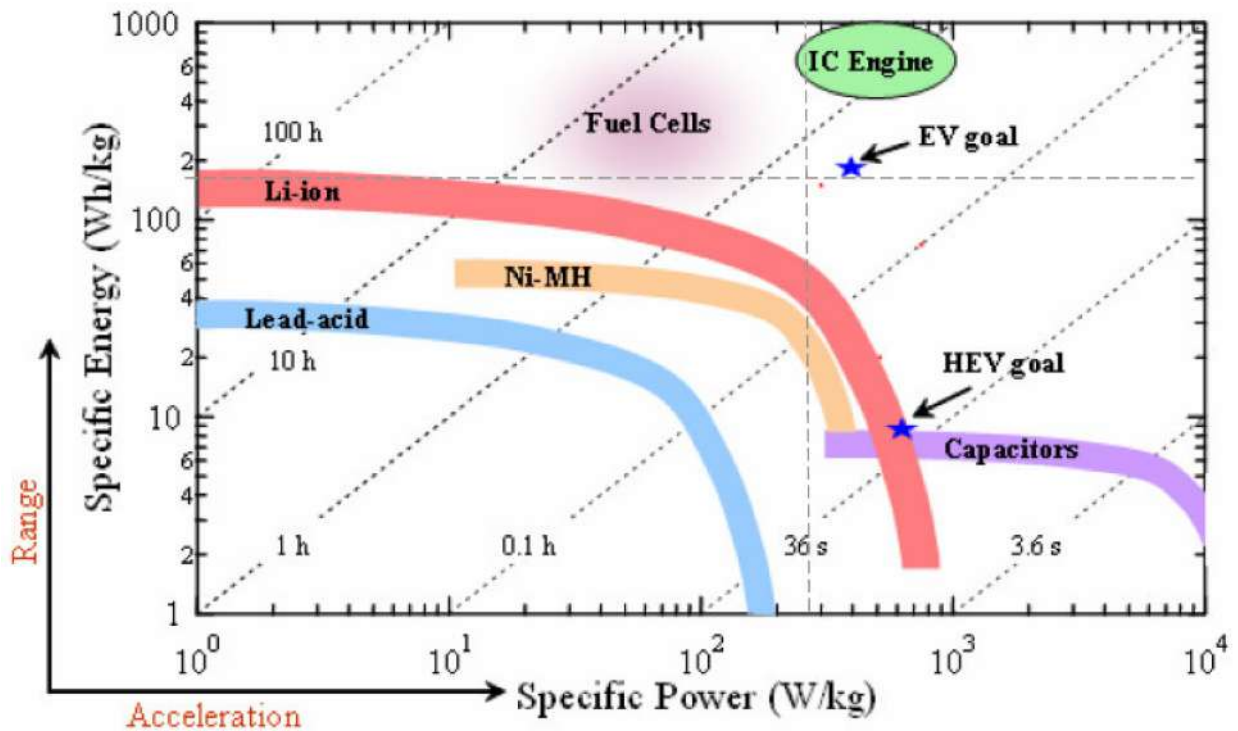
Perspektiva razvoja do leta 2050	Izboljševanje izkoristka in povečevanje deleža biogoriv v prometu, zmanjševanje cene energentov
Ekonomski in tehnični potenciali po sektorjih	Hitro uveljavljanje: Transport Srednje-hitro uveljavljanje: Industrija Počano uvajanje: gospodinjstva
Ključni izzivi do leta 2030	Nižanje cen Povečevanje izkoristka pridobivanja (problem prostora)
Diskusija okoljske karakteristike	Prostor

Proizvajalci vozil uporabljajo različne pogone glede na velikost vozil in potovalno razdaljo. Slika 102 prikazuje videnje Toyote [134], ki deli segmente prihodnjih vozil na baterijske (BEV), hibridne (HEV/PHEV) in vozila z gorivnimi celicami (FCEV).



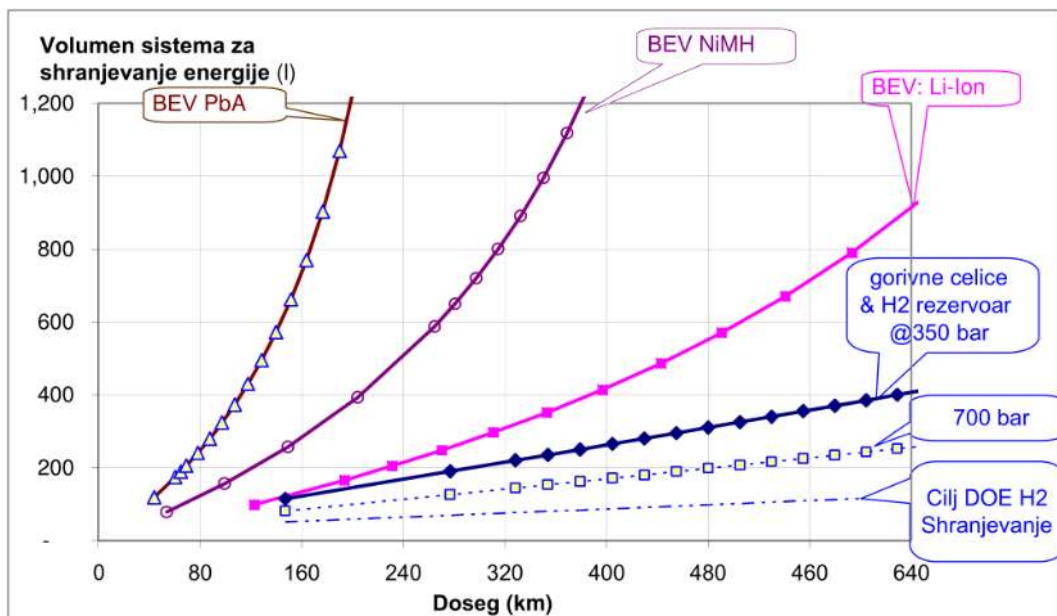
Slika 102: Razdelitev segmentov vozil za pogonske sisteme glede na potovalno razdaljo in velikost vozila

Slika 103 kaže razmerja med specifično težo in prostornino baterijskih tehnologij, pri čemer so vključeni tudi podatki za motorje z notranjim zgorevanjem [135].



Slika 103: Razmerja med specifično težo in prostornino baterijskih tehnologij

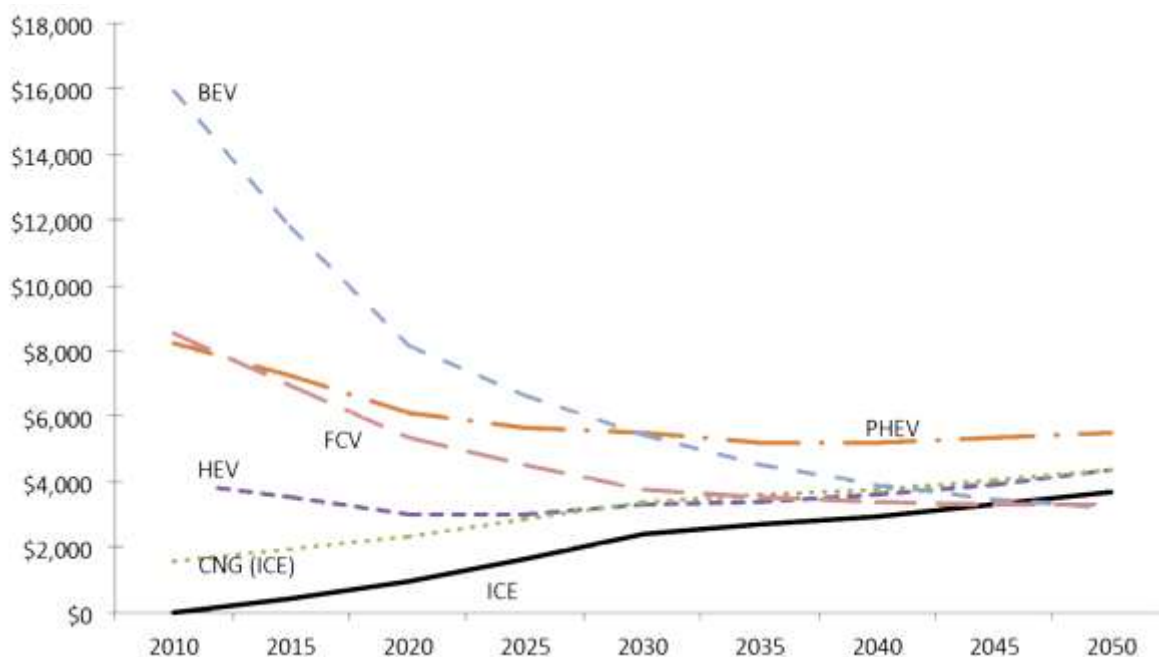
Slika 104 kaže vpliv zelenega dosega na velikost volumna sistema za shranjevanje energije v odvisnosti od tipa pogona [135]. Pri tem je jasno razvidna prednost vodikovih tehnologij napram baterijskim.



Slika 104: Vpliv zelenega dosega na velikost volumna sistema za shranjevanje energije v odvisnosti od tipa pogona

6.1.1 Bodoča cena vozil

Trenutne cene električnih vozil, predvsem baterij (kjer 75 % cene baterije še vedno predstavlja stroški materiala, zato je cena baterij v osebnem vozilu kar 3-4× cene klasičnega motorja [136]) in tudi gorivnih celic, so še vedno visoke, toda pričakovano je umirjanje cen in približevanje cenam vozil z motorjem z notranjim izgorevanjem. Glede na analize (npr. [137]) se pričakuje pomembno znižanje do leta 2030, nekje do leta 2050 pa velika cenovna uravnoteženost med pogoni.

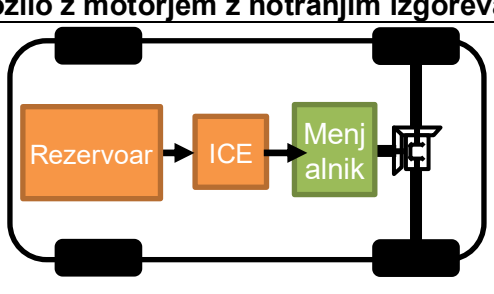


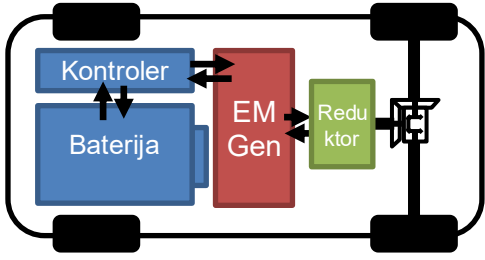
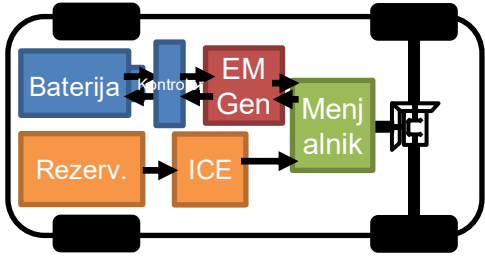
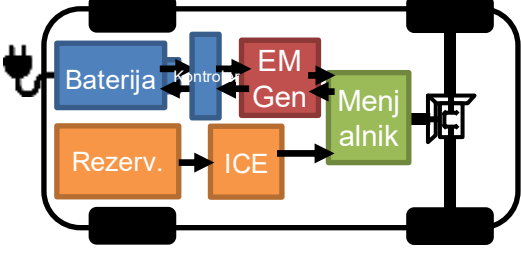
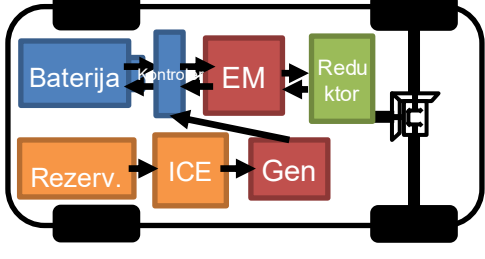
Slika 105: Pribitek k proizvodni ceni glede na tip pogona za vozila srednjega razreda po letih.

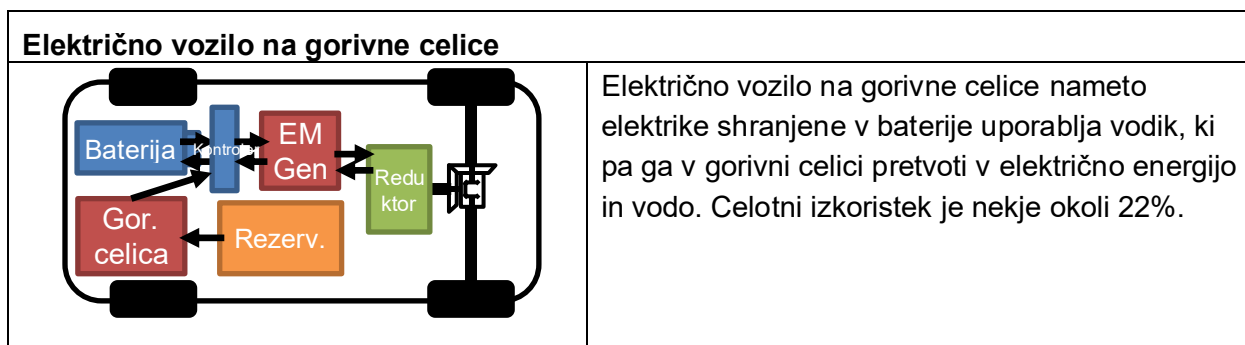
Tabela 50 prikazuje shematske slike vozil z različnimi načini pogona. Opozoriti je potrebno, da so seveda najbolj enostavna vozila tista, ki jih poganja le en reagent, torej vozila z motorjem na notranje izgorevanje in baterijska električna vozila.

6.1.2 Tehnične lastnosti vozil

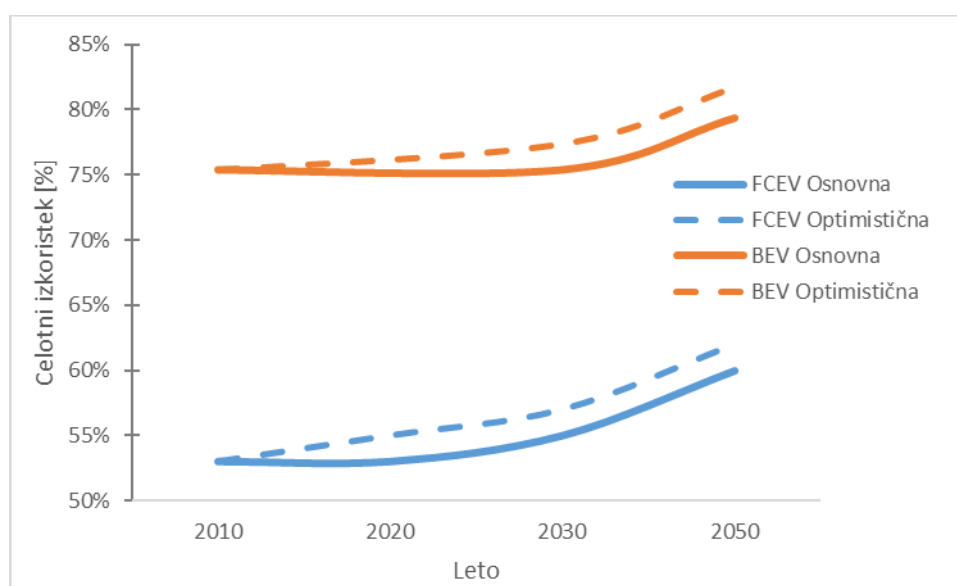
Tabela 50: Razdelitev vozil glede na način pogona

Vozilo z motorjem z notranjim izgorevanjem	
	<p>Energija sev obliki goriva nahaja v rezervoarju, ki napaja motor z notranjim izgorevanjem (ICE), ta pa mehanski moment prek menjalnika pelje do pogonskih koles. Motor in rezervoar zahtevata manše prilagoditve pri izbiri različnih fosilnih goriv (npr. bencin, dizel, plin), zato vsa takšna vozila štejemo v enotno kategorijo. Izkoritek celotnega sistema je približno 17-21 % [138].</p>

<p>Električno vozilo</p> 	<p>Energija se nahaja v bateriji, ki preko kontrolerja poganja elektro-motor, ta pa prek preprostejšega mehanskega reduktorja pogonska kolesa. Izkoristek električnega motorja je tipično med 85 in 90%, pri čemer nekaj izgub prispeva še baterija in reduktor (5-10 %). Skupna učinkovitost je nekje okoli 73 %. V praksi so električna vozila 2.5-3× bolj učinkovita kot vozila z motorjem z notranjim izgorevanjem (TTW).</p>
<p>Hibridno električno vozilo (vzporedno)</p> 	<p>V hibridnem električnem vozilu se nahaja dvojni pogon: motor z notranjim izgorevanjem in elektro-motor. V mestni vožnji z veliko zaustavljanja se uporablja slednji, na daljših razdaljah in konstantni hitrosti pa klasični motor, ki ima takrat sorazemrno soliden izkoristek. Baterija električnega dela se napaja prek generatorja, npr. ob zaviranju ali dolgotrajni vožnji. Učinkovitost pogona je 15 (uporaba ICE) - 54 % (uporaba BEV).</p>
<p>Priključno hibridno električno vozilo</p> 	<p>Podobno kot pri običajnem hibridnem električnem vozilu se tudi v priključnem nahaja dvojni pogon: motor z notranjim izgorevanjem in elektro-motor. Edina razlika je, da se baterija električnega dela praviloma polni preko vtičnice, polnjenje v avtomobilu prek generatorja pa je le na večje razdalje, saj je manj učinkovito. Učinkovitost pogona je 17 (uporaba ICE) - 54 % (uporaba BEV).</p>
<p>Hibridno električno vozilo (zaporedno)</p> 	<p>V zaporednem hibridnem električnem vozilu deluje klasičen motor z notranjim izgorevanjem kot podaljševalnik dometa (Range Extender, REx) in je prek generatorja vezan na kontroler ter mehanske energije ne dovaja neposredno. Učinkovitost pogona je 20 (uporaba ICE, REx) - 73 % (uporaba BEV).</p>



Slika 106 prikazuje bodoče celotne izkoritke BEV in FCEV do leta 2050 glede na scenarij [137]. Pri tem se pričakuje zmeren, a ne revolucionaren napredek.



Slika 106: Bodoči celotni izkoristek BEV in FCEV do leta 2050 glede na scenarij

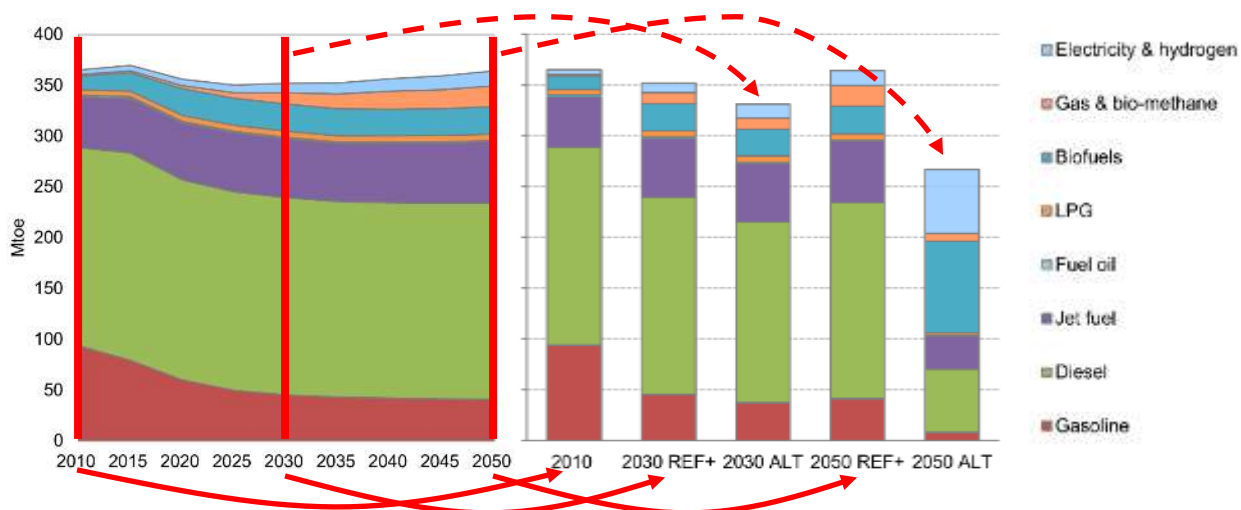
6.2 Pregled stanja infrastrukture in vozil na alternativni pogon

Pregled stanja infrastrukture in vozil na alternativni pogon je v veliki meri povzet po drugih študijah:

- 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 [139]
- Strategija na področju razvoja trga za vzpostavitev ustrezne infrastrukture v zvezi z alternativnimi gorivi v prometnem sektorju v Republiki Sloveniji [140].
- Podnebno ogledalo 2018 Ukrep v središču – Električna mobilnost [141].

Velik del informacij, ki se tičejo infrastrukture vozil na električni pogon, je bil že podrobno obdelan v poglavju 5 *E-mobilnost*, tako da so tu podobno navedeni le relevantni povzetki.

Slika 107 je primerna za podkrepitev smiselnosti ukrepov glede alternativnih pogonov, saj kaže različne scenarije za predvidene količine končne energije z upoštevanjem sedanjih trendov in sprejetih politik v prometu [142], pri čemer so prihranki relativno majhni, vsaj v primerjavi z drugimi sektorji.

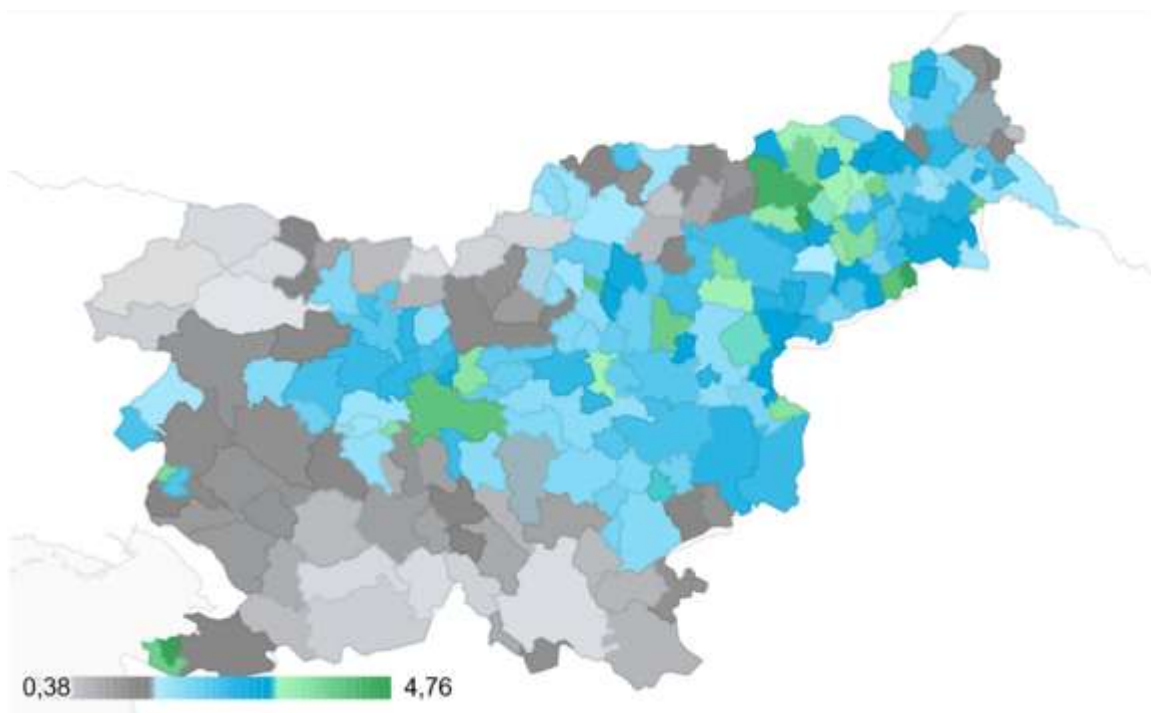


Slika 107: Predvidene količine končne energije z upoštevanjem sedanjih trendov in sprejetih politik [142]

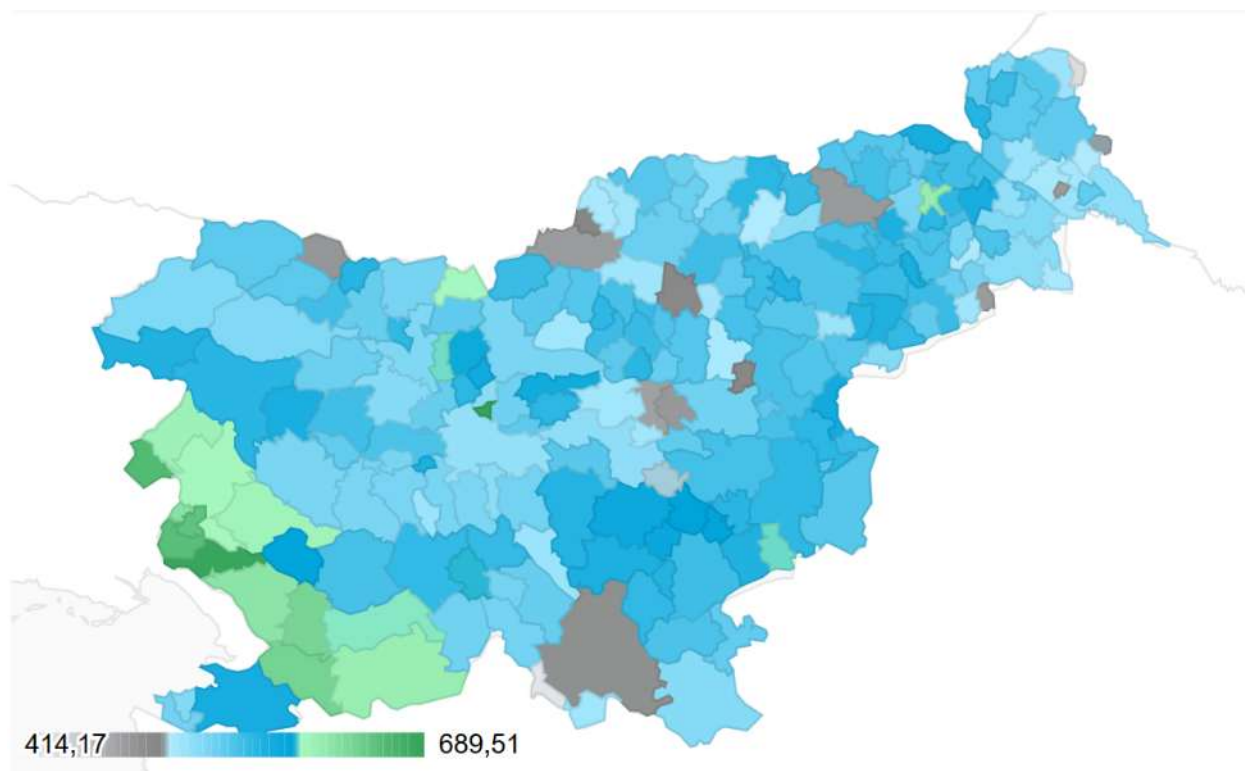
6.2.1 Stanje z oskrbo z alternativnimi gorivi v Sloveniji

Pri pregledu stanja infrastrukture in vozil na alternativni pogon je smiselno dobiti ocene ključnih parametrov, ki vplivajo na to stanje, na primer gostoto cestnega omrežja in relativno število osebnih avtomobilov na 1000 prebivalcev. Slika 108 tako prikazuje gostoto cestnega omrežja v letu 2017 – obseg cestne infrastrukture v posamezni občini glede na velikost občine. Glavni dejavniki, ki vplivajo na gostoto cestnega omrežja so gostota prebivalstva, razpršenost poselitve in teren (gore, gozdovi) [143].

Slika 109 prikazuje število registriranih osebnih vozil na 1000 prebivalcev po občinah, kar je indikacija kako pomembni so avtomobili za mobilnost prebivalcev v različnih občinah. Na število avtomobilov v veliki meri vpliva razpoložljivost drugih atraktivnih opcij mobilnosti, javni potniški promet, kolesarjenje ter tudi številni drugi dejavniki (npr. življenjski standard). Z oddaljenostjo občine od glavnih središč se potreba po osebnem avtomobilu povečuje [143].



Slika 108: Gostota cestnega omrežja v letu 2017 po slovenskih občinah [143]



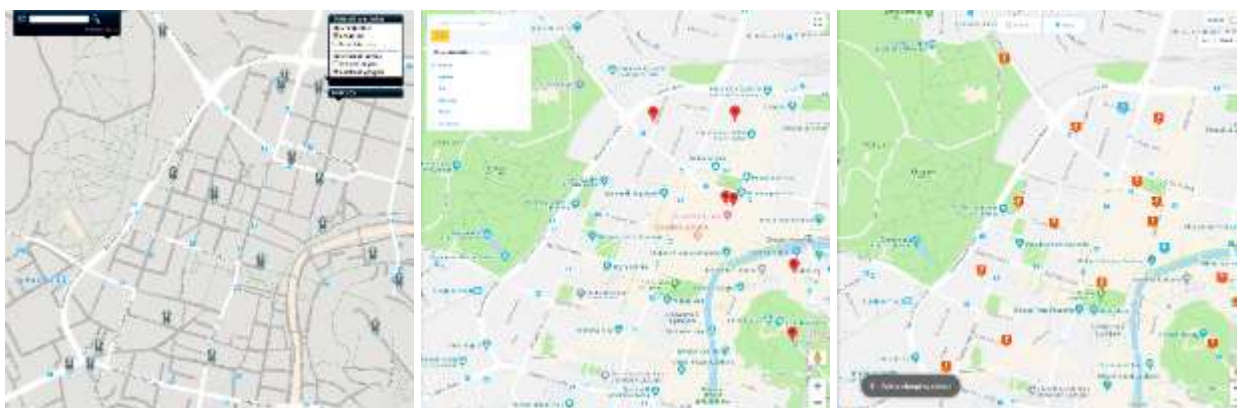
Slika 109: Število registriranih osebnih vozil na 1000 prebivalcev v letu 2017 [143]

6.2.1.1 Električna vozila

Pri pregledu stanja infrastrukture za električna vozila se je za večjo težavo izkazalo pomanjkanje relevantnih podatkov, na osnovi katerih bi bilo mogoče opraviti natančne primerjave. Ob relativno majhnih prodajnih številkah in trendih, ki se vseskozi spreminjajo zaradi nenehnega dograjevanja infrastrukture, so podatki o infrastrukturi posameznih držav težko primerljivi. To velja še toliko bolj, ker so prodajne številke, zbrane na evropski ravni, predvsem pod okriljem Eurostata, stare leto ali dve. Tudi druge tovrstne evidence na evropski ravni so povečini pomanjkljive, kar še posebej velja za podatke o infrastrukturi. Pri tem je opaziti, da je klasifikacija polnilnic trenutno še razmeroma neenotna. Delitev na standardne, pospešene in hitre polnilnice ni povsem v skladu z imenovanjem oziroma klasifikacijo slovenskih in nekaterih tujih deležnikov na področju polnjenja električnih vozil.

Podatki za primerjavo so bili zajeti na spletni strani Evropskega observatorija za alternativna goriva [144], ustanovljenega s pomočjo Evropske komisije. Observatorij zbira tudi podatke o infrastrukturi drugih alternativnih goriv, vodiku, SZP in UZP, a smo podatke zanje zajeli v relevantnejših podatkovnih bazah. Na omenjeni spletni strani so podatki o lokaciji polnilne infrastrukture za električna vozila zastareli in se ne prekrivajo s stanjem v Sloveniji. Hkrati pa so podatki o številu električnih vozil in tudi polnilni infrastrukturi osvežujejo mesečno s strani Ministrstva za infrastrukturo. Zato so bili podatki o stanju infrastrukture zajeti na spletni strani organizacije ChargeMap [145]. Podatki se na spletni strani posodablajo dnevno in so ob upoštevanju praktičnih izkušenj s polnjenjem električnih vozil v Sloveniji in v tujini blizu dejanskega stanja. Pri analizi stanja so bili uporabljeni tudi statistični podatki o polnilni infrastrukturi v posameznih državah, objavljeni na spletni strani organizacije ChargeMap. Pri primerjavi uradnih podatkov o številu električnih vozil v voznih parkih posameznih držav in polnilni infrastrukturi so sicer prisotna odstopanja. Ta segajo celo do 10 %, praviloma pa so manjša. Pri primerjavi slovenskih podatkov s podatki navedenih uporabljenih virov so bila odstopanja najmanjša. To velja tako za infrastrukturo kot število registriranih električnih vozil.

Slika 110 kaže spletne zemljevide s polnilnimi postajami na primeru središča Ljubljane (stanje januar 2019). Slovenska stran polni.me je levo, na sredini je evropska eafo.eu in desno chargemap.com. Kot že omenjeno, so informacije na eafo.eu nekoliko pomanjkljive, polni.me in chargemap.com pa sta precej enakovredna.



Slika 110: Zemljevidi s polnilnimi postajami za središče Ljubljane: levo polni.me, sredina eafo.eu in desno chargemap.com, stanje januar 2019

Pri delitvi polnilnic na osnovi podatkov organizacije ChargeMap smo povzeli njihovo klasifikacijo na tri osnovne skupine. Pri tem smo jih ločili na standardne polnilnice za počasno polnjenje z močjo do 3 kW (level 1), polnilnice za hitro polnjenje z močjo od 7,5 kW do 22 kW (level 2) in ekspresne polnilnice z močjo, večjo od 43 kW (level 3), glej [141] za pregled. Pregled polnilnic vključuje število lokacij in število priključkov. Pri tem je treba upoštevati, da je na posamezni lokaciji več polnilnic in da imajo polnilnice več priključkov. Glede na merilo, zapisano v Direktivi 2014/94 EU [146], po katerem naj bi bilo na posamezen priključek največ 10 električnih avtomobilov, imajo trenutno vse države primerjave dobro pokritost s polnilno infrastrukturo – toliko bolj, ker je pri tem razmerju upoštevano število vseh vozil, ki lahko uporabljajo polnilno infrastrukturo. To je seštevek vseh baterijskih električnih vozil in priključnih hibridov. Posebna primerjava ponazarja pokritost s polnilnicami z močjo, večjo od 7,5 kW, ob upoštevanju števila izključno baterijskih električnih vozil. Te polnilnice bodo namreč v bodoče, z večanjem kapacitete baterij električnih vozil, edine zmožne polniti vozila v sorazmerno sprejemljivih časovnih okvirih, na primer v času nočnega počitka.

Na slovenskem avtocestnem križu je bilo v okviru projekta CEGC postavljenih 26 hitrih polnilnic. Dodatne tri polnilnice te vrste so še v Ljubljani, ena pa se nahaja na Petrolovem bencinskem servisu Maribor AC vzhod. Obenem imajo Dravske elektrarne tri ekspresne polnilnice standarda ChaDemo. Trenutno je v Sloveniji med 250 in 300 električnih vozil, ki lahko v celoti izkoristijo ekspresno polnjenje na tovrstnih polnilnicah. Zato ima Slovenija trenutno, zgolj s polnilnicami za ekspresno polnjenje, ki jih lastniki električnih avtomobilov uporabljajo le za krajša polnjenja, občutno boljšo pokritost od navedenega standarda, in sicer 10 električnih avtomobilov na en priključek. Ob upoštevanju tega merila za vse javno dostopne priključke in vsa električna vozila, baterijska električna vozila in priključne hibride, bi se ob trenutnem stanju infrastrukture v prihodnje lahko število teh vozil povečalo za sedemkrat brez širitve javno dostopne polnilne infrastrukture. V Sloveniji so tri Tesline hitre polnilnice [147]. Omrežje hitrih polnilnic na slovenskem avtocestnem križu že danes omogoča neprekinjeno uporabo električnih vozil po celotnem jedrnem omrežju TEN-T, ki poteka čez Slovenijo. Trenutno največjo težavo predstavljajo polnilnice v večjih mestih. Tam so namreč, še posebej na najatraktivnejših lokacijah, v celoti zasedene in jih zato uporabniki električnih vozil velikokrat ne morejo uporabljati.

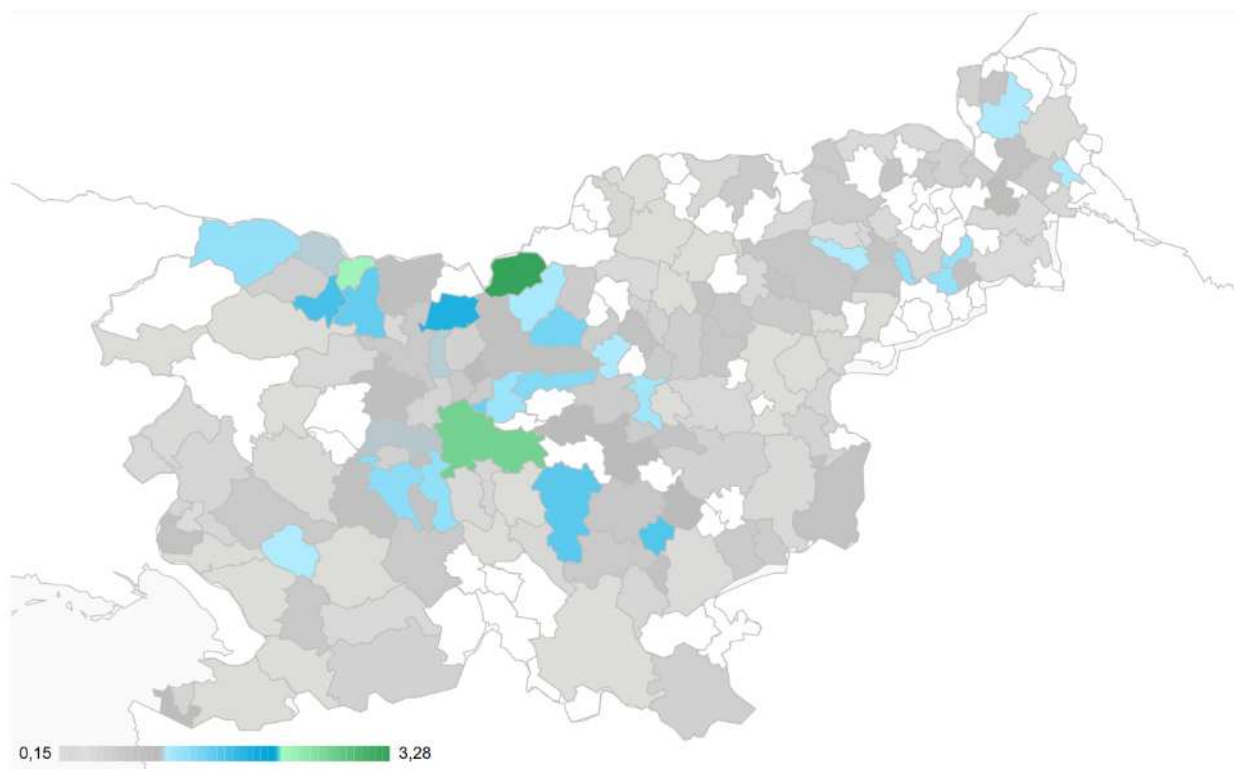
Tovrstne težave izhajajo iz dejstva, da trenutno še niso določena pravila, polnjenje na teh polnilnicah pa je praviloma še vedno brezplačno (november 2018; izjema so polnilnice, ki se nahajajo za zapornicami javnih parkirišč, npr. Ljubljana-Tivoli)). Zato številni uporabljajo priključitev na polnilnice za brezplačno parkiranje in ne polnjenje. V Ljubljani, kjer je največja koncentracija električnih vozil, je dovršen del polnilnic od sredine leta 2016 dalje namenjen storitvi souporabe električnih vozil. Tako se sicer teoretično ugodno razmerje med polnilno infrastrukturo in številom električnih avtomobilov v praksi izkaže za občutno manjše. Obenem avtomobili, namenjeni souporabi, stojijo na parkirnih mestih, kjer bi bilo mogoče polniti električna vozila, celo ne da bi bil kabel priključen na polnilnico. Tako so sorazmerno visoke naložbe v polnilno infrastrukturo razvrednotene, saj je onemogočena uporaba polnilnic tistim, ki bi morali polniti svoje

električne avtomobile. Zaradi tega je Ljubljana, kljub načeloma dobri pokritosti s polnilnicami, v vsakdanji uporabi električnih avtomobilov podhranjena s polnilno infrastrukturo, medtem ko so drugi kraji po Sloveniji zelo slabo pokriti s polnilno infrastrukturo.

6.2.1.2 Polnilna infrastruktura

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. Direktiva 2014/94 [146] namreč določa merilo, ki pravi, da naj bi bil na deset registriranih električnih avtomobilov na voljo en javno dostopen priključek za polnjenje. Tovrstno razmerje ni doseženo še v nobeni državi. Ob tem sodi Slovenija med države, kjer je pokritost s polnilnicami boljša, saj na en priključek odpade le nekaj več kot en električni avtomobil, če štejemo tako baterijske električne avtomobile kot priključne hibride. 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 država 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. Če bi sledili kriteriju deset avtomobilov na en priključek, bi se lahko ob sedanjem stanju polnilne infrastrukture v prihodnje število električnih avtomobilov na slovenskih cestah povečalo tudi s faktorjem 10.

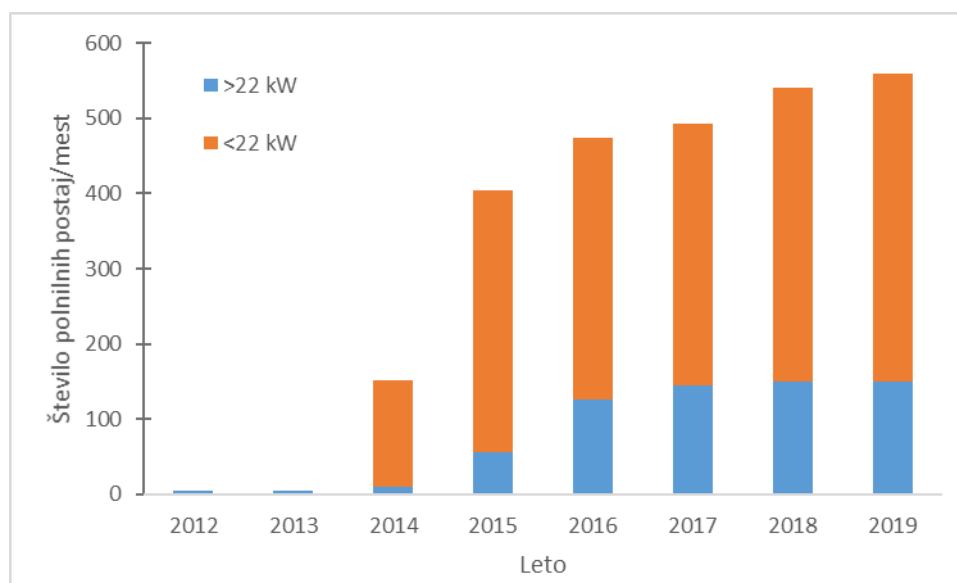
Vsekakor pa velja, da se že danes ustvarjajo tako imenovana »ozka grla«. Opaziti je namreč pomanjkanje polnilnic v središču večjih mest. Polnilna infrastruktura se vzpostavlja neenakomerno, pri čemer najbolj izstopa Ljubljana. Vendar je ob tem treba upoštevati, da je bilo v Ljubljani in okolici do konca leta 2017 prodanih več kot 70 % vseh električnih vozil v Sloveniji. Slika 111 prikazuje deleže električnih vozil v letu 2017 po slovenskih občinah [143].



Slika 111: Deleži električnih vozil v letu 2017 po slovenskih občinah [143]

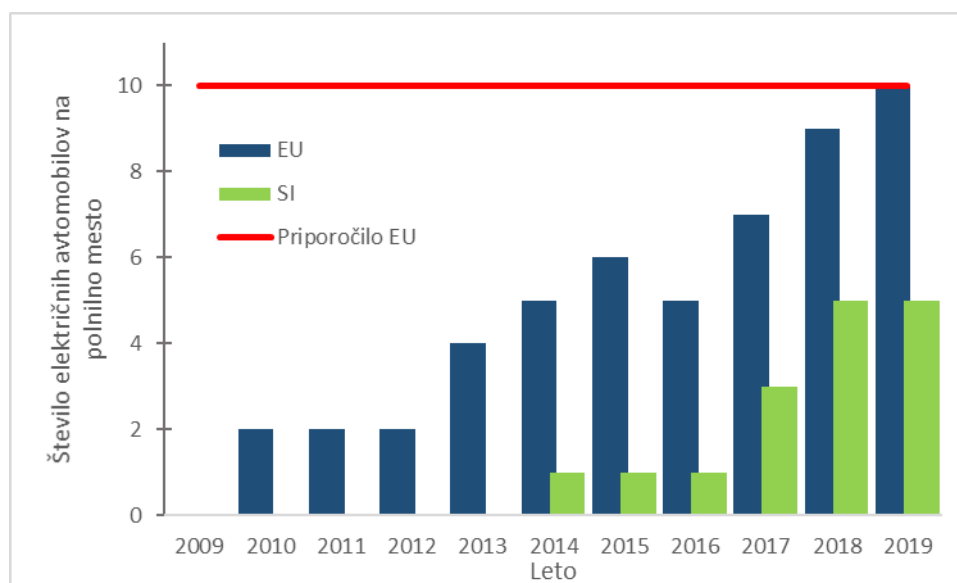
Zato je polnilna infrastruktura bolj obremenjena kot drugje v državi. Tam, kjer je tako polnilnic kot električnih avtomobilov manj, je opaziti, da predstavlja težavo tudi vzdrževanje polnilnic, in sicer tudi tistih, ki so bile postavljene v okviru raznih evropskih projektov. Spodbudno je, da je marsikatero tovrstno polnilnico v upravljanje prevzel Petrol in da se vse odločnejše poslovanja na tem področju loteva največje elektrodistribucijsko podjetje v državi, Elektro Ljubljana, pri čemer so v letu 2019 začeli zaračunavati polnilnice, ki so v lasti distributerjev.

Slika 112 prikazuje število polnilnic za električna vozila v Sloveniji po letih glede na hitrost polnjenja (Level 2: < 22 kW in level 3: > 22 kW) [144].



Slika 112: Število polnilnic za električna vozila glede na hitrost polnjenja [144]

Slika 113 prikazuje število avtomobilov PEV na polnilnico (število vozil/priključek) v Sloveniji in EU po letih [144]. 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 (trenutno) ustrežna.



Slika 113: Število avtomobilov PEV na polnilnico (število vozil/priključek) [144]

6.2.1.3 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 na SZP. V Sloveniji danes obratujejo le tri polnilnice, in sicer v Ljubljani, v Mariboru in na Jesenicah. Tudi ponudba avtomobilov na to alternativno gorivo je pri vodilnih ponudnikih avtomobilov v Sloveniji relativno skromna, kar je zagotovo tudi posledica pomanjkanja polnilne infrastrukture. Z vzpostavitvijo ustreznega števila javno dostopnih oskrbovalnih mest za SZP v strnjениh 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. Z omembe vrednim številom vozil na SZP trenutno razpolaga le MO Ljubljana. Poleg vzpostavitve omrežja polnilnic za SZP v slovenskih mestnih občinah in v Zasavju do konca leta 2020, bo skladno z obveznostmi iz Direktive 2014/94 do 31. decembra 2025 treba vzpostaviti tudi polnilno omrežje za SZP na jedrnem omrežju TEN-T, torej na avtocestnem križu na vseevropskih koridorjih X in V. Pri tem je treba upoštevati merilo, da bo treba polnilnice razporediti na vsakih 150 km. Tako bo treba v Sloveniji, ob sočasnem upoštevanju merila zagotavljanja nemotenega poteka prometa s sosednjimi državami, na avtocestnem križu do konca leta 2025 postaviti vsaj pet polnilnic za SZP. Za vozila na SZP velja, da so njihovi izpusti CO₂ v primerjavi z vozili na bencin manjši za od 20 do 25 %. Ob danes zelo skromni ponudbi vozil na SZP znaša razlika v ceni med primerljivimi različicami na bencinski motorji in vozili na SZP približno 2000 evrov. Ob tem je treba upoštevati, da je SZP na enoto energije cenejši od konkurenčnih energentov, kar uporabnikom omogoča doseganje prihrankov pri uporabi avtomobilov na SZP. SZP je alternativno gorivo, ki je še posebej primerno za avtobuse in gospodarska vozila, kar je pomembno pri vzpostavljanju vzdržnih poslovnih modelov upravljanja polnilne infrastrukture. Kot smo že ugotovili, 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.

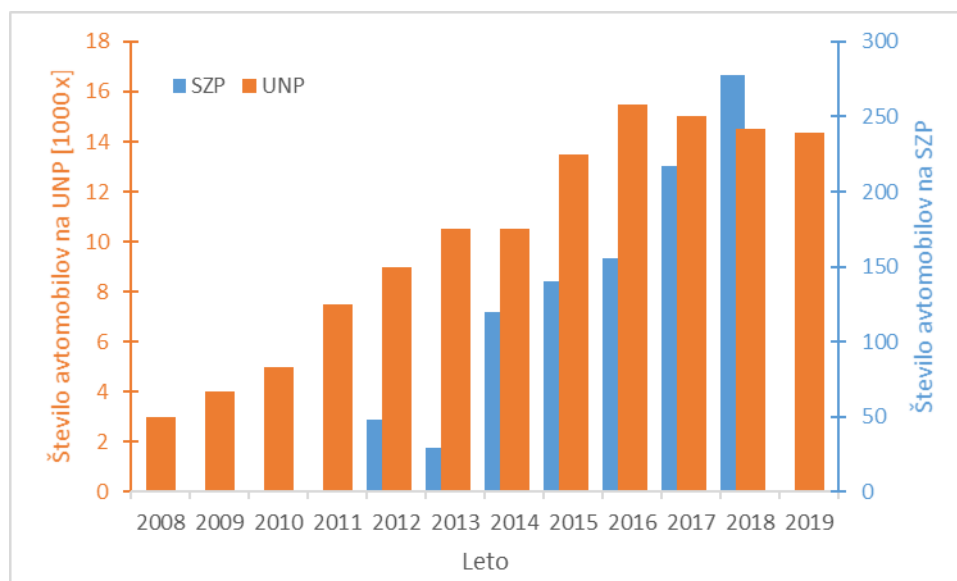
Cena avtobusov in ostalih težkih gospodarskih vozil na SZP je danes v primerjavi z vozili na dizelsko gorivo višja za približno 15 %. Strošek predelave osebnega dizelskega vozila na »dvogorivni« sistem (kombinacija SZP in dizel goriva) stane približno 2500 evrov, strošek tovrstne predelave težkih tovornih 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, nemška agencija za energijo DENA pa napoveduje 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 [148]. Med vodilne države z najbolj razvejanim omrežjem polnilnic za SZP vsekakor sodi Italija. V Italiji uporabo vozil na SZP aktivno spodbuja tudi država s številnimi ukrepi, vključno s subvencioniranjem nakupa vozil. Tabela 51 navaja deleže vozil, ki jih poganja CNG po posameznih kategorijah [149], [144], pri čemer se deleži nanašajo na vsa registrirana vozila v posamezni kategoriji.

Po pregledu prvih registracij novih avtomobilov (v pregledu »lahka vozila«) je bilo v letih 2014, 2015 in 2016 v Sloveniji prvič registriranih 84 novih avtomobilov na SZP. Podatek [149] močno odstopa od razpoložljivih podatkov v Sloveniji. Ob tem pa seveda ni znano, koliko od vozil, registriranih v Sloveniji, je tudi dejansko ostalo v slovenskem voznem parku. Ker je spletna stran kredibilna in edini vir primerljivih podatkov za vse države v primerjavi, smo se odločili za uporabo njenih podatkov za primerjavo.

Tabela 51: Deleži vozil na CNG [149], [144]

	Lahka vozila	Delež	Avtobusi	Delež	Tovornjaki	Delež
<i>Avstrija</i>	8100	0,173	167	1,740	54	0,012
<i>Hrvaška</i>	219	0,015	78	2,600	3	0,002
<i>Nemčija</i>	95.708	0,216	1735	2,239	176	0,006
<i>Madžarska</i>	5000	0,161	86	0,480	32	0,007
<i>Italija</i>	880.000	2,373	2300	2,349	3000	0,074
<i>Slovenija</i>	29	0,003	24	0,960	5	0,006
<i>EU28</i>	1.125.768	0,451	12.746	1,559	9.349	0,026

Drugi vir podatkov je EAFO [144], ki popisuje število avtomobilov na plin. Slika 114 prikazuje število registriranih osebnih avtomobilov na UNP in SZP v Sloveniji po letih, pri čemer je avtomobilov na SZP precej manj (desna skala).


Slika 114: Število avtomobilov na UNP in SZP v Sloveniji po letih [144]

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 stisnjen 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, tovorna in vozila javnega potniškega prometa.

6.2.1.4 Polnilnice za stisnjeni zemeljski plin (SZP)

V Sloveniji imamo trenutno tri delujoče polnilnice za stisnjen zemeljski plin, kar v primerjavi s številom polnilnic v nekaterih drugih evropskih državah ni veliko. Glede na število vozil na polnilnico v Italiji, kjer je uporaba vozil na SZP najbolj množična, omogočajo že tri polnilnice za SZP v Sloveniji odločno povečanje števila vozil. To velja še toliko bolj, ker je polnilna infrastruktura v Avstriji in Italiji zelo dobro razvita. Kdor se velikokrat vozi v ti dve državi, bi lahko imel toliko več prednosti pri uporabi vozila na SZP. Pri tem je treba upoštevati, da Direktiva 2014/94 EU [146] zahteva, da morajo države članice s svojimi nacionalnimi okviri politike zagotoviti izgradnjo tolikšnega števila javno dostopnih oskrbovalnih mest za oskrbo motornih vozil s SZP, da bi lahko motorna vozila na to gorivo krožila v strnjenih mestnih/primestnih naseljih in na drugih gosto poseljenih področjih ter po vsej Uniji, vsaj po obstoječem jedrnem omrežju TEN-T. Polnilna struktura v Avstriji in Italiji, kot tudi na Madžarskem in v Nemčiji, je glede na število vozil na SZP zelo dobro razvita, medtem ko Hrvaška in Slovenija z vzpostavitvijo polnilne infrastrukture za vozila na SZP zaostajata. Po direktivi bi morala biti do 31. 12. 2025 na vsakih 150 km na avtocestnem križu postavljena javno dostopna polnilnica za SZP. V urbanih okoljih pa bi morala biti polnilna infrastruktura za SZP vzpostavljena do 31. 12. 2020. Tabela 52 navaja število polnilnic SZP v Sloveniji, v nekaterih okoliških državah in v EU28 [144].

Tabela 52: Polnilnice SPZ [144]

	Skupaj	Delujoče	Nedelujoče	Št. vozil na polnilnico
Avstrija	192	174	18	47,8
Hrvaška	4	2	2	150,0
Nemčija	962	893	69	109,3
Madžarska	11	9	2	568,7
Italija	1352	1144	208	773,86
Slovenija	5	3	2	19,3
EU28	3758	3272	486	350,8

6.2.1.5 Utekočinjen zemeljski plin

Skladno z določili direktive 2014/94 [146] bo potrebno v Republiki Sloveniji vzpostaviti jedrno 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.

Evropska projekta SiLNGT (2015-EU-TM-0104-S Mediterranean Corridor) in cHAMEleon, v katerih sodelujeta podjetji Butanplin in ENOS, bosta Sloveniji omogočila vzpostavitev infrastrukturnega omrežja za UZP za cestni promet občutno pred rokom, ki ga določa direktiva. Po Direktivi 2014/94 je rok za vzpostavitev infrastrukture za UZP na cestnem omrežju 31. 12. 2025. V okviru omenjenih EU-projektov naj bi najpozneje do druge polovice leta 2019 v Sloveniji delovale tri polnilnice za UZP. To ustreza tudi merilom Direktive 2009/94 EU, katere zahteva predvideva postavitve polnilnic za UZP na vsakih 400 kilometrov jedrnega omrežja TRN-T. Dve polnilnici naj bi začeli delovati že v letu 2018. Glede na to, da bo polnilna infrastruktura za UZP postavljena ob pomoči sofinanciranja EU in gospodarstva, bo treba poskrbeti za spodbujanje tržno zanimivejšega nakupa in rabe vozil na UZP in posledično tržno bolj masovne uporabe polnilne infrastrukture. Pri tem je treba upoštevati, da je to alternativno gorivo namenjeno vozilom v mednarodnem cestnem tovornem prometu in da s tem polnilna mesta v Sloveniji omogočajo znižanje izpustov CO₂ na ozemlju Slovenije tudi tujim prevoznikom.

Do 31. decembra 2025 je treba vzpostaviti ustrezno število oskrbnih mest za UZP tudi v morskih pristaniščih in s tem omogočiti pretok plovil na UZP v celotnem jedrnem omrežju TEN-T. V Sloveniji se ta obveza nanaša na Luko Koper. Z vzpostavitvijo infrastrukture za oskrbo ladij z UZP v Luki Koper bo to postalo logistično vozlišče, v katerem se bodo z UZP lahko oskrbovala tudi cestna tovorna vozila, ki v velikem obsegu prevažajo tovor v in iz tega pristanišča. Ob tem bi lahko na UZP prešel tudi večji del luške mehanizacije, kar bi vsekakor moral biti argument pri umeščanju polnilne infrastrukture za UZP v prostor. Z zamenjavo dizelskega goriva z UZP pri delovnih strojih in vozilih za podporno logistiko v pristanišču bi bil namreč dosežen velik pozitiven učinek na zmanjšanje obremenitve okolja. Uporaba UZP v Luki Koper se preučuje v sklopu evropskega projekta POSEIDON-MED, pod okriljem katerega je bil izdelan dokument »Možnosti dobave in uporabe utekočinjenega zemeljskega plina kot alternativnega goriva za koprsko pristanišče«. Dokument obravnava razloge in nakazuje rešitve na področju oskrbe ladij z UZP. Vključuje pregled obstoječega ladijskega prometa in tovornih vozil v koprskem pristanišču ter napovedi na tem področju. Dokument vsebuje opis izhodišč glede možnosti uporabe UZP in analizo dobavnih verig UZP.

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. To predstavlja določeno

stopnjo tveganja, da se bodo odločevalci v upravnih postopkih pridobivanja ustreznih okoljskih in gradbenih dovoljenj znašli v zagati. Dodatno težavo predstavlja dejstvo, da so na področju UZP v Sloveniji tako zakonodaja kot podzakonski akti relativno pomanjkljivi. UZP je v energetskem zakonu večkrat izrecno obravnavan, prav tako kot osnovna infrastruktura, povezana z UZP, vendar je na normativnem področju ta tematika v tem trenutku še pomanjkljivo obdelana.

6.2.2 Utekočinjen naftni plin

Avtoplin je širše uporabljeno ime za utekočinjen naftni plin (UNP), mešanico butana in propana, prilagojeno za uporabo v vozilih. Pridobiva se v rafinerijah pri predelavi surove nafte in na naravnih nahajališčih z destilacijo iz zemeljskega plina. Pri normalnih pogojih (tlak in temperatura) je UNP nestrupen plin brez barve in okusa. Je težji od zraka in zelo lahko vnetljiv. Utekočinja se pri relativno nizkem tlaku, zaradi česar je enostaven za transport in skladiščenje.

V uvodu Direktive 2014/94 EU [146] je zapisano, da so bili v sporočilu Evropske komisije z dne 24. januarja 2013 z naslovom Zelena energija za promet: evropska strategija za alternativna goriva kot trenutno glavni alternativni energenti v prometu, ki bi lahko dolgoročno nadomestili nafto, opredeljeni električna energija, vodik, biogoriva, zemeljski plin in utekočinjen naftni plin (UNP). Pri tem je upoštevana tudi možnost njihove hkratne in kombinirane uporabe, na primer s sistemi tehnologije dvojnega goriva.

Ob tem Direktiva 2014/94 opredeljuje UNP ali avtoplin kot alternativno gorivo, pridobljeno s predelavo zemeljskega plina in z rafiniranjem nafte, ki ima manjši ogljični odtis in znatno manjše emisije onesnaževal kot konvencionalna goriva. Bio UNP, pridobljen iz različnih virov biomase, naj bi srednje- do dolgoročno postal uspešna tehnologija. Ob tem se UNP lahko uporablja za cestni promet (za osebna in tovorna vozila) za vse razdalje. Lahko se uporablja tudi za plovbo po celinskih plovnih poteh in prevoz po morju na kratkih razdaljah. Obenem direktiva ugotavlja, da je infrastruktura za UNP razmeroma dobro razvita, saj je v EU že veliko polnilnic za UNP (približno 29.000), a je njihova porazdelitev po različnih državah neenakomerna.

Slovenija zagotovo sodi med države, v katerih je polnilna infrastruktura za UNP dobro razvita in sorazmerno zadovoljivo pokriva celotno cestno omrežje. Čeprav UNP ni opredeljen kot alternativni energent, je bil v projektni nalogi izdelave Študije o potrebnih dodatnih ukrepih za povečanje deleža vozil na alternativna goriva v Sloveniji in predlogu Strategije razvoja na področju alternativnih goriv za vzpostavitev infrastrukture za alternativne energente v prometu in spodbujanja uporabe vozil na te energente zaradi vzpostavljenega infrastrukture vključen v analizo stanja. Slovenija namreč prav zaradi vzpostavljenega 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.

Ob vsem tem Direktiva 2014/94 opozarja, da je treba upoštevati različne stopnje razvoja tehnologije in infrastrukture za vsako alternativno gorivo posebej, vključno s pripravljenostjo poslovnih modelov, razpoložljivostjo alternativnih goriv in njihovo sprejemljivostjo za uporabnike in ob sočasnem zagotavljanju tehnološke nevtralnosti.

Ukrepi za večji obseg uporabe obstoječe infrastrukture za UNP bodo povečali učinkovitost dosedanjih naložb v polnilno infrastrukturo alternativnih energentov, opredeljenih v Direktivi 2014/94.

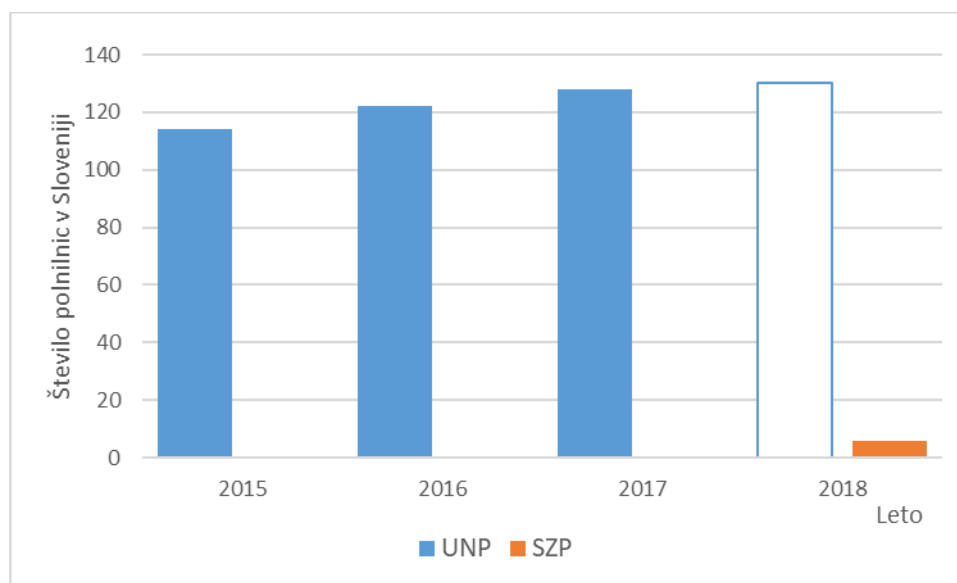
Ključno prednost avtoplina v primerjavi s klasičnimi gorivi predstavlja bistveno znižanje emisij, in sicer za 25 % manj CO₂, do 75 % manj NO_x, medtem ko trdnih delcev pri njegovem zgorevanju skoraj ni.

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 prepolovijo, 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. Večji obseg uporabe tega alternativnega energenta bi pomenil približevanje indikativnim ciljem, na področju zmanjševanja ogljičnega odtisa prometa pa bi zagotovil spodbude za vgradnjo sistemov in nakupe vozil s tovarniško vgrajenimi sistemi za uporabo UNP. V Sloveniji se UNP ne proizvaja in ne pridobiva, zato se v celoti uvaža, in sicer večinoma iz sosednjih rafinerij z avtomobilskimi in železniškimi cisternami. Skladišči se v več skladiščih po Sloveniji, na prodajna mesta pa se večinoma dostavlja v manjših avtocisternah.

6.2.2.1 Pregled infrastrukture

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. Slika 115 prikazuje trend naraščanja števila polnilnic v Sloveniji za vozila na UNP in SZP [144].



Slika 115: Števila polnilnic za vozila na UNP in SZP [144]

Podoben trend kot za Slovenijo je značilen tudi za države, vključene v analizo stanja. Tabela 53 prikazuje število prodajnih mest za UNP [150].

Tabela 53: Število prodajnih mest za UNP [150]

2015	Avstrija	Hrvaška	Italija	Madžarska	Nemčija	Slovenija
Št. polnilnic	49	407	3508	463	7522	114

6.2.2.2 Delež prodaje novih in predelanih vozil

Podatki o številu in deležu prodaje novih vozil na avtoplin na ravni EU so žal težko dostopni in tudi dokaj nezanesljivi kljub temu, da so članice EU o prodaji teh vozil dolžne poročati Evropski agenciji za okolje [151].

Precej boljše je poročilo 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. **Error! Reference source not found.** tako predstavlja delež vozil na UNP v voznem parku [152].

Tabela 54: Delež vozil na UNP v voznem parku [152]

2014	EU	Avstrija	Hrvaška	Italija	Madžarska	Nemčija	Slovenija
Delež (%)	3,0	0,2	5,6	5,3	1,8	1,1	1,2

Na osnovi podatkov o deležu vozil na UNP v celotnem voznem parku je mogoče trditi, da se Slovenija nahaja precej pod povprečjem evropskih držav. Pri tem je spodbudno, da se kljub vsemu število vozil na UNP v Sloveniji iz leto v leto povečuje. Največji delež vozil na avtoplin ima Turčija, ki sicer ni članica EU. Po razpoložljivih podatkih naj bi delež vozil na UNP v Turčiji znašal celo 40 %. Velik delež vozila na UNP dosegajo tudi na Poljskem, in sicer okrog 15 %. Od držav, v vključenih v analizo stanja, z več kot 5% deležem izstopata Italija in Hrvaška. Pri tem je treba upoštevati, da je na obeh trgih tradicija uporabe UNP izjemno bogata. K temu prav gotovo pripomorejo tudi močne državne subvencije uporabnikom za predelavo vozil. V Sloveniji, kjer doslej ni bilo posebnih državnih spodbud, delež vozil na avtoplin rahlo presega 1 %. Podoben delež imata tudi Madžarska in Nemčija, medtem ko ima v Avstriji UNP najbolj obrobno vlogo od vseh držav primerjave.

6.2.2.3 Skladiščna infrastruktura

Infrastruktura za skladiščenje UNP v Sloveniji že obstaja in je zadostna za obstoječi obseg poslovanja. Za nadaljnji razvoj prodaje in širjenje pa bi bilo treba vsekakor zagotoviti nekatere dodatne investicije. Investiranje v širitev infrastrukture bi po oceni distributerjev zagotovo spodbudile tudi ugodnosti oziroma spodbude s strani državnih institucij.

Skladišča so v lasti distributerjev UNP v Sloveniji in so razporejena po celotni državi, od Kopra, Sežane, Kozine, Nove Gorice, Ljubljane, Celja, Maribora, Novega mesta, do Jesenic.

6.2.3 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 razogljichenju prometa.

Zaveza EU, da bo v okviru bodoče nizkoogljične ekonomije posebno pozornost namenila ustreznemu preoblikovanju transportnega in energetskega sistema, prepoznava vodikove tehnologije in gorivne celice kot posebej učinkovite za doseganje ciljev in jih vključuje v Načrt strateških energetskih tehnologij (SET-Plan) [153]–[155]. Da bi te cilje dosegli tudi na nacionalni ravni, je treba pospešeno uvajati OVE za proizvodnjo elektrike. Ob tem večanje deleža OVE zahteva razvoj novega koncepta energetskega sistema, ki bo omogočal dinamično izravnavanje proizvodnje in porabe s pomočjo pametnih omrežij za izravnavanje električnega omrežja v sekundah, minutah ali celo urah. Hkrati je treba zaradi prekinljive narave OVE zagotoviti ustrezno shranjevanje energije. To je možno narediti s konceptom »elektriko v plin« ali »elektriko v gorivo«. Tako shranjeno energijo v obliki kemične energije lahko kadarkoli ponovno uporabimo za proizvodnjo elektrike in toplote in kot gorivo v gorivnih celicah vozil. Gorivne celice in elektrolizerji za pridobivanje vodika temeljijo na tehnologiji elektrokemijskih reaktorjev, ki imajo ključno vlogo pri tovrstnem konceptu shranjevanja elektrike. Z vodikom in gorivnimi celicami je mogoče v sektorju prometa uporabiti kemično shranjeno električno energijo iz OVE. Tako pridobljena elektrika se uporablja neposredno za pogon vozila.

Največjo oviro hitrejši širitvi uporabe vodika v prometu trenutno predstavlja skromna ponudba polnilne infrastrukture in vozil. Ob tem so ti avtomobili, v primerjavi s primerljivimi avtomobili z motorji na notranje zgorevanje, vsaj še enkrat dražji.

Za vozila na vodik je skladno z zahtevami Direktive 2014/94/EU [146] Slovenija do 31. 12. 2025 dolžna zagotoviti ustrezno število javno dostopnih polnilnih mest, ki bodo omogočala tako razvoj in oskrbo lokalnega prometa kot tudi čezmejne oskrbovalne mreže za vozila na vodik. Pri tem gre upoštevati, da je bila v Sloveniji septembra 2013 postavljena prva javna polnilna postaja za vodik na Petrolovem bencinskem servisu v Lescah (300/350 bar). Polnilnica je bila postavljena kot »demo projekt«, katerega cilj je bil tako pridobivanje potrebnih izkušenj za gradnjo tovrstnih objektov kot tudi priprava ustrezne zakonodaje za umeščanje tovrstnih objektov v prostor. Tako pridobljenim izkušnjam bo treba prilagoditi tudi razvoj oskrbne infrastrukture za vodik drugje po Sloveniji. Za zadovoljevanje dejanskih potreb uporabnikov vozil na vodik v Sloveniji in zagotovitev ustrezne povezljivost evropskega oskrbovalnega omrežja bo treba na slovenskem avtocestnem križu do 31. 12. 2025 postopoma postaviti vsaj od štiri do osem polnilnic za vodik. S tem bi se izpolnila tudi obveza vzpostavitve infrastrukture za vodik v slovenskem delu jedrnega cestnega omrežja TEN-T.

6.2.3.1 Vozila na vodik

Uvajanje vozil na vodik je v zadnjih letih zaostajalo za razvojem vodikovih polnilnic. To je bil tudi razlog, da so nekatere že postavljene polnilnice »ugasnile«. Zanje namreč ni bilo uporabnikov, ker ni bilo vozil. Trenutno se razvoju in proizvodnji vozil na vodik resneje posvečajo le Hyundai, Toyota in Honda, delno tudi Dailmer 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. Tabela 55 navaja največje ponudnike električnih vozil na vodik oziroma gorivne celice v EU [144].

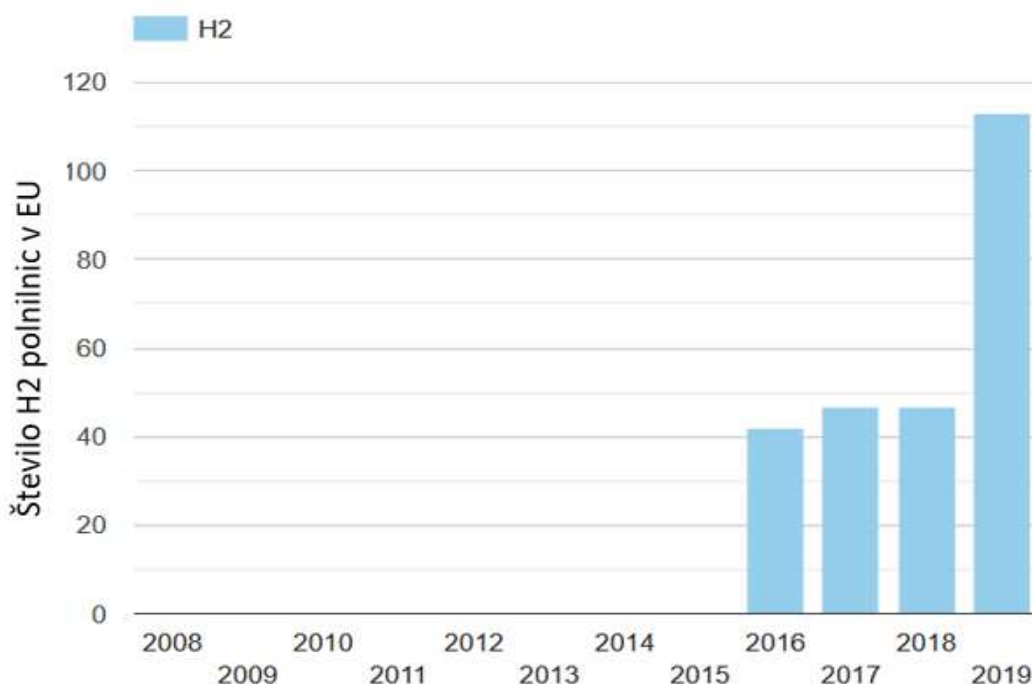
Tabela 55: Največji ponudniki električnih vozil na vodik (gorivne celice) v zadnjih letih v EU [144]

Znamka	Model	2016 (1–6)	Delež 2016 (1–6)	2015 (1–6)	2015	Tržni delež v 2015	2014	2013
Hyundai	ix35 FCEV	50	53,80 %	89	166	87,80 %	38	37
Toyota	Mirai	43	46,20 %	6	23	12,20 %	0	0

6.2.3.2 Infrastruktura za vodik v prometu

Polnilnice za vodik so danes prisotne že v večini evropskih držav, vendar v zelo različnem obsegu. Gre za različne projekte: od pilotskih do že povsem rutinskih in načrtno postavljenih objektov za oskrbo vozil na vodik. Postavitev polnilnic je vsekakor upočasnilo dejstvo, da so le redki svetovni proizvajalci v svojo redno ponudbo vključili vozila na vodik (Hyundai, Toyota in Honda). Z novo zakonodajo, usmerjeno v čistejše in okolju prijaznejše tehnologije, se zanimanje za vodikove tehnologije veča.

V Sloveniji je bila leta 2014 postavljena prva javna polnilnica za vodik na bencinskem servisu v Lescah [156], [157]. Polnilnica je bila postavljena v okviru pilotskega projekta, s katerim naj bi v Sloveniji postavili dve 300–350-barski polnilnici. Postavitev druge je vprašljiva, saj že rva ne deluje zaradi pomanjkanja vozil. Pri polnilnicah za vodik velja, da so najprej prevladovala 300–350-barske polnilnice, take, kot je bila leta 2014 postavljena v Lescah. Danes se vse bolj množično postavljajo polnilnice s tlakom polnjenja 700 barov. Temu primerno se povečuje doseg vozil z eno polnitvijo. Slika 116 kaže število polnilnic vodika v evropskih državah (EU in nekatere sosednje države) [158].



Slika 116: Število polnilnic z vodikom v EU

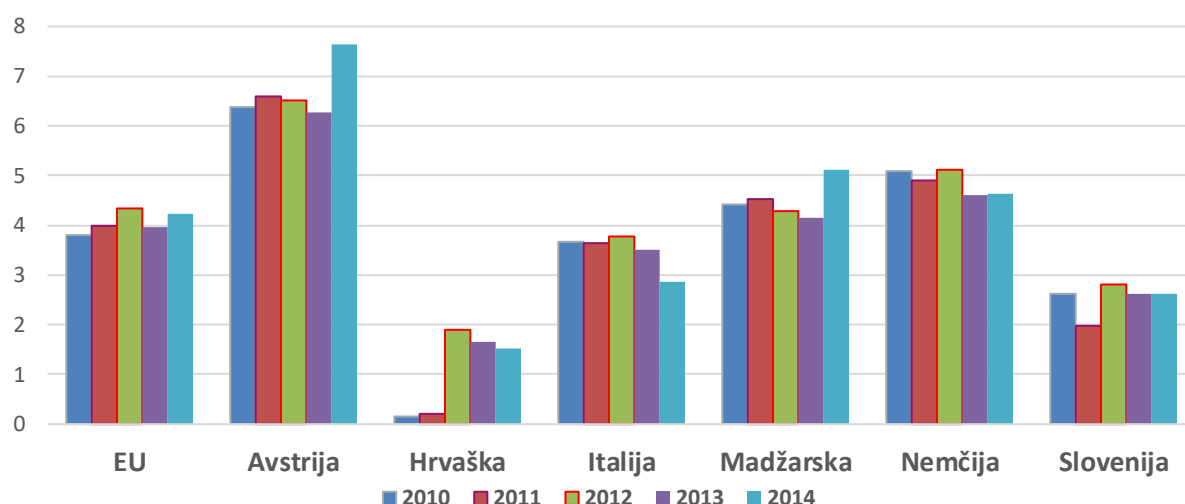
6.2.4 Biogoriva

6.2.4.1 Analiza stanja v Sloveniji

Uvajanje biogoriv in cilji na tem področju v Sloveniji zaostajajo za referenčnimi vrednostmi iz Direktive EU o spodbujanju rabe biogoriv in drugih obnovljivih virov [159] v prometu [139]. Do odmikov od referenčnih vrednosti v Sloveniji 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.

Uvajanje obnovljivih virov energije in biogoriv v prometu EU: V državah EU28 je bil v letu 2011 delež energentov iz obnovljivih virov v prometnem sektorju precej nizek, saj je znašal le 3,4 %. V zadnjih letih se je znatno povečal in je leta 2014 znašal 5,9 %. Največjo rast so dosegli na Finskem, kjer se je delež teh energentov v prometnem sektorju povečal z 0,4 % leta 2011 na 21,6 % leta 2014. V Sloveniji doslej niso bili doseženi referenčni deleži obnovljivih virov energije iz Direktive 2003/30/ES [159]. Biogoriva, se pravi biobencin, biodizel in ostala tekoča biogoriva, v prometu dosegajo manjši delež. V tem oziru Slovenija zaostaja za povprečjem EU in za vsemi državami primerjave, razen za Hrvaško.



Slika 117: Energetski delež biogoriv v celotni porabi goriva v prometu¹⁹

Kljub obetavnim napovedim o pozitivnih učinkih biogoriv se v zadnjem obdobju povečuje dvom o učinkovitosti njihove uporabe. Zlasti je sporna proizvodnja in uporaba 1. generacije biogoriv (»agrogoriva«), ki naj bi imela negativne učinke na biotsko raznovrstnost, varstvo voda in prsti, globalne spremembe rabe tal in zviševanje cen hrane. Pozornost se zato počasi preusmerja na 2. generacijo biogoriv (odpadki in ostanki rastlin, kot so lesna biomasa, slama, trava), ki pa zaenkrat še ni dovolj raziskana, medtem ko je proizvodnja na osnovi obstoječe tehnologije precej draga (EEA, 2008). EU ob visokih cenah motornih goriv in čedalje večji energetski odvisnosti veliko stavi na biogoriva, ki naj bi skupaj z drugimi obnovljivimi viri energije do leta 2020 predstavljala 10 % energetske mešanice (EEA, 2009; Renewable Energy Directive 2009/28 /EC) [160].

Tabela 56: Delež obnovljive energije v transportu (%)

	EU	Avstrija	Hrvaška	Italija	Madžarska	Nemčija	Slovenija
2012	5,0	7,8	0,4	5,7	5,2	6,9	2,9
2013	5,4	7,8	2,2	4,9	5,6	6,4	3,5
2014	5,9	8,9	2,1	4,5	6,9	6,6	2,6
Cilj za 2020	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

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

¹⁹ Evropska komisija: <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/country>

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. Žal je vlada RS to olajšavo maja 2014 ukinila. 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 6,20 %, leta 2018 7,00 %, leta 2019 8,40 % in leta 2020 10,00 %.

V akcijskem načrtu za obnovljive vire energije za obdobje 2010–2020 (AN OVE), ki ga je 8. julija 2010 sprejela Vlada RS, je med programi podpore za spodbujanje uporabe obnovljivih virov energije v prometu jasno zapisan tudi program, ki opredeljuje oprostitev trošarin za biogoriva, če so ta mešana s fosilnimi gorivi. Žal je bil ta ukrep maja 2014 ukinjen.

6.2.4.2 Potencial biogoriv za uporabo v prometu

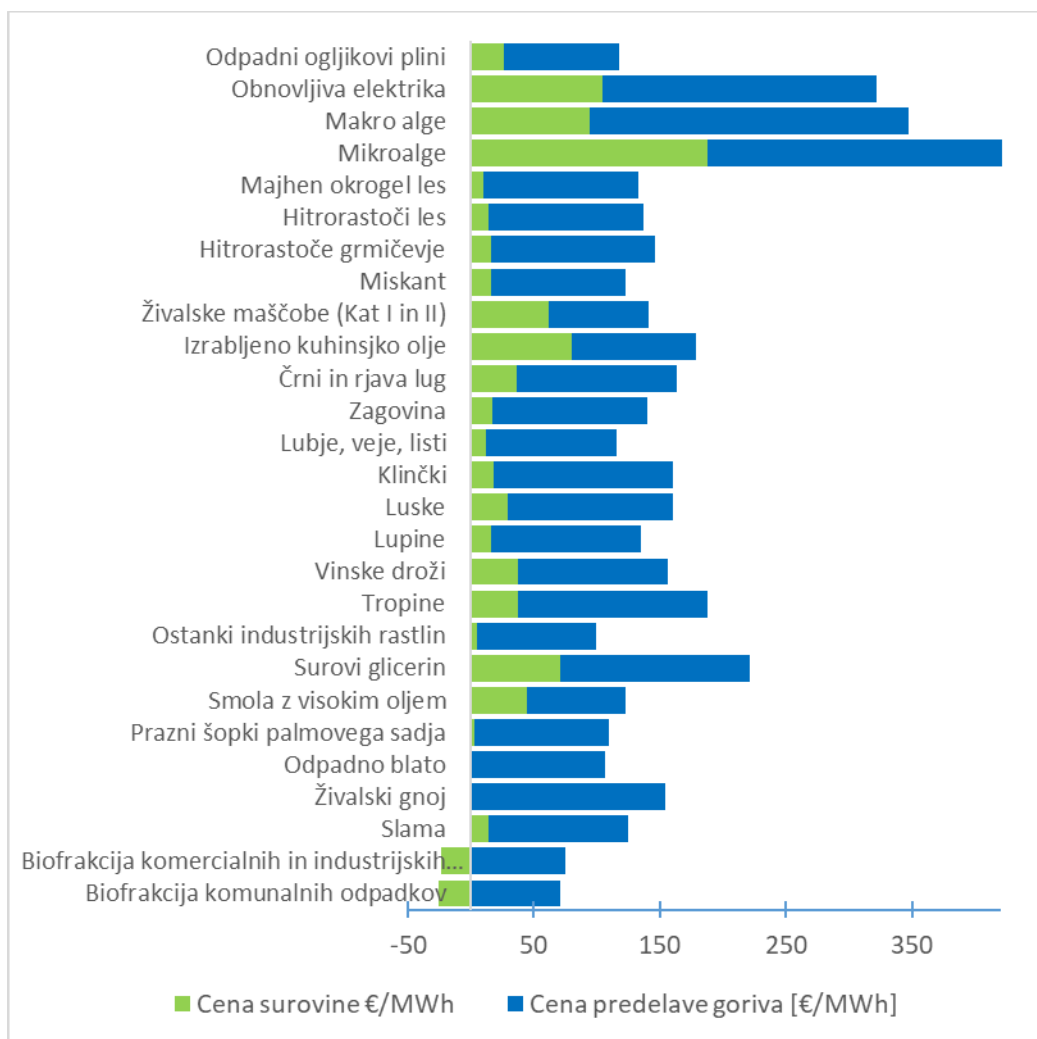
Potencial uporabe biogoriv druge generacije je bil ocenjen v okviru delovnega poročila [161]. Tu so navedeni le pglavitni deli poročila. Količina biogoriv druge generacije se da oceniti glede na prirast rastlin, ki bi jih posejali v Sloveniji (bodisi industrijske rastline (biogorivo 1. generacije) ali pa sekundarno izkoriščanje ostankov rastlinja (biogorivo 2. generacije). Ker je zaradi bioloških značilnosti manj biomase iz favne, ki omogoča predelavo v goriva (npr. živalske maščobe ipd), je ocena iz rastlinja smiselna [162].

Letni gozni prirastek v Sloveniji (za trajnostni gozd) obsega med 10-12 m³/ha. Povprečni izpleni pri predelavi 1 kg je 380 ml etanola/1 kg lesa. Kurilna vrednost (etanola) tako znese 430 MWh/km² (etanol se pridelava iz približno 30% ostankov lesa, ki nastanejo pri obsevani). Ob upoštevanju omejene razpoložljive površine in predvsem omejene predelave ostankov lesa, se pričakuje, da bo količina irabe gozda za gospodarjenje mogoča šele leta 2050, zato je pričakovani delež biogoriv med 10 in 20 % (Tabela 57).

Tabela 57: Delež biogoriv pri različnem deležu gospodarjenja z gozdom

Delež gozda za gospodarjenje	Površina za gospodarjenje [km ²]	Delež površine Slovenije	energija [kWh]	Delež biogoriva (glede na leto 2017)
50 %	5080	26.5%	2.29 10 ⁹	10.1%
75 %	7620	39.7%	3.28 10 ⁹	15.0%
100 %	10150	52.9%	4.36 10 ⁹	20.1%

Cene biogoriv so odvisne od cene osnovne odpadne surovine in njene predelave. A hkrati literatura [161] ne opredeljuje možnosti za njihovo hitro zmanjševanje v prihodnosti, saj je večina predelav preizkusne narave. Slika 118 navaja cene odpadnih surovin in predelave ter stroške pridobivanja biogoriv 2. generacije. Pri tem je potrebno poudariti, da so takšna goriva trenutno še vesno precej dražja kot je osnovna cena fosilnih goriv (40 €/MWh [163], [164]).



Slika 118: Cena odpadnih surovin in predealve v biogorivo v €/MWh

6.2.4.3 Poslovno in tržno okolje

V Republiki Sloveniji trenutno ni v veljavi niti en ukrep, ki bi spodbujal rabo biogoriv v kombinaciji s klasičnim fosilnim dizelskim gorivom. Še vedno je sicer v veljavi ukrep oprostitev trošarin pri rabi čistega biodizla (B100). Zaradi tehničnih omejitev pri uporabi čistega biodizla in tudi dokaj negativnega odnosa kupcev do rabe biogoriv, pa so količine prodanih biogoriv v taki obliki (B100) zelo majhne in nikakor ne zadoščajo za izpolnjevanje zahtev uredbe.

Na sorazmerno nenaklonjeno tržno okolje za uvajanje biogoriv so v letu 2015 vplivali predvsem naslednji dejavniki:

- ukinitve vračila trošarin za biogoriva, ki se dodajajo fosilnim gorivom;
- nemotiviranost kupcev za nakup čistega biodizla (B100), kar sicer velja tako za maloprodajno (MP) kot tudi veleprodajno mrežo (VP);
- zakonske omejitve pri parnem tlaku v primeru uporabe bioetanola in
- obstoječi model cen naftnih derivatov v Sloveniji.

Tabela 58 navaja delež obnovljivih virov v gorivih po letih kot je predpisan po Uredba o obnovljivih virih energije v prometu [165].

Tabela 58: Predpisan delež obnovljivih virov v gorivih po letih

Leto	Delež OVE (energijski delež)
2017	6,2 %
2018	7,0 %
2019	8,4 %
2020	10,0 %

Ukrep, ki bi ponudnikom goriv na trgu ponovno povečal možnosti plasiranja biogoriv z dodajanjem fosilnim gorivom, je popolna deregulacija cen naftnih derivatov, skladno s sistemom, ki je sicer v veljavi v praktično vseh državah članicah EU. Dodajanje biogoriv fosilnim gorivom po obstoječem modelu cen, ki ne vključuje povečanih stroškov zaradi višje tržne cene biogoriv, pa je za distributerje neizvedljivo. Izvajanje uredbe OVE pod obstoječimi pogoji namreč bistveno poslabša gospodarsko učinkovitost ponudnikov na trgu. Ocenjena škoda, ki bi jo utrpeli distributerji goriv, če bi morali določila Uredbe OVE izvajati pod obstoječimi pogoji, bi dosegala 58 milijonov € v letu 2017 in do 68 milijonov € v letu 2020.

6.2.4.4 Možnosti izpolnjevanja ciljev emisij TGP v prometu z biogorivi

Izpolnjevanje zakonsko določenih ciljev s področja emisij TGP v prometu in količin biogoriv, ponujenih na slovenskem trgu v letu 2015, je v tehničnem smislu mogoče doseči predvsem:

- z uporabo biogoriv, ki izpolnjujejo trajnostna merila, skladno s predpisom, ki ureja trajnostna merila za biogoriva in
- z uporabo električne energije iz obnovljivih virov, pri čemer mora potrdilo o izvoru električne energije izkazovati 100% obnovljiv vir.

Zmanjšanje emisij v prometu je poleg tega mogoče doseči še z uporabo drugih alternativnih energentov v prometu, kot so:

- vodik,
- naprednejša alternativna biogoriva,
- zemeljski plin (SZP in UZP) in biometan ter

- utekočinjen naftni plin (UNP).

6.2.4.5 Zakonske osnove

Z nudenjem biogoriv na trgu so povezani predvsem naslednji zakonski akti:

Zakonodaja s področja omejevanja emisij TGP

- UREDBA o trajnostnih merilih za biogoriva in emisiji TGP v življenjskem ciklu goriv v prometu (Ur.l. RS št. 38/12), ki opredeljuje emisije toplogrednih plinov (TGP) v prometu.

V letu 2015 je bila sprejeta EU-direktiva (2015/625/ES) o določitvi metod izračuna in zahtev poročanja na podlagi Direktive RED, ki jo bo treba še prenesti v naš pravni red, in sicer do aprila 2017. Na podlagi navedene uredbe bo omogočeno poročanje in bosta pri izračunu zmanjšanja emisij upoštevana tudi UNP in električna energija iz OVE za pogon električnih vozil, kar do sedaj ni bilo možno. Vključitev oziroma upoštevanje UNP bo olajšalo približevanje postavljenim ciljem. Drugi element, ki prav tako prispeva k zmanjšanju emisij, je vključitev obnovljive elektrike, dane v promet za pogon električnih avtomobilov, vendar je trenutno zaradi majhnega števila odjemalcev (električnih vozil) zmanjšanje emisij na ta račun zanemarljivo. Vpliv se zazna šele na četrti decimalki skupnega znižanja emisij (SZE).

Zakonodaja o biogorivih oziroma uporabi goriv iz obnovljivih virov – povezava z Energetskim zakonom

- Uredba o obnovljivih virih energije v prometu [165], ki določa načine in ukrepe za izpolnjevanje ter preverjanje obveznosti dajanja biogoriv in drugih obnovljivih virov energije za promet na trg. *Opomba:* Uredba zamenjuje dosedanje Uredbo o pospeševanju uporabe biogoriv in drugih obnovljivih goriv za pogon motornih vozil (Ur.l.RS št.103/07).

Postavljeni nacionalni cilji izhajajo iz evropske Direktive o spodbujanju rabe energije iz obnovljivih virov [166] in Direktive o pospeševanju rabe biogoriv in drugih obnovljivih virov v prometu [167].

Direktiva 2009/28/ES [166] določa, da mora vsaka država članica sprejeti nacionalni akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010–2020 (v nadaljevanju AN OVE). V teh načrtih je treba določiti letne nacionalne cilje držav članic za deleže energije iz obnovljivih virov, porabljene v prometu, elektroenergetiki in za ogrevanje ter hlajenje v letu 2020, in predvidene ukrepe, s katerimi bodo države članice dosegle predpisani cilj v letu 2020. Direktiva 2009/28/ES določa cilje na področju obnovljivih virov energije, ki so za države članice pravno zavezujoči. Republika Slovenija mora do leta 2020 doseči najmanj 25% delež OVE v končni bruto porabi energije. Poleg tega direktiva določa tudi poseben cilj za promet, ki je za vse države članice enak. Do leta 2020 je treba doseči 10% delež biogoriv in drugih obnovljivih virov energije v prometu. Z Direktivo (EU) 2015/1513 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 9. septembra 2015 o spremembi Direktive 98/70/ES o kakovosti motornega bencina in dizelskega goriva ter spremembi Direktive 2009/28/ES o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, se spreminjajo nekatera določila Direktive 2009/28/ES, kar je prav tako preneseno skupaj s predlogom te uredbe.

Energetski zakon (Uradni list RS, št. 17/14 in 81/15) v prvem odstavku 380. člena določa, da morajo distributerji plinastih in tekočih goriv za promet dati na trg biogoriva ali druge obnovljive

vire energije za promet v deležu, ki je določen v AN OVE in izhaja iz 28. člena Energetskega zakona glede na količino goriv, ki jih dajo na trg v posameznem letu.

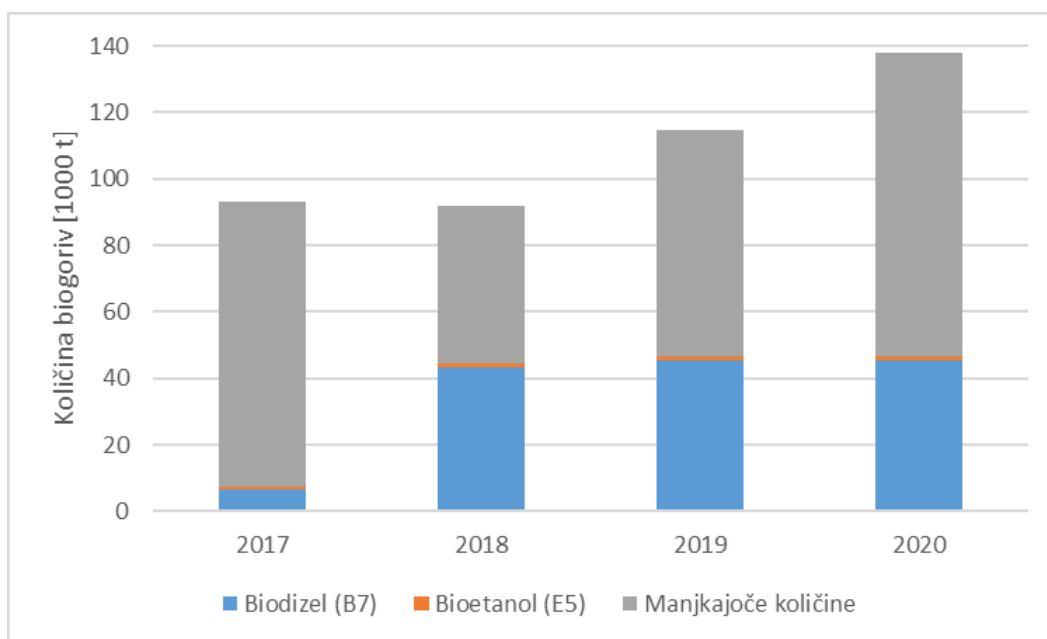
S tem predlogom uredbe se distributerje zavezuje k doseganju začrtanih ciljev. Doseganje teh se bo preverjalo prek letnega poročanja. Prav tako so predpisani enačba za izračun deleža obnovljivih virov energije v prometu in načini ter mehanizmi, ki zavezancem omogočajo izpolnjevanje predpisanih deležev.

Države se lahko odločijo za ambicioznejše cilje z bogatejšimi mešanici (npr. B10 ali B20), toda te morajo biti na voljo posebej, saj so dovoljene za uporabo le pri manjšem deležu vozil. Na straneh ACEA [168] navajajo, da so za seznam primernih vozil za bogatejše mešanice pristojna nacionalna združenja, pri čemer pa evropski seznam z gorivom B10 (10 % biodizla) kompatibilnih avtomobilov povečini obsega le dizle francoskih proizvajalcev (npr. PSA za avtomobile izdelane od leta 2000 dalje, Renault od Euro 5 oziroma leta 2008 dalje). Hiter pregled literature na spletu pokaže, da so z biodizlom kompatibilni tudi motorji nekaterih ameriških proizvajalcev, toda to so povečini večji motorji za (pol)tovorna vozila, ki so v Evropi bolj izjema kot pravilo.

Petrol kot največji trgovec z gorivi v Sloveniji se omejitvev proizvajalcev zaveda, hkrati pa navaja še druge omejitve, na primer omejitve pozimi, omejen rok skladiščenja in visoke cene biodizla ter začetka veljavnosti uredbe s 1.7.2017. Tudi zato in zaradi večje agresivnosti biodizla tako na infrastrukturi kot na vozilih, se je delež biodizla v gorivih le postopno dvigoval.

Glede na študijo Petrola [160], je v letu 2018 predvidena realizacija 43.400 ton biodizla (B7), največji potencial naj bi bil 51.300 ton (torej 7.900 ton več), manjkajoča količina glede na realizacijo pa bi znašala 47.200 ton. Tako bo v letu 2018 predvideno realiziran 3,52 % delež biogoriv namesto predpisanega 7,0 %. V letih 2019 in 2020 Petrol predvideva realizacijo v višini 45.400 ton biodizla, primanjkljaj pa se bo močno povečeval zaradi predvidene povečane prodaje. Del primanjkljaja bi lahko nadomestili z metilestrom iz uporabljenega kuhinjskega olja.

Slika 119 kaže obstoječo in predvideno količino biogoriv Petrola. Zaradi omejitvev proizvajalcev avtomobilov delež biodizla tudi v prihodnje ne bo šel prek 7 % biodizla, kar pomeni zaostanek za predpisi iz uredbe. Čeprav se je delež biodizla v letu 2018 povečal, pa Petrol načrtuje, da se bo relativni delež biodizla v prihodnje zmanjšal.

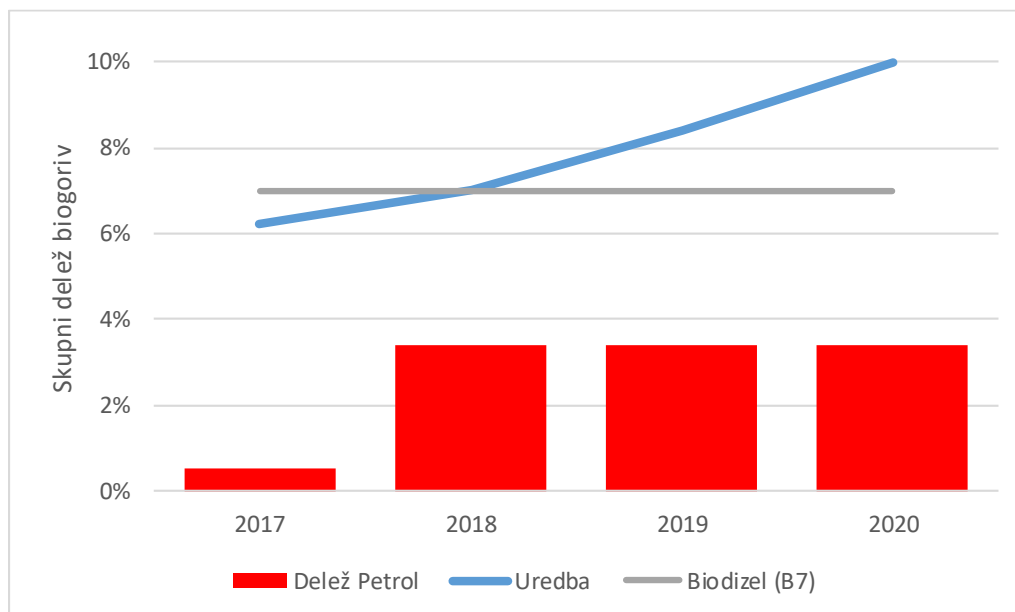


Slika 119: Količina biogoriv glede na uredbo

Petrol navaja naslednje ovire pri povečavi deleža biogoriv:

- Omejitve glede kakovosti goriva (npr. pozimi) ter glede skladiščenja.
- Višje koncentracije povečini niso podprte s strani proizvajalcev avtomobilov, prav tako pa te mešanice zahtevajo ločena skladiščna in prodajna mesta
- Dodatno primešavanje biogoriv praktično ni mogoče, saj je Slovenija odvisna od uvozne mešanice.
- Višja cena biodizla

Slika 120 prikazuje predviden delež biogoriv, označena sta tudi predpis iz Uredbe in meja 7 % za biodizel (B7).



Slika 120: Delež biogoriv med vsemi gorivi

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

7 Pametna omrežja

7.1 Zahteve za 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, in bo imela zelo veliko vlogo pri prihodnjem delovanju celotnega energetskega sektorja [169], [170].

Kompleksnost in s tem povezana pod-definiranost koncepta pametnih omrežij onemogoča jasnega seznama povezanih tehnologij. Vendarle lahko na podlagi različnih konceptov izločimo poglobitve sestavne dele pametnih omrežij. Tabela 62 tako navaja elemente pametnih omrežij, Tabela 61 pa predstavlja gradnike poslovnega modela pri teh storitvah. Nenazadnje Tabela 60 prikazuje pregled primerov koristi za posamezno skupino teh storitev in Tabela 63 načine sodelovanja, motivacije ter tehnologije in mehanizmov za posamezne koncepte pametnih omrežij.

Tudi zato je leta 2006 Evropska tehnološka platforma trajnostnih energetskega sistemov predstavila koncept električnega omrežja prihodnosti imenovano napredno oziroma pametno omrežje (ang. Smart Grid) [171]. 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.

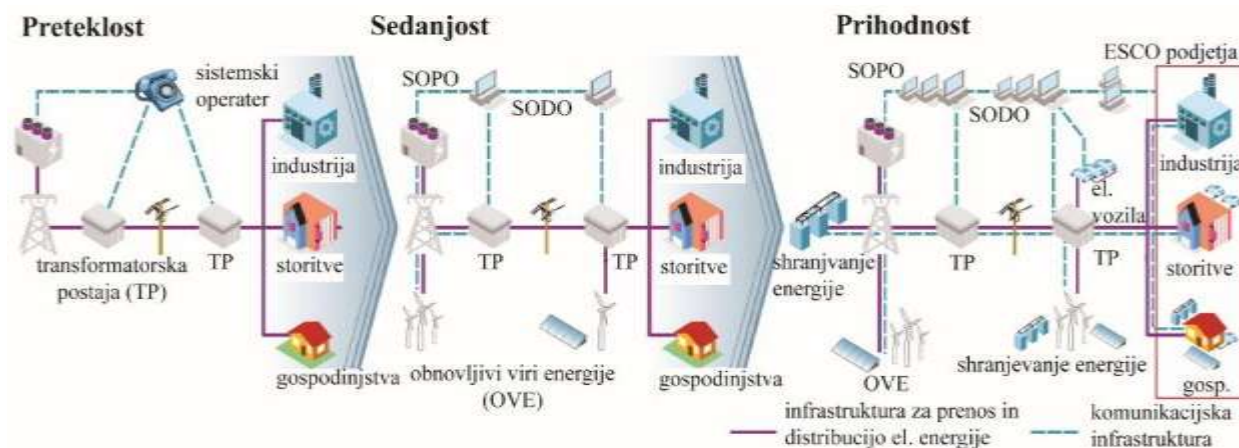
Podobno opredelitev je sprejela Skupina evropskih regulatorjev za električno energijo in plin [172]. koncept naprednega omrežja obsega zbirko tehnoloških rešitev, ki uporabljajo velike količine dostopnih podatkov za zagotavljanje učinkovitejših povezovanj malih in razpršenih proizvajalcev električne energije v celovit energetskega sistem. Takšna omrežja temeljijo na naprednih merilni in telekomunikacijski infrastrukturi, ki omogoča nove in inovativne rešitve ter storitve nadzora in upravljanje porabe energije z namenom povečanje učinkovitosti, zanesljivosti in kakovosti sistema ter zanesljivosti oskrbe z energijo. Tabela 59 povzema lastnosti sistemov pametnih omrežij.

Tabela 59: Tehnične in ekonomske lastnosti sistemov pametnih omrežij

Lastnosti	Podrobno	Opis
Tehnične karakteristike tehnologij	Učinkovitost	99-100%
	Tipična velikost	10 kW (lokalno) do 1 GW (nacionalni nivo)
	Možnost skaliranja	Da
	Štrošek investicije	320 mio €

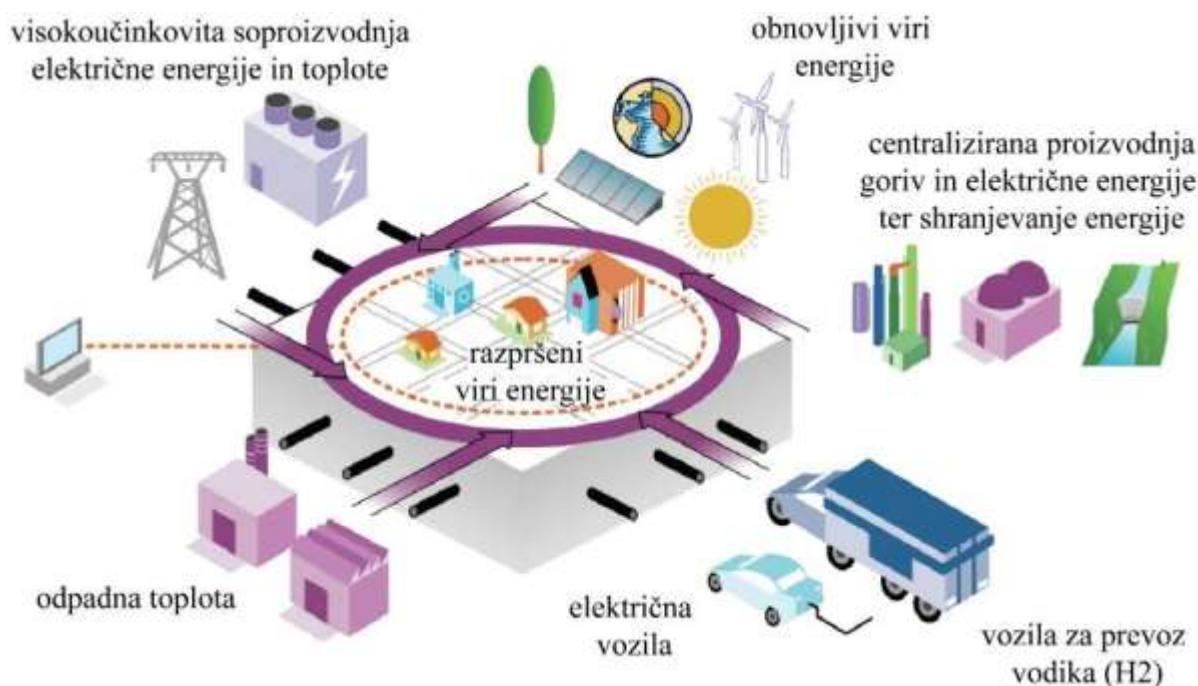
Ekonomske karakteristike tehnologij	LCOE	12 % vlaganja v omrežje
Perspektiva razvoja do leta 2050	Izboljševanje izkoristka in povečevanje deleža obnovljivih virov, optimizacija omrežja	
Ekonomski in tehnični potenciali po sektorjih	Hitro uveljavljanje: Industrija Srednje-hitro uveljavljanje: gospodinjstva Počano uvajanje: Transport	
Ključni izzivi do leta 2030	Izvedbe v praksi	
Diskusija okoljske karakteristike	/	

Slika 121 predstavlja razvoj elektroenergetskega sistema in razvoj koncepta naprednih omrežij. Po tem konceptu končni uporabniki ne igrajo le vlogo strank in porabnikov energije, temveč so tudi proizvajalci le.te, kar bistveno spremeni njihovo vlogo v elektroenergetskem sistemu [169].



Slika 121: Razvoj elektroenergetskega sistema in razvoj koncepta naprednih omrežij [169]

Slika 122 kaže koncept prihodnjega inteligentnega energetskega sistema, ki naj bi omogočal trajnostno in učinkovito upravljanje različnih tehnologij s poudarkom na uporabi obnovljivih virov energije [173].



Slika 122: Koncept prihodnjega inteligentnega energetskega sistema s poudarkom na uporabi obnovljivih virov energije [173]

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.

Čeprav letna vlaganja v projekte povezane z naprednimi omrežja naraščajo (po podatkih Mednarodne agencije za energijo, v letu 2015 za 12% napram letu 2014) pa omenjene težave ostajajo glavne ovire pri nadaljnjem razvoju naprednih omrežjih. 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 [174].

7.2 Razvojna študija pametnih omrežij v Sloveniji

Napredni števcji 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. Upoštevajoč pomen električne energije v sodobni družbi in prisotnosti naprednih števcjev 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 števec, ki se uporabljajo na lokaciji merjenja. Uporaba pametnih števcov 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 števcov 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 [175] 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 dugi strani IEA nadzira investicije v pametna omrežja. Slika 123 prikazuje trend v letih 2014-2018 [176].



Slika 123: Investicije v pametna omrežja glede na tehnologijo

Čeprav se zdi, da so vsote velike, 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 [176] 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 [177] in Akcijski načrt za energetske učinkovitost [178]. 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. Do leta 2025 naj bi bili napredni že vsi. Uvedba naprednih merilnikov pri končnih uporabnikih omogoča, da imajo ti vedno na voljo podrobne informacije o porabi vseh oblik energentov, kar še dodatno širi možnosti novim energetskim storitvam, saj je pravilno razumevanje takšnih podatkov prvi korak k doseganju prihrankov energije. Distributerji električne energije pričakujejo, da bodo napredni števeci, poleg koristi za končnega uporabnika, te tudi spodbujali k dinamičnemu prilagajanju porabe potrebam elektroenergetskega sistema. Z

razumevanjem konteksta porabe energije in ustreznim nadomestilom, se bo poraba lahko elastičneje prilagajala razmeram distribucijskega sistema.

Pametna omrežja omogočajo uporabo naprednih rešitev pri uvajanju okolju prijaznejših rešitev in trajnostnega razvoja v elektroenergetski sistem. Pri tem lahko namesto vlaganj v finančno in organizacijsko zahtevno širitev omrežja z uporabo sodobne sekundarne opreme, informacijsko-komunikacijskih tehnologij in rešitev v oblaku bolje izkoristi obstoječe omrežje. Del sistemskih storitev je potrebno zagotoviti iz sistemskih hranilnikov električne energije, pri čemer so odjemalci deležni (še) višje kakovost dobave električne energije ter možnost aktivnega delovanja na trgih z električno energijo in sistemskimi storitvami.

V razvoj pametnih omrežij v Sloveniji se vključujejo tudi ključni sistemski operaterji, na primer ELES [179], pri čemer preverjajo vpliv ključne opreme pametnih omrežij (npr. sistemski hranilniki električne energije, napredna orodja vodenja omrežja, napredna orodja optimizacije rabe električne energije v lokalnih skupnostih in stavbah ter platforma za vključevanje odjema v sistemske storitve. Rezultat projekta bo napredna infrastruktura, ki bo sistemskemu operaterju omogočala kakovost storitev za odjemalce električne energije z uporabo trajnostnih in okolju prijaznih rešitev [179].

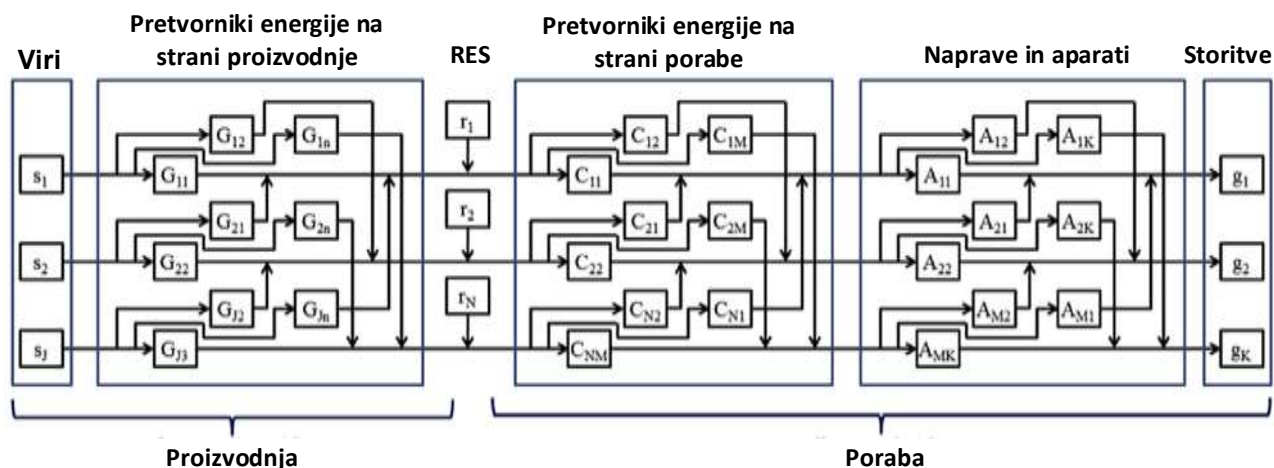
Naslednji projekt v teku je demonstracija sistema, ki z uvedbo naprednih (»pametnih) storitev prilagajanja, tako odjema malih porabnikov kot proizvodnje malih razpršenih ponudnikov, omogoča demokratično vključitev malih odjemalcev in proizvajalcev na trge z električno energijo in sistemskimi storitvami, hkrati pa napoveduje in povečuje razpoložljive kapacitete sistemskih storitev, ki jih za delovanje elektroenergetskih sistemov (EES) potrebujejo sistemski operaterji [180].

Dostop malih odjemalcev in razpršenih proizvodnih naprav (v ciljnih skupinah gospodinjstev in SME) na trge z električno energijo in sistemskimi storitvami prispeva k: vključitvi fleksibilnosti teh odjemalcev in s tem k povečanju razpoložljivih kapacitet sistemskih storitev, vzpostavitvi novih storitev (regulacija napetostnega profila, kompenzacija jalove energije ...) namenjenih sistemskim operaterjem distribucijskega omrežja; zmanjševanju potreb po investiranju v razvoj in nadgradnjo omrežij; dvigu zavedanja pomena prilagodljive rabe energije skladno s stanjem v omrežju in dogajanju na trgih z električno energijo; izboljšanju ekonomike investiranja v razpršene obnovljive vire energije in pametne ter energetske učinkovite naprave pri odjemalcih; dodatni funkcionalnosti pametnih naprav povezanih v platformo agregatorja, ki omogoča lastnikom naprav ustvarjanje dodatnih prihodkov (monetizacija); večja samooskrba z energijo vzpostavlja možnost otočnega obratovanja na nivoju porabnika; preko nadzora porabe in KPI prispeva k zmanjšanju porabe električne energije v gospodinjstvih in posledično k manjšemu izpustu toplogrednih plinov v okolje [175].

7.3 Multi utility

Analiza ustreznost različnih energetskega infrastrukture se za namene načrtovanja pogosto izvaja neodvisno [181]. Vendar pa se lahko v t.i. MCES (»Multi-Carrier Energy System« – Energetski sistemi z več nosilci energije) energija iz primarnih virov do končnih uporabnikov pretvori v druge

oblike. Slika 124 prikazuje MCES v katerem se uporabljajo pretvorniki in naprave za zagotavljanje različnih storitev na različnih energetskih infrastrukturah. V okolju z več nosilci energije obstaja nekaj osnovnih virov (npr. zemeljski plin), ki se uporabljajo v različnih infrastrukturi za oskrbo različnih oblik energije (npr. plina, toplote in električne energije) [182]. Ker ima lahko okvara ali visoko povpraševanje po enem energetskem viru ali infrastrukturi za posledico pomanjkanje teh primarnih virov, je potrebno v analizi ustreznosti energetskih sistemov upoštevati tudi delitev virov.



Slika 124: Model MCES

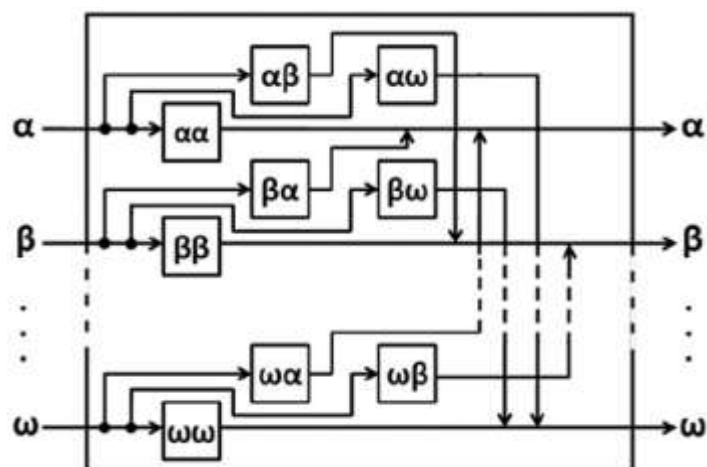
MUESCO v MCES izkorišča storitve, ki jih tak sistem nudi na različnih tipih dobave energije in različnih infrastrukturah. Možnost zagotavljanja določene storitve iz različnih virov energije je predstavljena z uvedbo povezave med pretvorniki energije in napravami. Poudarek na storitvi predstavlja nov pogled glede na tradicionalen način za opis izhodov sistema s podanimi energetskimi vrednostmi. Z vidika energetskih storitev, je lahko uporabljena energija za zagotavljanje enake storitve (npr. ohranjanje konstantne temperature v prostoru ali kuhanje določene vrste hrane) drugačna, če se uporabijo različni viri energije.

Pretvorniki energije (npr. sproizvodnja toplote in elektrike, gorivne celice) povezujejo vhode različnih virov energije z ustreznimi izhodi. Ker lahko pretvorniki energije vzpostavijo redundantne povezave, se z vidika odjemalca poveča zanesljivost oskrbe, kajti zagotavljanje določene energetske storitve ni več odvisna le od enega vira energije ali omrežja [183]. Zaradi tega je potrebno pri načrtovanju MCES upoštevati odvisnost bremen, da se v primeru izpada enega nosilca energije ali infrastrukture ne preobremeni drugega. Na primer, če pride do izpada na plinovodu, lahko odjemalci zaradi prehoda iz ogrevanja s plinskimi pečmi na ogrevanje z električnimi grelci preobremenijo električno omrežje.

7.3.1 Komponente MCES na strani porabe

Na strani porabe so bili razviti različni modeli za obravnavo odvisnosti med posameznimi nosilci in oblikami energije. Slika 125 prikazuje splošen model t.i. MCEH (Multi-carrier energy hub), ki ima več vhodov (npr. elektrika, zemeljski plin in daljinsko ogrevanje) za oskrbo različnih bremen (npr. elektrika in ogrevanje) na izhodih [184], [185]. V MCEH različni nosilci energije (α, β, ω)

prehajajo med seboj preko pretvornikov energije za bolj učinkovito in višjo stopnjo zanesljivosti oskrbe.



Slika 125: Model MCEH

Tak model omogoča vključitev in analizo direktnih energetskega linij (npr. plin v plin) ali pretvorb (plinska turbina za proizvodnjo elektrike) ter različne profile porabe, za katere je potrebno zagotoviti specifično energetske storitev. Tako so lahko vključeni različni tipi stavb in energetske porabniki poljubne velikosti in obsega (npr. bolnišnica, hotel, proizvodnja).

7.4 Poslovni modeli v pametnih omrežjih

7.4.1 Pametna omrežja in primeri poslovnih modelov

S stališča razvoja novih poslovnih modelov v okolju pametnih energetskega 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. Z njimi povezane tehnologije vključujejo pametne števec na mestu odjemalcev in komunikacijske povezave med sistemi za upravljanje, ki ponudniku storitev omogočajo dostop do informacij. Te tehnologije se štejejo kot osnova za ponudbo pametnih energetskega storitev. Poleg teh tehnologij, pa morajo podjetja razviti nove poslovne modele, ki jim omogočajo, da ustvarijo in zajamejo neko korist v večjem obsegu s ponudbo novih pametnih energetskega storitev končnim odjemalcem [186].

Tabela 60 prikazuje pregled primerov koristi za posamezno skupino teh storitev.

Tabela 60: Koristi za akterje v energetskih storitvah pametnih omrežij

	Koristi za odjemalca	Koristi za systemskega operaterja	Koristi za ponudnika storitev/agregatorja
	<i>Priključevanje OVE</i>		
	<ul style="list-style-type: none"> • Prejema financiranje za namestitve PV; cenejša električna in dobičkonosna prodaja električne energije 		<ul style="list-style-type: none"> • Obresti na posojila za priključevanje PV in prihodki podpora (t.i. feed-in tariffs)
Integracija OVE	<i>Povečanje integracije OVE</i>		
	<ul style="list-style-type: none"> • Prejema financiranje za namestitve PV; cenejša električna in dobičkonosna prodaja električne energije • Dinamično oblikovanje cen znižuje račune za elektriko pri proizvajalcih iz razpršenih OVE • Proizvajalci iz razpršenih OVE prejema provizijo za ponujanje storitev za izravnavo 	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamično oblikovanje cen zmanjšuje konično obremenitev in znižuje zahteve po zmogljivosti omrežja ob konicah • Storitve napetostne optimizacije je dobičkonosna s stališča veleprodajnih tarif • Skladiščenje energije zmanjša konično obremenitev in systemske stroške, izboljšuje prožnost/fleksibilnost elektroenergetskega sistema in kakovost električne energije, zmanjšuje negativne učinke OVE 	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamično oblikovanje cen zmanjšuje konično obremenitev in znižuje zahteve po rezervni moči za systemske storitve • Donosnost storitev za izravnavo • EV agregatorji, ki polnijo baterije v času viška OVE in nizkih cen električne energije • Kombiniranje OVE in polnjenje EV izboljšuje finančne koristi OVE in EV
Prilagajanje odjema	<ul style="list-style-type: none"> • Manjša poraba energije in nižji računi za elektriko • Višja kakovost zagotavljanja moči • Izboljšana izbira in možnosti za upravljanje s stroški energije; nadzor nad računi za energijo, porabo in CO2 odtisom 	<ul style="list-style-type: none"> • Nižji stroški preobremenitev, izgub, obratovalnih rezerv; nižje investicije v prenosne linije ali izboljšave omrežja • Cenejše systemske storitve • Dostop do izboljšanih storitev za regulacijo in statistična zanesljivost velike količine sredstev za prilagajanje odjema • Enakomerna obremenilna krivulja • Večja zanesljivost omrežja in kakovost oskrbe 	<ul style="list-style-type: none"> • Nižje investicije v proizvodne vire z znižanjem konične obremenitve; zmanjšana nestanovitnost cen • Prihodki od ponujanja podpornih storitev
Električna vozila	<ul style="list-style-type: none"> • Nižje cene za energijo, baterije in parkiranje • Dodatni prihodki za ponujanje podpornih storitev 	<ul style="list-style-type: none"> • Nižji systemski stroški • Dostop do izboljšanih storitev za regulacijo • Izboljšana stabilnost omrežja in upravljanje s prekinitvami oskrbe • Boljše izravnavanje bremen 	<ul style="list-style-type: none"> • Prihodki in dobiček z V2G • Nižji stroški za zagotavljanje energije z G2V

7.4.2 Integracija OVE

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.

Glede na prvo vrsto storitev (priključitev in dostop OVE v omrežje), se uporablja več poslovnih modelov. Le ti izhajajo iz načela, da »svet ne potrebuje novega, že dvestotega start-up podjetja za proizvodnjo sončnih celic, temveč potrebuje dvesto storitvenih podjetij, ki bodo sončne celice spravile na strehe« [187]. Tako se lahko vzpostavijo poslovni finančni modeli, ki temeljijo na sofinanciranju namestitev ali najemu streh ter modeli, ki temeljijo na sodelovanju z energetskimi podjetji, ki malim »prosumerjem« zagotavljajo dostop do omrežja. Tabela 61 predstavlja gradnike poslovnega modela pri teh storitvah.

Tabela 61: Gradniki poslovnega modela uvajanja storitev OVE

Gradnik	Opis
Predlog koristi	Dobavitelj energije ponudi financiranje za PV sistem na strehi. Odjemalec lahko financira investicijo, ki jo poplača s prodajo proizvedene energije.
Segment odjemalcev	Dobavitelj mora razlikovati med aktivnimi in pasivnimi odjemalci. Dvosmerni pretok informacij je bistvenega pomena.
Infrastruktura	Ključni viri: npr. PV sistem. Ključne aktivnosti: dobavitelji razvijajo nove načine za upravljanje premoženja in delovanja. Ključna partnerstva s proizvajalci sistemov za OVE ali inštalacijskimi podjetji.
Model prihodkov	Dobavitelj ima profit od obresti na posojila in lahko doda investicijo v osnovna sredstva. Banke, ki financirajo PV sisteme, imajo koristi od feed-in tarif

Namen druge kategorije storitev pa je povečati obseg obnovljivih virov energije v omrežju z zmanjšanjem negativnih učinkov sporadičnosti obnovljivih virov v elektroenergetskem sistemu. Sporadičnost sončne in vetrne energije namreč povečuje število konic in upadov električne energije v omrežju [188]. Sistemski operaterji in energetska podjetja želijo zmanjšati ta nihanja zaradi boljšega ravnovesja med ponudbo in porabo električne energije ter izboljšanja zanesljivosti in kakovosti oskrbe. V literaturi so opredeljene različne storitve, ki lahko zmanjšajo te negativne učinke in vključujejo naslednje:

1. storitve, ki omogočajo razpršenim proizvajalcem, da se odzovejo na dinamične cene;
2. storitve, ki omogočajo razpršenim proizvajalcem, da sodelujejo pri izravnavi;
3. storitve napetostne optimizacije s strani sistemskega operaterja;
4. storitve, ki omogočajo razpršenim proizvajalcem, da ponujajo shranjeno energijo, proizvedeno iz OVE;

5. storitve za prilagajanje odjema, ki omogoča izravnavo med ponudbo in porabo.

7.4.3 Prilagajanje odjema

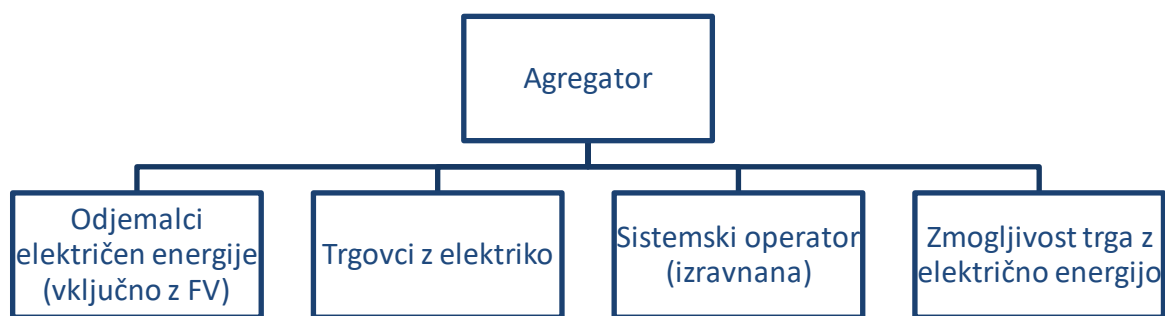
Pri teh storitvah dobavitelji energije ali sistemski operaterji pošiljajo odjemalcem signale za prilagoditev njihovih bremen (prilagajanje porabe električne energije). Pripravljenost odjemalca, da prilagodi porabo, omogoča dobavitelju energije ali sistemskemu operaterju zmanjšanje konične obremenitve za zagotavljanje zanesljivosti oskrbe in zanesljivosti sistema [189].

V praksi lahko te storitve temeljijo na cenah energije ali pa na spodbudah. V prvem primeru odjemalci prilagajajo svojo porabo energije glede na trenutno ceno energije. Storitve je lahko v različnih oblikah, vključno z določenim tarifnim režimom (t.i. Time-Of-Use Pricing ali TOU), zaračunavanjem konic (t.i. critical-peak pricing ali CPP) in dinamičnimi tarifami (t.i. real-time pricing ali RTP). Pri TOU se običajno dan razdeli v dve periodi in obračuna porabo z visoko in nizko tarifo. Pri zaračunavanju konic se cena električne energije občutno poveča, ko je omrežje v nevarnosti zaradi prevelike obremenitve. Pri dinamičnih tarifah pa se cena energije določa sproti (en dan vnaprej ali isti dan), kar odjemalcu omogoča sprotno prilagajanje svojega energetskega obnašanja. V tem primeru so cene pogosto določene s trenutnimi cenami elektrike (spot market price) [190].

V drugem primeru, ko storitve temeljijo na spodbudah, pa se odjemalcem ponudijo druge finančne spodbude, ki so ločene od maloprodajnih cen električne energije [191]. Odjemalci prejmejo plačilo za pripravljenost, da energetsko podjetje neposredno nadzoruje njihova bremena (npr. osvetlitev, hladilniki, ogrevanje) z daljinskim vklopom in izklopom [192]. Ti programi neposrednega upravljanja z bremenom se lahko kombinirajo z različnimi stopnjami posega, kar odjemalcu omogoča ohraniti določeno mero nadzora in s tem možnost, da zavrne intervencijo [193].

Pri pripravi poslovnih modelov za storitve prilagajanja odjema v stanovanjskem sektorju se je izkazalo, da delujejo le v primeru, če podjetja združijo bremena več odjemalcev [194], [195]. Storitve za prilagajanje odjema torej uvajajo novega akterja v industriji električne energije, t.i. agregator za prilagajanje odjema, ki je opredeljen kot "subjekt, ki koordinira hiše / porabnike električne energije na način, da jih je mogoče uporabiti kot mehanizem za izravnavanje omrežja z namenom zmanjšanja konične obremenitve" [194]. Agregiranje je potrebno, da se električna energija lahko ponudi sistemskemu operaterju oz. odgovornemu za izravnavo, trgovcem z električno energijo ali pa za povečanje zmogljivosti trga (Slika 126).

Za izravnavo se večinoma zahteva minimalna ponudba 1 MW, medtem ko se že eksperimentira z zmanjševanjem te zahteve na 0,1 MW, kar naj bi spodbudilo ponudbo iz naslova prilagajanja odjema [196]. Vendar pa je tudi v tem primeru potrebno agregirati veliko število bremen v stanovanjskem sektorju.



Slika 126: Agregator za storitve prilagajanja odjema

Ponudniki storitev za prilagajanje odjema (t.i. agregatorji) lahko ustvarijo prihodke s ponujanjem prilagajanja odjema kot podporno sistemsko storitev sistemskemu operaterju. Poslovni model v stanovanjskem sektorju je izvedljiv, ko je bila predhodno že nameščena komunikacijska infrastruktura in mora ponudnik storitev vlagati le v upravljanje podatkov in nadzor [194]. V primeru, ko imajo agregatorji v lasti tudi proizvodne vire, lahko s prilagajanjem odjema pridobijo tudi iz naslova zmanjšanih investicij v nove proizvodne zmogljivosti in s tem zmanjšanje stroškov proizvodnje [189], [197]. Ko agregatorji delujejo tudi kot trgovci z električno energijo, jim prilagajanje odjema koristi tudi na področju trgovanja, saj prilagajanje znižuje tržne cene električne energije in s tem tudi njihove stroške nakupa električne energije [191], [197].

7.4.3.1 Električna vozila

Poslovni modeli integracije električnih vozil (EV) v električna omrežja uvajajo dve storitvi:

- storitev vozilo-v-omrežje (V2G) in
- storitev omrežje-v-vozilo (G2V).

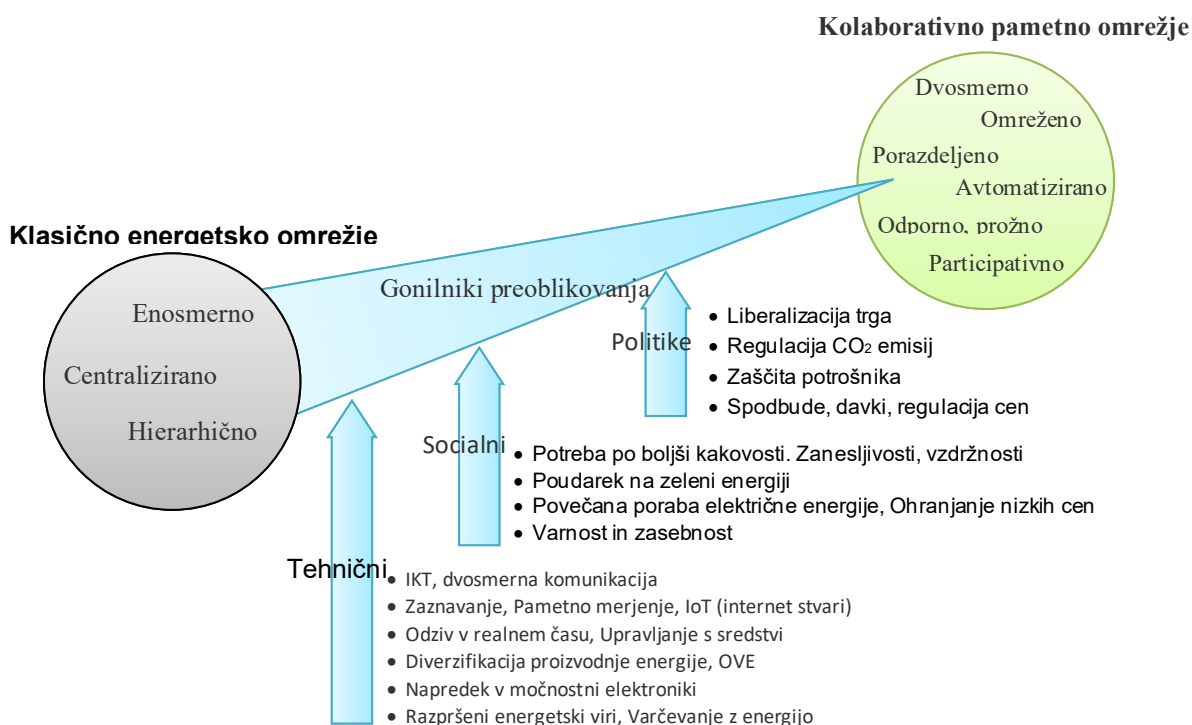
V V2G storitvi se izkorišča baterija v električnem vozilu kot hranilnik električne energije, ki se lahko proda na trgu z električno energijo ali nudi sistemskemu operaterju. V primeru G2V pa zajema storitev le nakup električne energije za polnjenje baterije.

V teh razmerjih se pojavlja nova vloga t.i. EV agregatorja, ki ustvarja in zajema dodatne koristi z združevanjem oskrbe in povpraševanja po električni energiji za EV baterije in posreduje pri transakcijah med različnimi uporabniki V2G in G2V storitev (npr. lastniki EV, sistemskemu operaterju in kupci ter prodajalci na trgu z električno energijo [198]).

7.5 Sodelovanje v pametnih omrežjih z večjimi odjemalci (industrija)

7.5.1 Uvod (pametna omrežja in sodelovanje z industrijo)

Energetski sistemi se soočajo z številnimi tehnološkimi, socialnimi in s politikami povezanimi izzivi in so zaradi tega priča znatnemu preoblikovanju (Slika 127). V zvezi s tem preoblikovanjem se je pojavil pojem »pametna omrežja« kot posledica konvergence informacijskih in komunikacijskih tehnologij (IKT) ter energetskih sistemov [199].



Slika 127: Transformacija energetskega sistema

Poleg diverzifikacije energetskih virov, potrebe po boljši podpori prilagajanju odjema, optimalnemu upravljanju s sredstvi, varčevanja z energijo in zmanjšanja emisij CO₂, so omrežja naslednje generacije dvosmerna (pretok energije in pretok informacij) in postanejo "pametnejša" (napredek v sensoriki, umetni inteligenci, »Internet of things« (IoT) in obdelavi podatkov/big data). Do neke mere so pametna omrežja rezultat ko-evolucije energetskih sistemov in IKT, kar ustvarja potrebo po razvoju novih poslovnih modelov in organizacijskih struktur.

Kljub svoji nedavni popularnosti, pa široko sprejeta definicija pametnega omrežja še ne obstaja. Namesto tega so v literaturi na voljo različne delne opredelitve. Primer definicije, kot jo navaja Electric Power Research Institute [200], opredeli »pametno omrežje« kot:

"Prekrivanje poenotnih komunikacijskih in nadzornih sistemov na obstoječi infrastrukturi za dobavo energije za zagotavljanje prave informacije pravi entiteti."

Ta opredelitev odraža stališče dobaviteljev energije in sistemskih operaterjev in je nekako omejena. Možne so tudi drugačne opredelitve, če se upošteva stališča različnih interesnih skupin, predvsem vpletenost končnih odjemalcev, vlogo IKT, pojav novih storitev z dodano vrednostjo in novih tržnih priložnosti. Kot rezultat, so se okoli koncepta pametnih omrežij začeli zbirati številni elementi, ki pripomorejo k celovitejšemu razumevanju koncepta (Tabela 62).

Tabela 62: Osnovni elementi pametnih omrežij

Vidik	Osnovni elementi in izzivi
Proizvodnja energije in distribucija	<ul style="list-style-type: none"> • Razpršena proizvodnja in soproizvodnja • Integracija alternativnih virov energije (sonce, veter, biomasa) • Integracija različnih tehnologij za shranjevanje energije • Med seboj povezani in inteligentni distribucijski sistemi
Nadzor	<ul style="list-style-type: none"> • Razpršena avtomatizacija - spremljanje in nadzor; razširjen nadzor • Samo-zdravljenje in prožnost sistema • Razvoj topologije: mikro omrežja / omreženi energijski "otoki" • Daljinski nadzor • Inteligentni agenti, inteligentni nadzor
Informacijska infrastruktura	<ul style="list-style-type: none"> • Združevanje IKT in energetskega omrežja • Dvosmerna komunikacija • Zavedanje realnega stanja: Širjenje senzorjev, pametnih števecov, pametnih naprav z vgrajen inteligenco • Uvajanje IoT tehnologij • Ravnanje z »big data«; vizualizacija podatkov (GIS sistemi) • Interoperabilnost, standardi, povezovanje z obstoječimi sistemi/infrastrukturo • Kibernetska varnost in zasebnost podatkov
Upravljanje z energijo	<ul style="list-style-type: none"> • Prilagajanje odjema - usklajevanje oskrbe in porabe v realnem času, rezanje konic, upravljanje z bremenom • Operativna učinkovitost, dinamična optimizacija, napovedovanje in predvidevanje • Ravnanje z integracijo električnih vozil (EV) • Dinamično trgovanje z energijo, struktura energetskega trga
Storitve z dodano vrednostjo	<ul style="list-style-type: none"> • Storitve za spremljanje obratovanja/izvajanja • Storitve povezane z vzdrževanjem • »Big data« analitika • Storitve za nadzor stroškov • Informacijski portali • Kakovost storitev; pogodbenišтво • Dodatne storitve (ustvarjanje novih priložnosti): usposabljanje, revizije, oskrba ostarelih oseb, podpora e-zdravju, itd
Vidik participacije	<ul style="list-style-type: none"> • Vključenost strank, usposabljanje porabnikov, spodbujanje vedenjskih sprememb • Iz porabnika v prosumerja • Izboljšanje sodelovanja med vsemi zainteresiranimi stranmi • Grozdenje in oblikovanje konzorcijev (dom / zgradba, okolica, nivo mesta, prometna infrastruktura, komercialna uporaba)

Poleg tehnološkega razvoja se v energetskem sektorju vedno bolj izraža sodelovanje različnih interesnih skupin - podjetij (komunalne storitve, ponudniki storitev, itd), odjemalcev in drugih organizacij – ki se vedno bolj vključujejo v kolaborativne procese. Zaradi pospešenega razvoja umetne inteligence in avtonomnosti se s tehnološkega vidika tradicionalni modeli kontrole razvijajo v smeri prožne, samoorganizacijske skupnosti inteligentnih in kolaborativnih agentov oz.

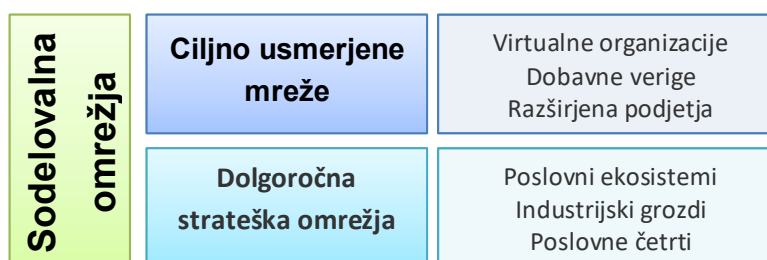
posrednikov. Energetski sistemi postajajo kompleksni socio-tehnični sistemi, ki združujejo različne tehnične vidike ter avtomatizacijo procesov z upoštevanjem človeškega vedenja in drugih družbenih dejavnikov [201]. Energetsko omrežje postaja tako vedno bolj sestava podsistemov (t.i. sistem sistemov) s povečano avtonomijo, ki medsebojno komunicira. Kot taka, postane kolaboracija pomembna razsežnost v novi generaciji energetskih sistemov in omrežij.

7.5.2 Obseg sodelovanja kolaborativnih mrež

S prehodom v t.i. »hyper-povezan« svet in globalizacijo trga, se sodelovanje v omrežjih pogosto obravnava kot kritični element pri ohranjanju konkurenčne prednosti podjetij. Delitev sredstev in združevanja kompetenc v okviru različnih organizacijskih oblik (glede na potrebe posamezne poslovne priložnosti), zagotavlja podjetjem višjo stopnjo agilnosti in odpornosti, kot v primeru če deluje sam.

Čeprav so bile kolaborativne mreže sprva prisotne le v proizvodnih in dobavnih verigah [202], se danes pojavljajo v različnih oblikah, področjih, vključno s storitvami in z njimi povezanimi izdelki, inteligentnimi transportnimi sistemi, oskrbo starejših, pametnimi bivalnimi okolji, kmetijstvu in živilski industriji, obvladovanju naravnih nesreč, izobraževanju itd. Z organizacijskega stališča kolaboracijska omrežja obsegajo dve glavni kategoriji [203], [204], kot je prikazano na sliki 2:

- Ciljno usmerjene mreže običajno predstavljajo začasne konzorcije, ki združijo sredstva in znanje za učinkovito doseg skupnega cilja in zaključijo sodelovanje, ko je cilj dosežen (projektno sodelovanje). Sestava takšnih konzorcijev je običajno posledica specifičnih potreb in omejitev, ki so opredeljena z identificiranimi poslovnimi priložnostmi. Vzvod za učinkovito sodelovanje med temi organizacijami so vzpostavljena računalniška omrežja.
- Dolgoročna strateška omrežja, ki ustrezajo zvezi organizacij, katerih cilj je ustvarjanje pripravljenosti za sodelovanje med svojimi člani, z namenom da bi omogočili hitro oblikovanje ciljno usmerjenih omrežij v odziv na zaznane poslovne priložnosti. Za doseg tega cilja se sodelujoče organizacije dogovorijo za dolgoročno sodelovanje, sprejetje skupnih poslovnih načel in interoperabilnosti podpirne infrastrukture.



Slika 128: Glavni kategoriji in primeri sodelovalnih omrežij

7.5.3 Ciljna področja sodelovanja

Splošna uporaba izraza »pametna omrežja« omogoča široko diskusijo o konceptu pametnih omrežij in s konceptom povezanimi vprašanji. Tabela 63 prikazuje načine sodelovanja, motivacije ter tehnologije in mehanizme za posamezne koncepte pametnih omrežij.

7.5.3.1 Storitve z dodano vrednostjo

V različnih industrijskih sektorjih se kot mehanizem za ustvarjanje vrednosti in raznolikosti vzpostavlja trend vezave poslovnih storitev na fizične izdelke. Podoben trend se začne tudi v energetske sektorju, kjer so lahko potrošniki *"bolj zainteresirani za storitve, ki jih je mogoče dobiti s pomočjo električne energije, kot pa za električno energijo samo po sebi"* [198]. Kot primer se navaja transport, pri katerem lahko pride do premika zanimanja iz električnega vozila (kot fizičnega izdelka) na storitev mobilnosti, ki jo lahko zagotovi električni avto. Na tem področju se tako odpirajo možnosti združevanja različnih storitev, kar zahteva sodelovanje med različnimi interesnimi skupinami in pojav vloge t.i. »agregatorja«.

7.5.3.2 Energetski trg in sodelovanje na nivoju mikro omrežij

Predstavljen je pristop sodelovanja, ki se uporablja za vzpostavitev (lokalnih) energetskih trgov. Le ta raziskuje novo vlogo skupine potrošnikov, ki postanejo t.i. prosumerji in možne nove poslovne odnose, ki jih ta sprememba omogoči. Primer sodelovanja je izkoriščanje prožnosti/fleksibilnosti v smislu vzorcev porabe energije, ki jo lahko omogočijo lastniki velikih infrastruktur [205]. Primeri vključujejo industrijske objekte, velike zgradbe, vozne parke električnih vozil, stanovanjske soseske, javno razsvetljavo, itd. Ker lahko ta prožnost pomaga pri učinkovitejšemu prilagajanju odjema, se raziskujejo številni scenariji za monetizacijo razpoložljive fleksibilnosti. Čeprav imajo posamezni odjemalci le majhen vpliv, se lahko pri združevanju večjega števila prosumerjev dosežejo precejšnji vplivi na delovanje omrežja v smislu zamika obremenitve (load shifting). V ta namen se uvaja pojem »virtualne elektrarne«, ki spominja na koncept virtualne organizacije v kolaboracijskem omrežju. Scenariji za sodelovanje se ukvarjajo predvsem z vprašanji, kot so pogajanja, kratkoročne pogodbe in upravljanje virtualne organizacije, ki jo lahko upravlja zunanji ponudnik storitev.

7.5.3.3 Vključenost strank, vedenjske spremembe in sodelovanje med porabniki

Na področju vključenosti strank in spodbujanja vedenjskih sprememb je cilj spodbuditi odjemalce v aktivni proces varčevanja z energijo in zmanjšanje konične obremenitve. Preko različnih spodbud (npr. cene, kazni, ipd.) je cilj, da se sprožijo spremembe v vedenjskih vzorcih porabe energije, s čimer se spreminja vzorec energetske obremenitve. To področje se običajno nadgrajuje s spodbujanjem sodelovanja med potrošniki in izkoriščanje socialnih omrežij za varčevanje z energijo in zmanjšanje stroškov, povezanih z rabo energije.

7.5.3.4 Upravljanje z energijo

Prilagajanje odjema: To ciljno področje se nanaša na optimizacijo prilagajanja odjema in raziskuje sodelovanje med dobaviteljem in porabnikom z namenom dinamičnega ujemanja porabe in dobave. Osnova predpostavka je, da imajo porabniki (in njihovi aparati) na voljo nekaj prožnosti za zamik svoje porabe in s tem zmanjšanje konične obremenitve. Kot spodbude za načrtovanje zamika porabe se običajno uporabljajo dinamični tarifni sistemi za določanje cen.

Grozdi stavb: Na tem področju se raziskuje možnost za oblikovanje grozdov stavb in izkoriščanje sodelovanja za izmenjavo energije bodisi med člani grozda ali med grozdi.

Razpršen nadzor: Na področju optimizacije upravljanja se usmerja vedno večji fokus tudi na vidikih nadzora. Pri tem pristopu, poskuša vsak posrednik zadovoljiti lokalnim potrebam po

energiji in hkrati zagotavljati maksimalni izvoz v omrežje (ob spremljanju in upoštevanju variabilnih cen energije).

7.5.3.5 Infrastruktura

Detekcija napak in samo-zdravljenje: Glavni pomisleki, povezani z infrastrukturo pametnih omrežij so, kako se spopasti s toleranco napake, odpornostjo in zasebnostjo. Po eni strani moderna senzorika in vgrajena inteligenca omogoča vse bolj učinkovito spremljanje (monitoring) in upravljanje, po drugi strani pa prehod v kiber-fizikalne sisteme odpira možnosti za kibernetске napade na infrastrukturo in kršitev zasebnosti. Za uspešno soočanje s temi izzivi se uvajajo nove sistemske arhitekture, ki temeljijo na sodelovanju med komponentami infrastrukture oz. podsistemi.

Komunikacijska infrastruktura: Komunikacijska in povezovalna infrastruktura predstavlja hrbtenico za implementacijo pametnih omrežij. Tehnični vidiki so razmeroma jasni, medtem ko ostaja odprto vprašanje glede sodelovanja na tem področju. Na primer, sodelovanje med ponudnikom telekomunikacijskih storitev in dobaviteljem energije pri razvoju modela za skupno komunikacijsko infrastrukturo [206]. V takem pristopu je cilj skupna infrastruktura tako za širokopasovni dostop do interneta, kot tudi za komunikacijsko podporo pametnih omrežij. Porajajo se vprašanja vezana na skupne stroške lastništva, vrednostne verige, akterje in vloge. Predlagani model naj bi podpiral prihranke pri stroških za različne optične in brezžične komunikacijske tehnologije.

Električna vozila: V okviru pametnih omrežij je vedno večji poudarek na sodelovanju med električnimi vozili in drugimi podsistemi omrežja (npr. vozilo-omrežje, omrežje-vozilo ali vozilodom) z namenom optimizacije strategij polnjenja električnih vozil.

Senzorska omrežja: Sposobnost za pravočasno in natančno zbiranje podatkov iz različnih lokacij omrežja je osnova za prilagodljivo, zanesljivo in odzivno energetska omrežje. Napredno zaznavanje podatkov in s tem povezane zmogljivosti za obdelavo imajo pri tem pomembno vlogo. Zaradi obdelave velikih količin podatkov, zbranih na različnih geografskih lokacijah in omejitvah pri posredovanju na centralni strežnik, se uvajajo razpršeni pristopi obdelave, ki temeljijo na sodelovanju med t.i. pametnimi senzorji.

Izmenjava informacij: Pri izmenjavi podatkov sta obravnavana dva glavna izziva:

- (i) kako zagotoviti izmenjavo zanesljivih informacij med več zainteresiranimi stranmi, vključenimi v pametna omrežja, in
- (ii) kako se spopasti z eksponentno rastjo podatkov iz številnih pametnih naprav, ki zahtevajo razpršeno upravljanje s podatki (npr. podatki v oblaku) v kontekstu sodelovanja prek organizacijskih meja sodelujočih (sistemski operaterji, ponudniki storitev, odjemalci).

Interoperabilnost: Vključenost različnih interesnih skupin in tehnologij v razvoj infrastrukture pametnih omrežij postavlja velike izzive za interoperabilnost, kar pomeni, da je potrebno pri integraciji kompleksnih sistemov izbrati kolaborativne pristope.

Tabela 63: Načini sodelovanja, motivacija ter tehnologije in mehanizmi za posamezne koncepte pametnih omrežij

	Načini sodelovanja	Motivacija	Tehnologija in mehanizmi
Storitve z dodano vrednostjo	Virtualne organizacije za zagotavljanje storitev. V nekaterih primerih se vzpostavijo tudi dolgoročne strateške mreže.	Opravljanje storitev z dodano vrednostjo in zmanjšanje stroškov za energijo.	Oblikovanje konzorcija in pogajanja povezana z oblikovanjem in zagotavljanjem storitev, vključno z dogovori o ravni storitev in komplementarnih procesih. V nekaterih primerih se uporabi kiber-fizikalne mehanizme, ki omogočajo izmenjavo/deljenje virov. Obravnavano je tudi oblikovanje poslovnih modelov
Energetski trg in sodelovanje na nivoju mikro omrežij	Energetski trgi so organizirani kot koalicija sodelujočih ali v obliki »virtualne elektrarne« (virtualna organizacija). Pogosto izkorišča vlogo prosumerja za usklajevanje strategij prilagajanja odjema.	Glajenje konične obremenitve in ustvarja denarne spodbude za udeležence.	S strani distribucije se predpostavlja dvosmerna izmenjave energije, ki je pogosto podprta tudi z razpršenimi hranilniki energije.
Vključenost strank, vedenjske spremembe in sodelovanje med porabniki	Oblikovanje konzorcija porabnikov na nivoju gospodinjstva ali soseske (stanovanjska skupnost). V nekaterih primerih vključujejo tudi dobavitelja in porabnike. Za ustanovitev konzorcija se pogosto uporabi obstoječa socialna omrežja. Sodelovanje je neposredno ali prek inteligentnih programskih vmesnikov, vgrajenih v merilno infrastrukturo (pametni števcji)	<u>Za porabnika:</u> kombinacija sodelovanja (znotraj konzorcija) / konkurenca (med konzorciji), družbeni pritisk, finančne spodbude in skrbi za okolje. <u>Za dobavitelja:</u> rezanje konic, s čimer se zmanjša stroške infrastrukture; natančnejša napoved porabe in učinkovitejša podpora prilagajanju odjema.	Socialna omrežja, povezava s pametnimi števci (dostop do informacije o rabi in ceni v realnem času) in neposredni nadzor nad gospodinjstvi aparati.
Upravljanje z energijo	ciljno usmerjeni konzorciji, npr. konzorciji mikro-omrežij, konzorciji stavb in pametnih hiš.	Optimizacija prilagajanja odjema (uravnoteženje porabe in dobave) in stroškov za energijo; znižanje konične obremenitve	Sestava konzorcija, Nashevo ravnovesje in razdelitev koristi. Kiber-fizični sistemi omogočajo sodelovanje na ravni posameznih naprave in aparatov. Uporabljajo se tudi različni mehanizmi

Načini sodelovanja		Motivacija	Tehnologija in mehanizmi
			spodbud (npr. dinamični tarifni sistemi).
Infrastruktura	Predvsem dolgoročna omrežja (pametnih) kiber-fizičnih komponent, s samo-organizacijskimi zmogljivostmi.	Povečanje odpornosti, varnosti in sposobnost samo-zdravljenja infrastrukture.	Uvajanje mehanizmov s področja kiber-fizikalnih sistemov, interneta stvari in pametnih senzorskih omrežij, ki omogočajo vgrajeno inteligenco, samo-organiziranje in samo-zdravljenje. Uvajajo se inteligentni programski posredniki. Mehanizmi za izmenjavo informacij in oceno stanja sistema, ki omogočajo neko obliko kolektivne zavesti. Sprejetje različnih mehanizmov interoperabilnosti.

8 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 [207] in Strategija razvoja Slovenije 2030 [208] ter v Strategiji pametne specializacije [209]. Tabela 64 povzema potencial za energijsko učinkovitost s snovno učinkovitostjo.

Tabela 64: Tehnične in ekonomske lastnosti potencial za energijsko učinkovitost s snovno učinkovitostjo

Lastnosti	Podrobno	Opis
Tehnične karakteristike tehnologij	Učinkovitost	Povečevanja stopnje donosa 4-10 % (predelava kovin)
	Življenska doba	Nad 60 let (za jeklene izdelke) Nad 29 let (aluminij)
	Možnost skaliranja	Deloma
Ekonomske karakteristike tehnologij	Štrošek investicije	/
	LCOE	/
Perspektiva razvoja do leta 2050	Izboljševanje izkoristka, zmanjševanje potrebe po nerekliranih surovinah	
Ekonomske in tehnične potenciali po sektorjih	Srednje-hitro uveljavljanje: Industrija, transport Počasno uvajanje: gospodinjstva	
Ključni izzivi do leta 2030	Nasprotovanje trenutnemu poslovnemu sistemu s prodajo večjih količin zadovoljivih, a kratkotrajno uporabnih izdelkov. Problemi višjih cen za trajnostne izdelke.	
Diskusija okoljske karakteristike	Specifike reciklaže surovin	

Pri pregledu potencialov za energijsko učinkovitost s snovno učinkovitostjo je zelo koristen pregled sektorskih ukrepov snovne učinkovitosti, ki je povzet po World Energy Outlook 2015, Global Energy Trends, Mednarodne energetske agencije IEA [210]. Tabela 65 podaja posamezne ukrepe po sektorjih in podrobnejše opise.

Tabela 65: Pregled sektorskih ukrepov snovne učinkovitosti

Sektor	Ukrep	Opis
Proizvodnja kovin	Povečanje deleža reciklaže	Delež zbiranja odpadnega železa izrabljenih naprav doseže 94 % v letu 2040
	Povečanje stopnje donosa	Stopnje donosa se povišajo za 4 % do leta 2040
	Ponovna uporaba	Delež odpadnega železa izrabljenih naprav, ki ga lahko neposredno uporabimo v proizvodnih procesih doseže 17 % v letu 2040
	Zmanjšanje teže izdelkov (light-weighting) in večja intenzivnost uporabe	Zmanjšanje uporabe jekla v posameznih proizvodih, pri čemer se poveča število proizvodov; uporaba jekla se zniža za 6 % do leta 2040
	Izraba odpadnega železa	V letu 2040 se 9 % odpadnega železa se ponovno uporabi brez intenzivne toplotne obdelave
	Povečanje življenske dobe jeklenih izdelkov	Povečanje življenske dobe jeklenih izdelkov in komponent na 60 let
Proizvodnja cementa	Ponovna uporaba in večja intenzivnost uporabe	Ponovna uporaba cementnih proizvodov in večja intenzivnost rabe v zgradbah, potreba po cementu se v letu 2040 zniža za 5 %
	Zmanjšanje deleža klinker-cement	Z uporabo alternativnih materialnov (npr. elektrofiltrski pepel) se delež klinke-cement zniža na 0,66 v letu 2040
Proizvodnja plastičnih mas	Povečanje deleža reciklaže	Delež reciklaže, predvsem v embalaranju, doseže 30 % v letu 2040
	Zmanjšanje teže izdelkov (light-weighting) in večja intenzivnost uporabe	Zmanjšanje uporabe plastičnih izdelkov za 5 % v letu 2040
Proizvodnja papirja	Povečanje deleža reciklaže	Povečanje deleža recikliranega starega papirja na 75 % v letu 2040
	Zmanjšanje teže izdelkov (light-weighting) in večja intenzivnost uporabe	Zmanjšanje potrebe po papirju z zmanjševanjem teže pisarniškega papirja na 70 g/m ² in na 42 g/m ² za časopisni papir
Proizvodnja aluminija	Povečanje deleža reciklaže	Delež zbiranja odpadnega materiala doseže 87 % v letu 2040
	Povečanje stopnje donosa	Stopnje donosa se povišajo za 10 % do leta 2040
	Ponovna uporaba	Delež odpadnega materiala, ki ga lahko neposredno uporabimo v proizvodnih procesih doseže 19 % v letu 2040

Sektor	Ukrep	Opis
	Zmanjšanje teže izdelkov (light-weighting) in večja intenzivnost uporabe	Zmanjšanje uporabe aluminija v posameznih proizvodih, pri čemer se poveča število proizvodov; uporaba aluminija se zniža za 8 % do leta 2040
	Izraba odpada	V letu 2040 se 5 % odpadnega materiala ponovno uporabi brez intenzivne toplotne obdelave
	Povečanje življenske dobe izdelkov	Povečanje življenske dobe izdelkov in komponent iz aluminija na 29 let

8.1 Krožno gospodarstvo in snovna učinkovitost – Strategija razvoja Slovenije

V Strategiji razvoja Slovenije 2030 [208] je izpostavljenih 12 področnih ciljev preko katerih bi naj izboljšali kakovost življenja za vse, kar je osrednje vodilo omenjene strategije. Strategija kot osrednji cilj izpostavlja kakovost življenja za vse. 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, ki ga strategija [208] navaja kot osmega, je prehod v nizkoogljično gospodarstvo in ravno ta cilj podpira skoraj vse izpostavljene strateške razvojne usmeritve v Strategiji razvoja Slovenije 2030. Prepleta se z naslednjimi usmeritvami: vključujoča, zdrava, varna in odgovorna družba, učenje za in skozi vse življenje, visoko produktivno gospodarstvo in ohranjeno zdravo naravno okolje. Kazalnike za spremljanje doseganja cilja nizkoogljično gospodarstvo prikazuje Tabela 66.

Tabela 66: Kazalniki za spremljanje cilja nizkoogljično gospodarstvo [208]

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 hitrejši prehod v nizkoogljično krožno gospodarstvo je ključna tudi odprava zakonodajnih in družbenih ovir ter nedelovanja trga, ureditev ustreznega regulativnega okolja, vključitev zunanjih stroškov po načelu onesnaževalec plača ter sprememba potrošniških vzorcev. Zapiranje snovnih zank je povezano z ustrežno logistiko vračanja surovin, pri čemer ima pomembno vlogo ustrezna prometna infrastruktura.

Ključne usmeritve za doseg cilja [208]:

- 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 nizkoogljično krožno gospodarstvo ter omogočata trajnostno mobilnost, tudi s pomočjo uvajanja novih konceptov mobilnosti.
- Uporabiti prostorsko načrtovanje za oblikovanje vozlišč nizkoogljičnega krožnega gospodarstva in razvojnih rešitev na regionalni in lokalni ravni.

8.2 Krožni potenciali Slovenije – Kažipot prehoda v krožno gospodarstvo Slovenije

Aprila 2018 je Vlada Republike Slovenije v sodelovanju z Ministrstvom za okolje in prostor in podpornimi partnerji projekta predstavila Kažipot prehoda v krožno gospodarstvo Slovenije [211]. V dokumentu so predstavljena štiri prednostna področja so nastala kot preplet povzetkov terenskega pristopa, razpoložljivih relevantnih podatkov in meril ter primerljivih poskusov opredeljevanja področij držav, ki so se že lotile priprav nacionalnih kažipotov. Ocenjena so kot tista, pri katerih lahko krepimo učinkovitost rabe materialov in primarnih virov, ohranjamo ali povečujemo vrednost materialov, izdelkov oz. storitev, razvijamo krožne modele poslovanja, krepimo energijsko učinkovitost, zapiramo snovne tokove, preprečujemo nastajanje odpadkov, vključujemo zeleno javno naročanje, spreminjamo vzorce uporabe in krepimo krožno kulturo. Upoštevali so tudi Akcijski načrt SRIPa - Mreže za prehod v krožno gospodarstvo, ki ga koordinira in upravlja Štajerska gospodarska zbornica. Osredna cilja tega načrta sta izboljšanje indeksa snovne učinkovitosti in vzpostavitev petih novih verig vrednosti z zaključenimi snovnimi tokovi. Šest fokusnih področij v akcijskem načrtu predstavljajo: trajnostna energija, biomasa in alternativne surovine, sekundarne surovine, funkcionalni materiali, procesi in tehnologija ter krožni poslovni modeli [212]. Vsako od fokusnih področij je posredno vključeno tudi v področja Kažipota. Kažipot v sklopu krožnega gospodarstva identificira sledeča štiri prednostna področja:

- prehranski sistem,
- gozdne verige vrednosti,
- predelovalne dejavnosti,
- mobilnost.

Za načrtovanje modelov v okviru projekta LIFE ClimatePath 2050 sta še posebno relevantni področji predelovalnih dejavnosti in mobilnosti, v ta namen v nadaljevanju podajamo potenciale in priložnosti omenjenih področij, kot jih obravnava Kažipot [211].

8.2.1 Predelovalne dejavnosti

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. Krožne modele poslovanja in pripadajoče verige vrednosti lahko prav pri predelovalnih dejavnostih odlično implementiramo – začevši z eko dizajnom, uveljavljanjem novih materialov, energijsko učinkovitostjo, možnostjo vzdrževanja, popraviljanja, obnavljanja in v končni fazi recikliranja izdelkov. Za ohranjanje mednarodne konkurenčnosti je upoštevanje krožnih načel vedno bolj pomembno, saj številne korporacije med dobavitelji dajejo prednost tistim, ki izkazujejo inovativnost in učinkovitost na ravni krožnosti.

Ključni akterji [211]:

Industrijska podjetja, ki surovine predelujejo v izdelke ter polizdelke, in podjetja, ki delujejo znotraj njihovih oskrbnih verig.

Potenciali [211]:

Prehajanje od produktov do storitev, od potrošnikov do uporabnikov, od posedovanja do souporabe – vse to na področju predelovalnih dejavnosti lahko spodbujamo in udeležujemo. Ko govorimo o potrebi po spreminjanju načina proizvodnje in potrošnje je prav področje predelovalnih industrij tisto, kjer so učinki lahko najbolj vidni. V Sloveniji imamo velika in mednarodno uveljavljena podjetja, ki so prepoznavna po prehodu od linearnih v krožne modele poslovanja, ob njih pa številne manjše poslovne subjekte, ki so zaradi svoje inovativnosti postali pionirji krožnih rešitev. Mnogi od teh širši javnosti niso znani, zato je komuniciranje dobrih praks izjemnega pomena za spodbujanje krožnega prehoda in učenje od tistih, ki so na pot tranzicije že vstopili.

Izpostavljene priložnosti [211]:

- eko dizajn – zasnova izdelkov s ciljem, da jih enostavno vzdržujemo, popravljamo, dopolnjujemo, jim spreminjamo namembnost ter jih zadržujemo čim dlje v ciklu uporabe, ob izteku uporabe pa kar najbolj enostavno in učinkovito razstavimo in recikliramo;
- industrijska simbioza – imamo dobre primere povezovanja akterjev na trgu, ki z medsebojnim sodelovanjem optimizirajo snovne tokove (kar je za nekoga odpadni, je za drugega vhodni material ali vir);
- uporaba sekundarnih virov - prispevek k ohranjanju vrednosti materialov, ki so vstopili v proizvodnji ciklus in na ta način podaljšali svojo življenjsko dobo;
- prehod na OVE (obnovljive vire energije) - sestavni del zaveze prehoda v nizkoogljično družbo in že dobro uveljavljen koncept v Sloveniji;
- inovativni materiali - prispevajo k manjšemu obremenjevanju okolja, boljšim lastnostim izdelkov in njihovemu lažjemu vzdrževanju;

- omejevanje uporabe redkih materialov – kovin in mineralov – je za Slovenijo in Evropo, ki sta od njih uvozno odvisni, velik izziv – s čim jih lahko nadomeščamo, kako jih lahko zadržimo v lokalnem okolju tudi po poteku uporabe izdelkov (na primer elektronska oprema in aparati);
- transparentnost v oskrbovalnih verigah («fair sourcing») – dobre prakse v Sloveniji so zgled tudi na mednarodni ravni in spodbujajo sledljivost izvoru materiala ter s tem možnost za izbiro poslovnih partnerjev, ki sledijo načelom pravične trgovine;
- zmanjševanje uporabe plastike (in njeno nadomeščanje) ter zmanjševanje uporabe nevarnih kemikalij - upoštevanje EU direktiv in implementacija konkretnih rešitev v Sloveniji, spodbuda za aktivnosti ne le na strani proizvajalcev, temveč tudi ozaveščanje uporabnikov in spreminjanje njihovih nakupovalnih navad.

Spremljanje [211]:

Spremljamo snovno storilnost - število simbioz oz. popravjalnic / centrov ponovne uporabe, število zelenih delovnih mest, delež recikliranih surovin na vhodu v panogi, delež recikliranih materialov v vhodnih surovinah, delež spremenjenih poslovnih modelov (od izdelkov do storitev oz. funkcij), zelena javna naročila, rabo obnovljivih virov energije,....

8.2.2 Mobilnost

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, pri čemer je včasih težko potegniti natančno črto, kje gre za dejansko krožno gospodarstvo in je za običajne ukrepe zmanjšanja emisij z zamenjavo goriv ali večjo učinkovitostjo.

Ključni akterji[211]:

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.

Potenciali [211]:

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, pretežno dobaviteljev velikim (nemškimi in drugim) avtomobilskimi družbami, imamo močan inovacijski potencial na področju razvoja električnih vozil in podporne infrastrukture kot tudi že uveljavljene modele delitvene ekonomije v mobilnosti: od najema koles do električnih avtomobilov in prevoznih storitev.

Izpostavljene priložnosti [211]:

- eko mobilnost - najbolj celovito jo povzema projekt Edison, ki združuje več partnerjev, prinaša inovativne rešitve, ki lahko postanejo pilotni projekt za Evropo;

- elektrifikacija prometa – ta se dogaja tako na ravni mest, kot tudi v povezovanju med posameznimi kraji v Sloveniji s postavljanjem električnih polnilnic in spodbujanjem uporabe (najema) električnih vozil;
- souporaba električnih vozil - Ljubljana je bila prvo mesto v Sloveniji (in eno prvih v Evropi), kjer je vzpostavljena mreža za souporabo električnih vozil Avan2go;
- druga alternativna goriva – primer kombinacije izgorevanja vodika in drugih virov za pogon motorja;
- javni prevozi - osredotočanje na povečevanje dostopnosti in večjo fleksibilnost samih sistemov javnega prevoza;
- deljenje prevozov («car sharing») – na primer dobro razvita mreža prevozi.org, ki ji že zaupajo številni uporabniki - dostopnost in varnost;
- spodbujanje kolesarjenja - kolesarske steze se širijo v mestih, postajajo tudi del turistične ponudbe Slovenije (turistične poti in povezave), skupaj s širitvijo mrež za izposojlo koles, izobraževanjem in vključevanja najmlajših, je kolesarjenje pomemben del prometne kulture v Sloveniji.

Spremljanje [211]:

spremljamo mobilnost - potniške kilometre (cestni javni linijski prevoz, železniški prevoz, zračni prevoz), število osebnih vozil v uporabi fizičnih oseb na 1000 preb., število potnikov, cestni javni linijski prevoz, mestni javni linijski prevoz, železniški prevoz, zračni prevoz, pristaniški promet, število vozil - osebni avtomobili na 1000 prebivalcev, skupno uporabo deljenih prevozov, elektrifikacijo vozil z deležem električnih vozil, kilometre urejenih kolesarskih stez, uporabo koles.

9 Nove tehnologije v kmetijstvu

V nadaljevanju so predstavljene tehnologije za zmanjšanje emisij metana in didušikovega oksida v kmetijstvu. Gre za tehnologije, ki so še v fazi preizkušanja, za tehnologije, ki so relativno nove in se v praksi še niso razširile pa tudi za tehnologije, ki so v Evropi že širijo, pa jih v slovenskem kmetijstvu zaradi specifičnih naravnih in socio-ekonomskih razmer še ne uporabljamo ali pa jih uporabljajo le posamezni kmetje. Predstavljamo tehnologije za katere menimo, da bi lahko v prihodnosti pomembno prispevale k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Pri pregledu novih tehnologij smo upoštevali strukturo emisij. Poudarek je na tehnologijah, ki bi lahko zmanjšale emisije najpomembnejših kmetijskih virov. Tabela 67 povzema lastnosti novih tehnologij v kmetijstvu.

Tabela 67: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih novih tehnologij v kmetijstvu

Lastnosti	Podrobno
Tehnične karakteristike tehnologij	/ (navedene ob vsaki metodi)
Ekonomske karakteristike tehnologij	/
Perspektiva razvoja do leta 2050	zmanjšanje emisij metana iz prebavil rejnih živali in iz skladišč živinskih gnojil zmanjšanje emisij didušikovega oksida iz skladišč živinskih gnojil in sproščujočega zaradi gnojenja kmetijskih rastlin
Ekonomski in tehnični potenciali po sektorjih	Počasno uvajanje: Kmetijstvo
Ključni izzivi do leta 2030	Sprejemljivost nekaterih tehnologij
Diskusija okoljske karakteristike	Sprejemljivost nekaterih tehnologij

9.1 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 s povečanjem učinkovitosti reje, z izboljšanjem zdravja živali in z usmerjanjem fermentacije v prebavilih v smeri manjšega sproščanja metana.

9.1.1 Povečanje učinkovitosti reje

S povečanjem učinkovitosti reje (hitrejša rast, večja mlečnost, večja nesnost) izboljšamo razmerje med energijo krme, ki jo rejne živali naložijo v proizvode (meso, mleko, jajca) in energijo, ki jo porabijo za vzdrževanje osnovnih telesnih funkcij. S povečevanjem učinkovitosti reje se emisije metana na enoto prirejenega mesa, mleka in jajc zmanjšajo. Potencial za zmanjšanje emisij je odvisen od ravni prireje. Največji potencial imamo pri ekstenzivnih načinih reje. Pri zelo intenzivnih načinih reje so možnosti za nadaljnje zmanjšanje emisij majhne. Učinkovitost reje je mogoče izboljšati s selekcijo (genetiko) in z optimalno oskrbo živali:

Selekcija

Selekcija temelji na odbiri živali z boljšimi lastnostmi, ki te lastnosti prenesejo v naslednjo generacijo. Poleg klasične selekcije, ki temelji na neposrednem ocenjevanju posameznih živali ali na ocenah sorodstva, imamo na voljo tudi genomsko selekcijo, pri kateri živali odbiramo na podlagi vpogleda v njihov genom. Prednost povečevanja učinkovitosti reje prek selekcije je v tem, da se dosežen napredek prenese na naslednje generacije. Ob tem pa se je treba zavedati, da bo napredek realiziran le, če izboljšanim živalim zagotovimo boljšo oskrbo.

Optimalna oskrba živali

V praksi rezultati reje vedno zaostajajo za potencialom, ki ga omogočajo genetske predispozicije živali. Med omejitvenimi dejavniki za doseganje boljših rezultatov je najpogosteje pomanjkljiva oskrba s hranili. Slednja je lahko posledica neustrezne kakovosti krme ali pa posledica neustreznega kombiniranja krmil v krmnih obrokih. Pri reji prežvekovalcev, za katere so značilni največji izpusti toplogrednih plinov, je pomembna dobra energijska vrednost krme, ki jo je mogoče izboljšati z žlahtnjenjem krmnih rastlin in uvedbo učinkovitejših postopkov konzerviranja krme, kot je npr. kondenzacijsko sušenje krme s travinja. Med tehnologijami z največjim potencialom za zmanjšanje emisij metana je precizno krmljenje rejnih živali. Gre za računanje krmnih obrokov na podlagi dejanskih potreb živali ter sestave in energijske vrednosti na kmetijah pridelane krme, ki ju ocenimo s kemijskimi in biološkimi metodami, kot je npr. in vitro prebavljivost krme. Pri tem imajo velik potencial spletne aplikacije in sodobne tehnike informacijsko-komunikacijskih tehnologij, ki omogočajo spremljanje rezultatov in prilagajanje načinov reje na ravni posameznih živali. Pri tem je mogoče s pridom uporabiti podatke rodovniških knjig, podatke, ki se zbirajo v selekcijske namene, podatke ki so na voljo pri odkupovalcih mleka in v klavnicah.

9.1.2 Izboljšanje zdravja živali

Učinkovitost reje je odvisna od uspešnega zdravstvenega varstva živali. Gre tako za preventivne kot kurativne ukrepe, s katerimi je mogoče izboljšati proizvodne parametre (dnevni prirasti, mlečnost, nesnost) in zmanjšati pogine. Z vidika izpustov toplogrednih plinov je pomemben razvoj novih zdravil, ki se uporabljajo v veterinarski medicini, pa tudi razvoj in uporaba krmnih dodatkov za preprečevanje presnovnih motenj.

9.1.3 Usmerjanje fermentacije v prebavilih

Emisije metana je mogoče zmanjšati z usmerjanjem fermentacije v prebavilih v smeri manjšega sproščanja metana. Pri prežvekovalcih lahko zmanjšanje emisij dosežemo z zaviranjem delovanja metanogenih arhej, s spodbujanjem vezave vodika v produkte fermentacije, ki niso metan (propionat, mikrobnna biomasa) ali z dodajanjem snovi, ki so sprejemnik vodikovega iona (nitrati). Pri tem so učinkovita krmila z veliko vsebnostjo škroba (žita) ali nenasičenih maščobnih kislin (laneno seme), različni rastlinski izvlečki, ki vsebujejo eterična olja ali sekundarne metabolite rastlin (tanini, saponini, ..), različne kemijske spojine (nitrati, 3-nitrooksipropanol, organske kisline, ...) in nekateri antibiotiki (monenzin). Emisije metana je mogoče zmanjšati tudi z vakcinacijo proti metanogenim arhejam. Nekatere od metod za usmerjanje fermentacije v vampu so preskušene, nekatere v fazi razvoja. Uspešna uvedba tehnologij za preusmerjanje fermentacije v prebavilih rejnih živali bo odvisna od razpoložljivosti metod za merjenje njihovega učinka v praktičnih razmerah, kot so npr. metode na podlagi vsebnosti sledovnih maščobnih kislin v mleku ali ostankov metanogenih arhej v blatu (arheol). Pomembno vlogo pri uvajanju usmerjevalcev fermentacije bodo imela morebitna tveganja in družbena sprejemljivost. Tako je npr. antibiotik monenzin, ki je v ZDA dovoljen, v EU prepovedan. Etično sporno je lahko spodbujanje uporabe večjih količin žit pri reji prežvekovalcev, saj gre za kmetijske pridelke, ki jih lahko namenimo prehrani ljudi.

9.1.4 Neposredna selekcija rejnih živali na manjše izpuste metana

Poleg prispevka selekcije k zmanjšanju emisij metana prek učinkovitejše reje (glej zgoraj) je možno orodja selekcije uporabiti tudi za neposredno zmanjšanje emisij. Ugotovili so, da se tudi živali s podobnimi rezultati reje, med seboj razlikujejo v emisijah metana in da je ta lastnost dedna. Najtrši oreh za doseganje napredka na tem področju je merjenje emisij pri posameznih živalih. Brez velikega števila zanesljivih meritev ni mogoče izvajati selekcije. Trenutno tehnologija še ni v fazi, da bi jo bilo mogoče uporabiti v praksi. Napredek na tem področju bo olajšala genomska selekcija.

9.2 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. Največ metana iz gnojišč se sprosti na govedorejskih kmetijah. Na emisije metana vplivajo načini skladiščenja živinskih gnojil. Pri skladiščenju gnojevke se sprosti več metana kot pri skladiščenju hlevskega gnoja, vendar pa sistemi s hlevskim gnojem niso rešitev, saj se pri njih sprosti več didušikovega oksida. Izpuste metana iz skladišč živinskih gnojil je mogoče zmanjšati z zajemom bioplina (anaerobni digestorji) ali pa s povečanjem obsega pašne reje živali.

9.2.1 Anaerobni digestorji

Obdelava živinskih gnojil v anaerobnih digestorjih je zelo učinkovita tehnologija za zmanjšanje izpustov metana iz skladišč živinskih gnojil. Metan, ki bi se sicer sprostil v okolje, zajamemo in uporabimo v energetske namene. S tem prispevamo tudi k zmanjšanju emisij v sektorju energetike. Potencial živinskih gnojil za proizvodnjo bioplina je v primerjavi z drugimi organskimi substrati (žetveni ostanki, biomasa, ki nastaja pri ozelenjevanju kmetijskih zemljišč, ostanki živilsko predelovalne industrije, organski komunalni odpadki, ...) razmeroma majhen, zato je

smiselno pri proizvodnji bioplina živalska gnojila kombinirati z drugimi organskimi substrati. Proizvod anaerobne digestije je tudi bioplinska gnojevka/digestat, ki ga uporabimo za gnojenje kmetijskih rastlin. V slovenskih razmerah je širjenje proizvodnje bioplina omejeno predvsem z velikostno strukturo kmetij, saj so investicije v opremo na majhnih kmetijah glede na učinek predrage. Deloma je širjenje tehnologije omejeno tudi s težavami pri umeščanju v prostor. Širjenje anaerobne digestije na kmetijah bo odvisno tudi od možnosti uporabe pridobljenega bioplina in toplote. Poleg enostavnejših načinov uporabe (ogrevanje kmetijskih objektov, sušenje kmetijskih pridelkov, ogrevanje vode za procesne potrebe) in kogeneracije električne energije in toplote se kažejo tudi potrebe po trigeneraciji (električna energija, ogrevanje in hlajenje). Predvidevamo, da bo predelava bioplina v biometan v stisnjeni ali utekočinjeni obliki v prihodnosti omogočila tudi pogon različnih kmetijskih delovnih strojev. Obetaven način izkoriščanja živalskih gnojil in druge biomase je tudi proizvodnja biovodika. V prihodnosti se predvideva uvajanje integrirane proizvodnje biovodika in biometana v dvo faznem sistemu (v prvem digestorju poteka proizvodnja biovodika v drugem pa bioplina, ki se ga procesira v biometan).

9.2.2 Pašna reja travojedih živali

Pri pašni reji se izločki rejnih živali bolj ali manj enakomerno porazdelijo po pašniku. Zaradi aerobnih razmer je količina sproščenega metana na paši majhna. V Sloveniji je zaradi različnih dejavnikov (podnebje, razdrobljenost kmetijskih zemljišč, umeščenost kmetij v strnjene vasi, tradicija) pašna reja razmeroma slabo razvita. Za zmanjšanje izpustov metana, bi bilo smiselno spodbujati strokovno korektne in učinkovite načine pašne reje. V primeru neustrezno vodene paše se lahko emisije toplogrednih plinov tudi povečajo (več metana zaradi porabe energije za hojo, več metana na enoto proizvoda zaradi zmanjšanja prirastov in mlečnosti, več didušikovega oksida zaradi zbitosti tal).

9.3 Tehnologije za zmanjšanje emisij didušikovega oksida iz skladišč živalskih gnojil

V Sloveniji prispevajo emisije didušikovega oksida iz skladišč živalskih gnojil 4,1 % vseh emisij toplogrednih plinov v kmetijstvu. Skladiščenje živalskih 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.

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

V Sloveniji prispevajo emisije didušikovega oksida, ki se sprosti zaradi gnojenja kmetijskih rastlin, 13,9 % vseh emisij toplogrednih plinov v kmetijstvu (6,7 % živalska gnojila in 7,2 % mineralna gnojila). 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 (2,3 in 4,0 % od vseh emisij toplogrednih plinov v kmetijstvu). Emisije na tem področju je mogoče

zmanjšati predvsem s povečanjem učinkovitosti kroženja dušika v kmetijstvu, na voljo in v razvoju pa so tudi nekatere specifične tehnologije.

9.4.1 Povečanje učinkovitosti kroženja dušika v kmetijstvu

Izkoristek dušika v kmetijstvu je razmeroma slab. Rejne živali izkoristijo le od 15 do 40 % dušika, ki ga zaužijejo z beljakovinami, kmetijske rastline pa od 30 do 60 % dušika, ki jim ga zagotovimo z živinskimi in mineralnimi gnojili. 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.

Precizno krmljenje rejnih živali

Pri preciznem krmljenju gre za računanje krmnih obrokov na podlagi dejanskih potreb živali ob upoštevanju analitsko določene sestave, energijske in beljakovinske vrednosti krme. S to tehnologijo se je mogoče izogniti presežkom beljakovin v obrokih, s tem pa zmanjšati izločanje dušika. S tehnologijo preciznega krmljenja zmanjšujemo tudi emisije metana. Pri računanju obrokov za prežvekovalce (govedo, drobnica) gre za princip, ki upošteva bilanco dušika v vampu (npr. sistem presnovljivih beljakovin ali sistem izkoristljivih surovih beljakovin).

Računanje obrokov za neprežvekovalce (perutnina, prašiči) temelji na upoštevanju aminokislinske sestave beljakovin krme in v kolikor obrokov ni mogoče izravnati z naravnimi viri beljakovin, se za izravnavo uporabijo sintetične aminokisliline.

Tehnologije za zmanjšanje emisij dušikovih spojin v zrak iz hlevov, skladišč živinskih gnojil in pri gnojenju z živinskimi gnojili

Z zmanjšanjem izpustov dušikovih spojin v zrak zmanjšamo posredne izpuste didušikovega oksida, hkrati pa zmanjšamo potrebe po dušiku iz mineralnih gnojil. Gre za sklop tehnologij, ki zajemajo posebno oblikovana hlevska tla in odtočne kanale, posebna strgala za odstranjevanje gnoja, pokrita skladišča za živinska gnojila, opremo za porazdeljevanje živinskih gnojil v pasovih ali njihovo zadelovanje v tla. Tehnologije za zmanjšanje emisij dušikovih spojin iz skladišč za živinska gnojila in pri gnojenju vključujejo tudi različne dodatke gnojevke, od katerih dokazano deluje zakisanje s kislinami.

Precizno gnojenje kmetijskih rastlin

Med precizno gnojenje kmetijskih rastlin lahko uvrščamo različne tehnologije, od gnojilnih načrtov, ki jih izdelamo na podlagi potreb rastlin in analiz tal, prek hitrih talnih in rastlinskih testov, s katerimi ocenimo potrebe po dušiku v času gnojenja, do sodobnih metod, ki v realnem času in prostoru določijo pridelovalni potencial tal in varirajo gnojenje tudi na različnih delih iste parcele. Sodobni načini preciznega kmetovanja vključujejo sisteme globalnega pozicioniranja, različne sodobne visokozmogljive kmetijske stroje, informacijske tehnologije, telekomunikacijske tehnologije in elektronske senzorje. V primeru gnojenja z mineralnimi gnojili gre za stroje, ki so opremljeni z mehatronskimi sistemi, ki omogočajo natančno doziranje količine mineralnih gnojil ob upoštevanju prostorsko opredeljenih podatkov, ki so jih ob predhodni žetvi zabeležili in ustrezno obdelali kombajni za spravilo pridelkov. Predvidevamo da se bodo v prihodnosti

sistemi za določanje položaja traktorjev in samovoznih kmetijskih strojev razširili tudi na traktorje in samovozne stroje majhne moči in bodo s tem primerni tudi za manjša kmetijska gospodarstva.

Ozelenitve njiv

Ozelenitve njiv (strnišč) so prvenstveno namenjene varovanju voda. Z ozelenitvijo strnišč po spravilu glavnega pridelka se preostali rastlinam dostopen dušik veže v rastlinsko biomaso. Gre za dušik, ki bi se sicer v zimskem obdobju v precejšnjem obsegu izpral v podzemne vode. Dušik, vezan v rastlinsko biomaso, je v naslednji rastni sezoni na voljo kmetijskim rastlinam. Učinkovitost kroženja dušika se s tem izboljša. Ozelenitev njiv je še posebej pomembna, če za gnojenje uporabljamo večje količine živinskih gnojil. Živinska gnojila namreč vsebujejo veliko organsko vezanega dušika, katerega sproščanje je težko časovno uskladiti s potrebami rastlin in se sprošča tudi po spravilu glavnih poljščin. Biomaso, ki jo pridelamo z ozelenitvijo strnišč, lahko med drugim s pridom uporabimo tudi za proizvodnjo bioplina/biometana.

9.4.2 Povečanje obsega gojenja metuljnic

Metuljnice 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. Pozitivni učinki gojenja metuljnic se kažejo tudi v povečanju zaloga ogljika v tleh in v zmanjšanju porabe energije za industrijsko vezavo dušika iz zraka. Možnosti za povečanje obsega metuljnic so pri krmnih metuljnicah (črna detelja in lucerna), pri travno deteljnih mešanicah in pri zrnatih stročnicah (soja, grah, bob, ...).

9.4.3 Inhibitorji nitrifikacije

Inhibitorji nitrifikacije so snovi (npr. dicianamid, nitrapirin, 3,4-dimetilpirazol fosfat), ki upočasnijo pretvorbo amonijaka v nitrite in nitrate (nitrifikacija). S tem se zmanjša tudi obseg nadaljnje pretvorbe nitratov v molekularno obliko dušika (denitrifikacija). Rezultat inhibitorjev nitrifikacije je zmanjšanje emisij didušikovega oksida, ki se sprošča tako med procesom nitrifikacije kot tudi pri denitrifikaciji. Poleg manjših emisij didušikovega oksida se zmanjšajo tudi izgube dušika v molekularni obliki v zrak in izpiranje nitratov v podzemne vode. S tem se izboljša izkoristek dušika. Delujejo pri gnojenju z živinskimi gnojili in pri gnojenju z mineralnimi gnojili, ki vsebujejo dušik v obliki sečnine ali amonija. Inhibitorji nitrifikacije so v nekaterih državah že v uporabi, morebitni stranski učinki pa še niso v celoti preučeni.

10 Seznami

10.1 Seznam kratic

A-TES	Senzibilni sistem za shranjevanje toplote z vodonosnikom
AA	Napredno adiabatno, ang. Advanced adiabatic (npr. hranilnih stisnjenega zraka)
ADEME	Francoska okoljevarstvena in energijska agencija, fr. <i>Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie</i> Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
ALK	Alkalna elektroliza
B-TES	Senzibilni sistem za shranjevanje toplote z vrtino
BEV	Baterijsko električno vozilo
CAES	Hranilnik stisnjenega zraka, ang. <i>Compressed Air Energy Storage</i>
CAGR	skupna letna stopnja rasti, ang. <i>Compound annual growth rate</i>
CAPEX	Stroški investicije, ang. <i>Capital expenditures</i>
CGH2	Stisnjen vodik, ang. <i>compressed gaseous hydrogen</i>
CNG	Stisnjen zemeljski plin, ang. <i>Compressed natural gas</i>
COP	Grelno število, tudi koeficient učinkovitosti, ang. <i>Coefficient of performance</i>
CPP	Zaračunavanje konic, ang. <i>Critical-peak pricing</i>
ČE	Črpalna (hidro) elektrarna
EER	Razmerje učinkovitosti, ang. <i>Energy efficiency ratio</i>
EES	Elektroenergetski sistem
EV	Električno vozilo
FCV	gorivne celice na vodik
GV	Gorivne celice
G2V	storitev omrežje-v-vozilo, ang. <i>Grid-to-vehicle</i>
H2	Vodik
HE	Hidro-elektrarna
HEV	hibridno električno vozilo
HPR	Hornsedale Power Reserve
IEA	Mednarodna okoljska agencija, ang. <i>International Energy Agency</i>
ICCT	Mednarodni svet za čisti transport, ang. <i>International Council on Clean Transportation</i>
IoT	Medmrežje pametnih naprav, ang. <i>Internet of things</i>
IKT	Informacijska komunikacijska tehnologija
LCO	litij kobaltat (baterije)
LCOE	Nivelirani stroški energije, ang. <i>Levelized cost of energy</i>
LCOH	Nivelirani stroški vodika, ang. <i>Levelized cost of hydrogen</i>
LFP	litij železo fosfat (baterije)
LMN	litij mangan oksid (baterije)
LNG	utekočinjeni naftni plin, ang. <i>Liquefied natural gas</i>

LTO	litij titanat (baterije)
MCEH	Energetsko stičišče z več nosilci energije ang. Multi-carrier energy hub
MCES	Energetski sistemi z več nosilci energije, ang. Multi-carrier energy system
MNI	motor na notranje izgorevanje
NCA	litij nikelj kobalt aluminij oksid (baterije)
NMC	litij nikelj kobalt mangan oksid (baterije)
OECD	Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj, ang. <i>The Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
OPEC	Organizacija držav izvoznic nafte, ang. <i>The Organization of the Petroleum Exporting Countries</i>
OPEX	Obratovalni stroški, ang. <i>Operating expenses</i>
OVE	Obnovljivi viri energije
P-TES	Senzibilni sistem za shranjevanje toplote z jamo
P2G	Uporaba električne energije za elektrolizo vodika, ang. <i>Power-to-gas</i>
PCM	Materiali s fazno spremembo, ang. <i>Phase-change materials</i>
PEM	Elektroliza s protonsko izmenjalno membrano
PHES	Črpalna (hidro) elektrarna, ang. Pumped hydro electric storages
PHEV	Priključno hibridno električno vozilo
PSB	poližveplove-brom (baterije)
PV	Fotovoltaika, ang. photo-voltaics
RTP	Dinamične tarife, ang. Real-time pricing
sCOP	Sezonsko grelno število ang. Seasonal coefficient of performance
SEEP	Sezonsko razmerje učinkovitosti, ang. <i>Seasonal energy efficiency ratio</i>
SFU	Sezonski faktor učinkovitosti
SKU	Standard kupne moči
SPF	Sezonski faktor učinkovitosti. ang. <i>Seasonal Performance Factor</i>
SVEP	Švedsko združenje za toplotne črpalke
T-TES	Senzibilni sistem za shranjevanje toplote z rezervoarjem
TCS	Termo-kemično shranjevanje toplote, ang. <i>Thermal.chemical energy storage</i>
TČ	Toplotna črpalka
TES	Senzibilni sistem za shranjevanje toplote, ang. <i>Thermal energy storage</i>
TOU	Tarifni režim, ang Time-Of-Use
UPS	brezprekinitveno napajanje
V2G	storitev vozilo-v-omrežje, ang. Vehicle-to-grid
VRE	Spremenljivi obnovljivi viri energije, ang. <i>Variable Renewable Energy</i>
VRF	Variabilni pretok hladilnega sredstva, ang. Variable refrigerant flow
VRFB	vanadij-redox (baterije)
VV	Vozilo na vodik
VZP	Vozilo na zemeljski plin

10.2 Seznam slik

Slika 1: Skupne investicije v tehnologije (zgoraj) in cena na enoto inštalirane moči (spodaj) za PV (levo) in vetrno energijo (desno) [2].	15
Slika 2: Primerjava dolgoročnih stroškov različno se razvijajočih tehnologij [3].	16
Slika 3: Inštalirana moč hranilnikov električne energije na svetovni ravni (podatki za leto 2016; številka označuje inštalirano moč v MW, [6]).	19
Slika 4: Primerjava tehnologij hranilnikov električne energije [7].	20
Slika 5: Študije hranilnikov električne energije in njihova velikost glede na letne potrebe.	20
Slika 6: Stopnja zrelosti tehnologij za shranjevanje električne energije [10].	21
Slika 7: Cena električne energije na Danskem, neto in ob upoštevanju stroška omrežja [12].	21
Slika 8: Tipičen poteg generacije električne energije [11].	22
Slika 9: Primerjava investicijskih in vzdrževalnih stroškov različnih tehnologij shranjevanja energije [16].	22
Slika 10: Obratovalna področja za različne tipe ČE.	24
Slika 11: Tržni delež po posameznih tipih baterij za obdobje 2000-2016 [18].	25
Slika 12: Notranjost (levo) in zunanost (desno) baterijske postaje Laurel Mountain, izvedene z Li-ion baterijami.	26
Slika 13: Pb baterije na testiranju (levo) in zgradba Pb baterije (desno).	27
Slika 14: Zgradba ene celice in kompletne NaS baterije.	28
Slika 15: Zgradba Vanadij-redox pretočne baterije.	29
Slika 16: Primerjava energijske gostote baterij (vir podatkov: [19]).	30
Slika 17: Primerjava življenjske dobe, izkoristka in investicijskih stroškov za različne tipe baterij [19].	30
Slika 18: Hranilnik na stisnjen zrak - a) diabatni proces, b) adiabatni proces.	31
Slika 19: Osnovni sestavni deli vztrajnika.	32
Slika 20: Uporaba obnovljivih virov energije za uporabo vodika.	33
Slika 21: Uporaba vodika in njegovih produktov v transportu.	34
Slika 22: Stroški elektrolize vodika za ALK in PEM elektrolizo v odvisnosti od faktorja razpoložljivosti.	35
Slika 23: Stroški energije vodika v odvisnosti od stroškov električne energije in faktorja razpoložljivosti za elektrolizo PEM.	36
Slika 24: Zgodovina pilotskih P2G projektov in njihova moč.	37
Slika 25: Časovni razpored obstoječih P2G projektov.	38
Slika 26: Energijski tok elektroliznega in metanizacijskega procesa.	39
Slika 27: Shema delovanja sistema za shranjevanje toplote (shranjevanje toplote v vodonosniku ATES).	47
Slika 28: akumulacijski stolp daljinskega ogrevanja od Theiss pri Kremisu na Donavi v Spodnji Avstriji s toplotno zmogljivostjo 2 GWh (levo) in stolp za shranjevanje toplote v Bozen-Bolzanu, Južna Tirolska, Italija (desno) ter velik shranjevalnik toplote "Am Ackermann-bogen" v Münchnu, Nemčija (gradnja spodaj levo in končno stanje spodaj desno).	48
Slika 29: Shranjenja toplota v odvisnosti od temperature za senzibilne (brez fazne spremembe) in latentne sisteme (s fazno spremembo).	49
Slika 30: Kapaciteta shranjevanja in temperatura za različne tehnologije shranjevanja toplote.	52
Slika 31: Povezava med prostornino in investicijskimi stroški številnih nemških in drugih evropskih medresorskih projektov TES.	54
Slika 32: Primerjava gostote moči in gostote energije za izbrane tehnologije shranjevanje energije.	55
Slika 33: Tehnologije za shranjevanje energije.	57
Slika 34: Energetski sistem z različnimi tipi shranjevanja, ki omogočajo prožnost.	58
Slika 35: Porazdelitev globalnih deležev skladiščene električne energije glede na tehnologijo in namen [44].	59

Slika 36: Rast zmogljivosti shranjevanje električne energije v stacionarnih aplikacijah, 2017-2030.....	60
Slika 37: možne specifične naložbe za 8 urno skladiščenje za črpane hidroelektrarne (PHES), klasične in napredno skladiščenje na stisnjen zrak (CAES) in skladiščenje vodika.....	60
Slika 38: Shema navezave PV panela in baterijskega shranjevanja električne energije	61
Slika 39: Analiza posameznih uporabnikov električne energije glede ekonomike shranjevanja	62
Slika 40: Shema sistema Vehicle-2-Grid/Vehicle-2-Home.....	63
Slika 41: Vpliv shranjevanja toplote na daljinsko ogrevanje glede na generacijo slednjega.....	64
Slika 42: Vpliv shranjevanja toplote na daljinsko ogrevanje glede na generacijo slednjega.....	64
Slika 43: Vpliv shranjevanja energije na zmanjševanje račje krivulje (duck-curve).	65
Slika 44: Shema gorivne celice s protonsko prevodno membrano [55]	66
Slika 45: Shematični prikaz možne uporabe vodika [56].....	69
Slika 46: Ocena stroškov [60]	73
Slika 47: Ocena stroškov (LCOE) za proizvedeno električno energijo iz vodika prek tehnologije gorivnih celic	75
Slika 48: Ocena stroškov (LCOE) za proizvedeno električno energijo iz vodika prek tehnologije gorivnih celic glede na tip vhodnega energenta	75
Slika 49: Anulizirana ocena stroškov ogrevalne tehnologije življenjskega cikla [EUR/leto].....	76
Slika 50: Primer uporabe odvečne toplote	80
Slika 51: Simulacija obratovanja obstoječe so-proizvodnja toplote in elektrike plinskim motorjem in vršnim kotlom, hladen teden	82
Slika 52: Simulacija obratovanja nove so-proizvodnja toplote in elektrike s plinskim motorjem, raba visokotemperaturne odvečne toplote, proizvodnja toplote s toplotno črpalko iz nizkotemperaturne odvečne toplote in vršnim kotlom, hladen teden	82
Slika 53: Urejena diagrama obratovanja so-proizvodnja toplote in elektrike.....	82
Slika 54: Predvidena prihodnja poraba kompaktnih avtomobilov (levo) in avtomobilov višjega razreda (desno) glede na izbiro pogona.....	85
Slika 55: Predvidena prihodnja poraba velikih osebnih vozil (bivših kombiniranih vozil) (levo) in avtobusov (desno) glede na izbiro pogona.....	86
Slika 56: Predvidena prihodnja poraba malih (<3.5 t, levo) in velikih (>3.5 t, desno) tovornih vozil glede na izbiro pogona	86
Slika 57: Alexander David, Jerram Lisa: Electric drive buses, Navigant Consulting, Boulder, Q3 2016, stran 2.....	93
Slika 58: Predvideno število električnih avtomobilov glede na napovedovalca (levo) in leto napovedi (desno)	95
Slika 59: Napovedi cen avtomobilskih baterij do leta 2030 glede na analitične družbe in proizvajalce	96
Slika 60: Napovedi cen kompleta baterij in pogonskega sklopa električnih vozil do leta 2030	96
Slika 61: Cene baterijskih električnih vozil v odvisnosti od dometa in leta predstavitve	97
Slika 62: Skupni stroški lastništva kot funkcija velikosti baterije (dometa) in cene goriv za avto in SUV	98
Slika 63: Prikaz potreb po nafti glede na politike držav in oceno prispevkov različnih industrij k povečanju (ali znižanju) potreb po nafti v petletnih obdobjih do 2040 [85].....	101
Slika 64: Število prevoženih kilometrov v cestnem transportu glede na tri glavne kategorije energentov– naftne derivate, zemeljski plin ter električna energija.....	102
Slika 65: Različne označbe in klasifikacije vozil glede na težo, poimenovanje in nacionalne posebnosti [10].	104
Slika 66: Struktura po tipu goriva in sprememba energijske porabe glede na razvitost držav/regije v letih med 2000 in 2040.	105
Slika 67: Predvideno gibanje števila osebnih vozil v svetovnem voznem parku, glede na razvitost držav.....	106
Slika 68: Število vseh vozil v svetu do leta 2100 na podlagi ocene študije Pemberton & associates [95].....	109

Slika 69: Prikaz gibanja letnega števila prodanih osebnih vozil po posameznih razredih v letih med 2015 in 2050. .	110
Slika 70: Ocena števila letno prodanih osebnih vozil v EU28 območju, v tisočih vozil	110
Slika 71: Ocena števila letno prodanih osebnih vozil v Sloveniji (v tisočih).	111
Slika 72: Delež prodaje vozil glede na tehnologijo pogona, 2016 (levi stolpec) in 2040 (desni stolpec). Conventional = MNI, NGV = VZP, Electric = (BEV + PHEV), FCV = gorivne celice na vodik.....	112
Slika 73: Vozni park osebnih vozil 2015 – 2040. [96].....	112
Slika 74: Dinamika porasta tehnologij v letni prodaji vozil do leta 2040. [96].....	113
Slika 75: Primeri tržnih deležev PHEV z več-modalnimi modeli, ki ocenjujejo saturacijo in rast trgov po posameznih državah [97].	115
Slika 76: Primeri tržnih deležev BEV z več-modalnimi modeli, ki ocenjujejo saturacijo in rast trgov po posameznih državah [97].	116
Slika 77: Po modelu logične izbire potrošnikov ocenjeni deleži različnih pogonskih tehnologij v prodaji vozil glede na predviden scenarij v obdobju med 2020 in 2040, po različnih državah, pri čemer desna os označuje dostopnost električnih vozil (glede na ceno, število modelov in doseg).	117
Slika 78: Predvidena struktura voznega parka osebnih avtomobilov v letih 2016 med 2040.	118
Slika 79: Struktura voznega parka, pesimistična ocena BP [98] (levo); trend izkoristka vozil z motorji na notranje izgorevanje po treh regijah z največ avtomobili v letu 2017 (desno).....	119
Slika 80: Primerjava ocen števila električnih avtomobilov svetovnega voznega parka v letih 2015 – 2035, optimistična (IEA450 [99]) in pesimistična ocena. (Ocena BP[100]).....	119
Slika 81: Skupna ocena števila električnih vozil v svetovnem voznem parku avtomobilov v letih 2016, 2025 ter 2040 [104].	120
Slika 82: Delež EV med letno prodanimi avtomobili v svetu v dveh scenarijih – pesimistični scenarij predvideva navadno nadaljevanje razvoja in adopcije vozil brez dodatnih spodbud in zaostrovanja okoljskih politik držav in regij – optimistični scenarij pa predvideva v obdobju do 2030 prepoved motorjev na notranje izgorevanje, kar je najbolj ekstremna politika, ki bi lahko botrovala vse večjemu prodoru električnih vozil (levo); Število prevoženih kilometrov z avtomobili na električni pogon v obeh scenarijih desno).....	121
Slika 83: Različne označbe in klasifikacije vozil glede na težo, poimenovanje in nacionalne posebnosti [105].	123
Slika 84: Primer trenutnega stanja razvoja in dosegov različnih tovornih vozil glede na največjo dovoljeno maso....	125
Slika 85: Emisije težkih vlačilcev v Evropi med 2015 in 2050 glede na različne scenarije.	127
Slika 86: Struktura vozil v svetu leta 2017, število prevoženih kilometrov glede na tip vozila, rang velikosti prispevka k skupnim emisijam cestnega prometa.....	127
Slika 87: Ocena prevoženega tovora in kilometrov gospodarskih vozil do leta 2050 ter njihov prispevek k izpustom toplogrednih plinov tekom njihove življenjske dobe.	128
Slika 88: Rast prodaje tovornjakov z največjo dovoljeno maso preko 6t med leti 2014 in 2024 [105].	128
Slika 89: Pričakovana rast ter število letno prodanih tovornjakov po različnih državah sveta.	129
Slika 90: Primeri deležev avtobusov z alternativnimi pogoni do leta 2026.....	130
Slika 91: Razvoj prodaje tovornih gospodarskih vozil med leti 2013 – 2020	132
Slika 92: Struktura trga srednje-težkih tovornih vozil (do 15t največje dovoljene mase) v letu 2026 (levo) in trend rasti alternativnih pogonov v času 2016 – 2026 (desno)	133
Slika 93: Struktura trga težkih tovornih vozil (nad 15t največje dovoljene mase) v letu 2026 (levo) in trend rasti alternativnih pogonov v času 2016 – 2026 (desno)	134
Slika 94: Struktura prodaje gospodarskih vozil po tehnologiji pogona, v letu 2016 (levi stolpec v nizu) in v letu 2040 (desni stolpec v nizu)	136

Slika 95: Sestava voznega parka gospodarskih vozil po tipu pogonskega sistema med leti 2016 in 2040. NGV = vozila na zemeljski plin. FCV – vozila na vodikove gorivne celice. Electric – vozila PHEV in BEV.	137
Slika 96: Prodaja lahkih vozil in delež električnih lahkih vozil v tem desetletju (2010-17)	138
Slika 97: Število osebnih vozil v primerjavi s številom prebivalcev v Sloveniji od leta 1970 do 2015.	139
Slika 98: Število tovornjakov glede na BDP in število avtobusov glede na število prebivalcev Slovenije.	140
Slika 99: Stopnja motorizacije v Sloveniji med leti 1970 in 2015. Od leta 2008 se beleži le minimalna rast, ki se zaradi izboljšane ekonomske situacije lahko še nekaj let nadaljuje, vendar v manjšem obsegu.	143
Slika 100: Delež vozil v Sloveniji, ki pripada posameznemu EURO standardu, glede na kategorijo in vrsto pogona, v letih 1995, 2005, 2013 in 2015.	145
Slika 101: Delež osebnih avtomobilov na dizelski pogon v Sloveniji med leti 1986 – 2015.	145
Slika 102: Razdelitev segmentov vozil za pogonske sisteme glede na potovalno razdaljo in velikost vozila	147
Slika 103: Razmerja med specifično težo in prostornino baterijskih tehnologij.	148
Slika 104: Vpliv zelenega dosega na velikost volumna sistema za shranjevanje energije v odvisnosti od tipa pogona 148	
Slika 105: Pribitek k proizvodni ceni glede na tip pogona za vozila srednjega razreda po letih.	149
Slika 106: Bodoči celotni izkoritek BEV in FCEV do leta 2050 glede na scenarij	151
Slika 107: Predvidene količine končne energije z upoštevanjem sedanjih trendov in sprejetih politik [142]	152
Slika 108: Gostota cestnega omrežja v letu 2017 po slovenskih občinah [143]	153
Slika 109: Število registriranih osebnih vozil na 1000 prebivalcev v letu 2017 [143]	153
Slika 110: Zemljevidi s polnilnimi postajami za središče Ljubljane: levo polni.me, sredina eafo.eu in desno chargemap.com, stanje januar 2019.	155
Slika 111: Deleži električnih vozil v letu 2017 po slovenskih občinah [143]	157
Slika 112: Število polnilnic za električna vozila glede na hitrost polnjenja [144]	158
Slika 113: Število avtomobilov PEV na polnilnico (število vozil/priključek) [144]	158
Slika 114: Število avtomobilov na UNP in SZP v Sloveniji po letih [144]	160
Slika 115: Števila polnilnic za vozila na UNP in SZP [144]	165
Slika 116: Število polnilnic z vodikom v EU.	168
Slika 117: Energetski delež biogoriv v celotni porabi goriva v prometu	169
Slika 118: Cena odpadnih surovin in predevalve v biogorivo v €/MWh	171
Slika 119: Količina biogoriv glede na uredbo	175
Slika 120: Delež biogoriv med vsemi gorivi.	176
Slika 121: Razvoj elektroenergetskega sistema in razvoj koncepta naprednih omrežij [169]	178
Slika 122: Koncept prihodnjega inteligentnega energetskega sistema s poudarkom na uporabi obnovljivih virov energije [173]	179
Slika 123: Investicije v pametna omrežja glede na tehnologijo	180
Slika 124: Model MCES	182
Slika 125: Model MCEH	183
Slika 126: Agregator za storitve prilagajanja odjema	187
Slika 127: Transformacija energetskega sistema	188
Slika 128: Glavni kategoriji in primeri sodelovalnih omrežij	190

10.3 Seznam tabel

Tabela 1: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij shranjevanja električne energije	18
---	----

Tabela 2: Tehnološko ekonomske lastnosti ALK in PEM elektrolize za leto 2017 in napoved za leto 2025	34
Tabela 3: Izkoristki cikla za hranilnike električne energije.....	42
Tabela 4: Življenjske dobe hranilnikov električne energije	42
Tabela 5: Specifični stroški investicije za hranilnike električne energije	43
Tabela 6: Li-ion velika specifična energija	44
Tabela 7: Li-ion velika specifična moč	44
Tabela 8: Li-S.....	44
Tabela 9: Li-zrak	45
Tabela 10: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij shranjevanja električne energije.....	46
Tabela 11: Opis glavnih segmentov aplikacij za različne tehnologije TES	50
Tabela 12: Tipični parametri sistemov za shranjevanje toplote	51
Tabela 13: Ekonomska izvedljivost sistemov TES kot funkcije števila ciklov skladiščenja letno	52
Tabela 14: Povzetek: ključni podatki za tehnologije toplotne shranjevanja	53
Tabela 15: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij shranjevanja energije pomebnih za razvoj drugih tehnologij.....	56
Tabela 16: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij gorivnih celic.....	67
Tabela 17: Lastnosti sistemov in ocena stroškov glede na moč od leta 2011 do 2016	74
Tabela 18: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij toplotnih črpalk	77
Tabela 19: Prihodnji trendi in pričakovan razvoj učinkovitosti tehnologije na področju ogrevanja (COP, sCOP, SPF) do leta 2030 in 2050.....	79
Tabela 20: Prihodnji trendi in pričakovan razvoj učinkovitosti tehnologije na področju hlajenja (EER, SEER) do leta 2030 in 2050	79
Tabela 21: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologije odvečne toplote	81
Tabela 22: Cena odvečne toplote	83
Tabela 23: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologije e-mobilnosti.....	84
Tabela 24: Mali mestni avtomobili, teoretična analiza.....	87
Tabela 25: Mali mestni avtomobili, primer iz prakse	87
Tabela 26: Mali mestni avtomobili, podatki iz prakse.....	87
Tabela 27: Osebni kompaktni avtomobil, Teoretična analiza.....	88
Tabela 28: Osebni kompaktni avtomobil, primer iz prakse, VW Golf	88
Tabela 29: Osebni avtomobil višjega razreda, Teoretična analiza.....	89
Tabela 30: Osebni avtomobil višjega razreda, primer iz prakse, Opel Ampera	90
Tabela 31: Velika osebna vozila (bivša kombinirana vozila), Teoretična analiza	90
Tabela 32: Primer iz prakse, kombinirana vozila	91
Tabela 33: Dvokolesniki, teoretična analiza.....	91
Tabela 34: Dvokolesniki, primer iz prakse	91
Tabela 35: Avtobusi s skupno maso do 18 ton	92
Tabela 36: Avtobusi s skupno maso do 18 ton, primer iz prakse.....	93
Tabela 37: Tovorna vozila do 3.5 tone, teoretična analiza.....	93
Tabela 38: Tovorna vozila do 3.5 tone, primeri iz prakse	94
Tabela 39: Tovorna vozila nad 3.5 tone, teoretična analiza.....	94
Tabela 40: Baterijska tovorna vozila po največji skupni masi od 7,5 ton do 40 ton, primeri iz prakse.....	95
Tabela 41: Razrez cen klasičnega in električnega avtomobila po komponentah.....	98
Tabela 42: Predvideno število osebnih vozil v regiji po letih med 2016 in 2070 [93], [94]	106

Tabela 43: predvideno število osebnih vozil na svetu v letih 2020 – 2070, po različnih študijah, v milijonih vozil.....	107
Tabela 44: Predvideno število osebnih vozil glede na pogon po letih med 2016 in 2070.....	122
Tabela 45: Tabela nekaterih znanstvenih študij, ki v različnih časovnih okvirih analizirajo stroškovno sprejemljivost tovornih vozil z alternativnimi pogoni, pri čemer vključujejo tudi druge faktorje.	124
Tabela 46: Intenziteta izpustov CO ₂ za različne tipe energentov v letih 2015 in 2030, ter relativno zmanjšanje emisij v letu 2030 za dan energent/energijo.....	126
Tabela 47: Ocena števila vseh kategorij gospodarskih vozil v svetovnem voznem parku, v letih 2016 – 2070, v milijonih vozil.....	131
Tabela 48: Podatki o deležu vozil po pogonu v Sloveniji za leto 2016 (zadnji podatki na voljo).....	144
Tabela 49: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih tehnologij alternativnih goriv.....	146
Tabela 50: Razdelitev vozil glede na način pogona.....	149
Tabela 51: Deleži vozil na CNG [149], [144].....	160
Tabela 52: Polnilnice SPZ [144].....	161
Tabela 53: Število prodajnih mest za UNP [150].....	165
Tabela 54: Delež vozil na UNP v voznem parku [152].....	165
Tabela 55: Največji ponudniki električnih vozil na vodik (gorivne celice) v zadnjih letih v EU [144].....	167
Tabela 56: Delež obnovljive energije v transportu (%).....	169
Tabela 57: Delež biogoriv pri različnem deležu gospodarjenja z gozdom.....	170
Tabela 58: Predpisan delež obnovljivih virov v gorivih po letih.....	172
Tabela 59: Tehnične in ekonomske lastnosti sistemov pametnih omrežij.....	177
Tabela 60: Koristi za akterje v energetskih storitvah pametnih omrežij.....	184
Tabela 61: Gradniki poslovnega modela uvajanja storitev OVE.....	185
Tabela 62: Osnovni elementi pametnih omrežij.....	189
Tabela 63: Načini sodelovanja, motivacija ter tehnologije in mehanizmi za posamezne koncepte pametnih omrežij.....	193
Tabela 64: Tehnične in ekonomske lastnosti potencial za energijsko učinkovitost s snovno učinkovitostjo.....	195
Tabela 65: Pregled sektorskih ukrepov snovne učinkovitosti.....	196
Tabela 66: Kazalniki za spremljanje cilja nizkoogljično gospodarstvo [208].....	197
Tabela 67: Tehnične in ekonomske lastnosti poglavitnih novih tehnologij v kmetijstvu.....	202



10.4 References

- [1] "Technology life cycle," *Wikipedia*. 12-Jul-2018.
- [2] J. Huenteler, T. S. Schmidt, J. Ossenbrink, and V. H. Hoffmann, "Technology life-cycles in the energy sector — Technological characteristics and the role of deployment for innovation," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 104, pp. 102–121, Mar. 2016.
- [3] T. S. Schmidt, B. Battke, D. Grosspietsch, and V. H. Hoffmann, "Do deployment policies pick technologies by (not) picking applications?—A simulation of investment decisions in technologies with multiple applications," *Research Policy*, vol. 45, no. 10, pp. 1965–1983, Dec. 2016.
- [4] M. Pušnik *et al.*, "Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in srednjeročni izzivi - industrija, vključno z opcijami snovne učinkovitosti," Institut Jožef Stefan, Center za energetske učinkovitost, Ljubljana, maj 2018.
- [5] P. Patel, "How Inexpensive Must Energy Storage Be For Utilities To Switch To 100 Percent Renewables? IEEE Spectrum - IEEE Spectrum," *IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News*, 16-Sep-2019. .
- [6] "DOE Global Energy Storage Database." [Online]. Available: <https://www.energystorageexchange.org/projects>. [Accessed: 06-Mar-2018].
- [7] A. A. Akhil *et al.*, "Electricity storage handbook in collaboration with NRECA," *Report SAND2013-5131, Sandia National Laboratories*, Feb. 2015.
- [8] H. Blanco and A. Faaij, "A review at the role of storage in energy systems with a focus on Power to Gas and long-term storage," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1049–1086, Jan. 2018.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] B. Lyseng *et al.*, "System-level power-to-gas energy storage for high penetrations of variable renewables," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 4, pp. 1966–1979, Jan. 2018.
- [12] 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.
- [13] K. Bradbury, L. Pratson, and D. Patiño-Echeverri, "Economic viability of energy storage systems based on price arbitrage potential in real-time U.S. electricity markets," *Applied Energy*, vol. 114, pp. 512–519, Feb. 2014.
- [14] K. C. Divya and J. Østergaard, "Battery energy storage technology for power systems—An overview," *Electric Power Systems Research*, vol. 79, no. 4, pp. 511–520, Apr. 2009.
- [15] H. Ibrahim, A. Ilinca, and J. Perron, "Energy storage systems—Characteristics and comparisons," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, no. 5, pp. 1221–1250, Jun. 2008.
- [16] B. Pfluger, F. Sensfuß, G. Schubert, and J. Leisentritt, "Tangible ways towards climate protection in the European Union (EU Long-term scenarios 2050)," Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, Karlsruhe, Final Report, Sep. 2011.
- [17] EASE-EERA, "Joint EASE-EERA Recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap Towards 2030 - update," Jan. 2017.
- [18] M. Sanders, "The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2016 – 2025," presented at the The battery show - North America 2017, Sep-2017.
- [19] IRENA, "Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030," 2017.

- [20]F. S. Barnes and J. G. Levine, *Large energy storage systems handbook*. CRC Press, 2011.
- [21]EPRI, "Electricity Energy Storage Technology Options: A White Paper Primer on Applications, Costs, and Benefits," 2010.
- [22]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.
- [23]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.
- [24]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.
- [25]T. Schaaf, J. Grünig, M. R. Schuster, T. Rothenfluh, and A. Orth, "Methanation of CO₂ - storage of renewable energy in a gas distribution system," *Energy Sustain Soc*, vol. 4, no. 1, p. 2, Dec. 2014.
- [26]Benjaminsson, Gunnar; Benjaminsson, Johan; Boogh Rudberg, Robert, "Power-to-Gas – A technical review," Svenskt Gastekniskt Center AB, Malmö, SGC Rapport 2013:284, 2013.
- [27]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.
- [28]M. Götz *et al.*, "Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review," *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 1371–1390, Jan. 2016.
- [29]K. Tschiggerl, C. Sledz, and M. Topic, "Considering environmental impacts of energy storage technologies: A life cycle assessment of power-to-gas business models," *Energy*, vol. 160, pp. 1091–1100, Oct. 2018.
- [30]ELES, "Razvojni načrt prenosnega omrežja Republike Slovenije od leta 2017 do leta 2026," Apr. 2015.
- [31]P. Elsner and D. U. Sauer, "Energiespeicher: Technologiesteckbrief zur Analyse Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050," Nov. 2015.
- [32]"IRENA-ETSAP-Tech-Brief-E17-Thermal-Energy-Storage.pdf," Brief Report, Jan. 2013.
- [33]"Thermal energy storage," *Wikipedia*. 19-Jun-2019.
- [34]Delta Energy & Environment Ltd., "Evidence Gathering: Thermal Energy Storage (TES) Technologies," Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2016.
- [35]I. Friberg, "Seasonal Storage of Distant Industrial Excess Heat for District Heating," Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2015.
- [36]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.
- [37]K. Brecl, "Pregled fotovoltaičnega trga v Sloveniji: Poročilo za leto 2017," PV Portal, Ljubljana, 2018.
- [38]N. Parletta, "New Thermal Battery Could Be A 'Game Changer' For Storing Renewable Energy," *Forbes*, 04-Mar-2019. .
- [39]P. Komarnicki, P. Lombardi, and Z. Styczynski, *Electric Energy Storage Systems: Flexibility Options for Smart Grids*. Berlin: Springer-Verlag, 2017.
- [40]X. Luo, J. Wang, M. Dooner, and J. Clarke, "Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation," *Applied Energy*, vol. 137, pp. 511–536, Jan. 2015.



- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] "Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030," IRENA International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ISBN 978-92-9260-038-9 (PDF), 2017.
- [45] L. April, "Batteries perform many different functions on the power grid," *Today in Energy*, vol. January 2018, 2018.
- [46] D. P. Sveinbjörnsson, D. Trier, K. Hansen, and B. V. Mathiesen, "Technical and Economic Potential of Distributed Energy Storages for the Integration of Renewable Energy - Prepared as a part of IEA ECES Annex 28: Distributed Energy Storage for the Integration of Renewable Energy (DESIRE)," PlanEnergi s/i, Copenhagen, Apr. 2018.
- [47] G. Parkinson, *Tesla big battery outsmarts lumbering coal units after Loy Yang trips*. 2017.
- [48] "Letting in the Light: How solar PV will revolutionise the electricity system," IRENA, Abu Dhabi, 2016.
- [49] IRENA, "Innovation Outlook: Renewable Mini-Grids," International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ISBN 978-92-95111-44-8 (PDF), 2016.
- [50] "Vehicle to Grid," *The Mobility House*. [Online]. Available: https://www.mobilityhouse.com/int_en/vehicle-to-grid. [Accessed: 16-Jul-2019].
- [51] H. Smit, "Nissan V2G project in Germany shows results," *electrive.com*, 29-Jan-2019. .
- [52] 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 (ICREPQ'15)*, La Coruna, 2015.
- [53] H. Lund *et al.*, "Energy Storage and Smart Energy Systems," 1, vol. 11, pp. 3–14, Oct. 2016.
- [54] 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.
- [55] "Gorivne celice," *VTO, Jure Oblak s.p.*, 2018. .
- [56] "Hydrogen," *Hydrogen Tracking Clean Energy Progress*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/tcep/energyintegration/hydrogen/>. [Accessed: 22-Jan-2019].
- [57] M.-R. de Valladares, "Global Trends and Outlook for Hydrogen," IEA Hydrogen Technology Collaboration Program, ISBN-13: 978-1-945951-07-7, Dec. 2017.
- [58] Y. Ruf, S. Lange, J. Pfister, and C. Droege, "Fuel Cells and Hydrogen for Green Energy in European Cities and Regions: A Study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking," Roland Berger, Munich, Germany, Sep. 2018.
- [59] Study Task Force of the Hydrogen Council, "Hydrogen Scaling Up: A sustainable pathway for the global energy transition," Hydrogen Council, Nov. 2017.
- [60] A. Herrmann, J. Schumann, H. Krause, T. B. Freiberg, and N. Klüber, "Cost-Efficiency of a CHP Hydrogen Fuel Cell," presented at the 3rd International Hybrid Power Systems Workshop, Tenerife, Spain, 2018, p. 4.
- [61] "The Lowdown on Hydrogen, Part 1: Transportation," *Energy Central*, vol. April 3, 2017, 03-Apr-2017.
- [62] A. Wilson, J. Marcinkoski, and D. Papageorgopoulos, "Fuel Cell System Cost - 2016," U.S. Department of Energy, DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record, Nov. 2016.
- [63] *Developed to serve as input to the POTEnCIA model*. POTEnCIA, JRC C.6, 2018.

- [64]E. Boyd and I. Walker, "Life Cycle Cost Analysis," Ene.field project, Public Summary, Oct. 2017.
- [65]C. Forman, I. K. Muritala, R. Pardemann, and B. Meyer, "Estimating the global waste heat potential," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, pp. 1568–1579, May 2016.
- [66]M. Papapetrou, G. Kosmadakis, A. Cipollina, U. La Commare, and G. Micale, "Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country," *Applied Thermal Engineering*, vol. 138, pp. 207–216, Jun. 2018.
- [67]D. Staničič, S. Merše, A. Urbančič, M. Pečkaj, J. Čižman, and B. Sučić, "Toplarna Ravne na Koroškem po letu 2017: Predinvesticijska zasnova," Center za energetske učinkovitost, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Predinvesticijska zasnova (PZ), verzija 2.0 IJS-DP-12003, maj 2015.
- [68]N. Jones, "Waste Heat: Innovators Turn to an Overlooked Renewable Resource," *Yale E360*, 29-May-2018. .
- [69]*Energetski zakon*. 2014.
- [70]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.
- [71]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.
- [72]C. Xu, G. Xu, Y. Yang, S. Zhao, K. Zhang, and D. Zhang, "An improved configuration of low-temperature pre-drying using waste heat integrated in an air-cooled lignite fired power plant," *Applied Thermal Engineering*, vol. 90, pp. 312–321, Nov. 2015.
- [73]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.
- [74]Luka A., Urška S., Stanko. H., Žiga P., Jan Ž. Gorazd L., "Študija trendov tehnologij na področju transporta.," Elaphe, Ljubljana, Partial report for LIFE CLIMATEPATH 2050, Feb. 2018.
- [75]"Electric Vehicle Outlook 2017," Bloomberg, Jul. 2017.
- [76]"Electric Vehicle Outlook 2019," Bloomberg, Jul. 2019.
- [77]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.
- [78]X. Mosquet, H. Zablit, A. Dinger, G. Xu, M. Andersen, and K. Tominaga, "The Electric Car Tipping Point," The Boston Consulting Group, Jan. 2018.
- [79]M. Erich and J. Witteveen, "Breakthrough of electric vehicle threatens European car industry," ING Economics Department, Jul. 2017.
- [80]"UBS Evidence Lab Electric Car Teardown – Disruption Ahead?," UBS Limited, May 2017.
- [81]"Low-carbon cars in Europe: A socio-economic assessment," Cambridge Econometrics, Final Report, Feb. 2018.
- [82]"Global EV Outlook 2018: Towards cross-modal electrification," OECD/IEA, Paris, France, 2018.
- [83]"Global EV Outlook 2019: Scaling-up the transition to electric mobility," OECD/IEA, Paris, France, 2019.
- [84]"Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050," OECD/IEA, Paris, France, Text, 2010.
- [85]"World Energy Outlook 2017," IEA, Paris, 2017.
- [86]"Automotive Research and Forecast," Euromonitor International and JATO Dynamics, 2015.

- [87]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.
- [88]P. Harrop, "Electric Buses 2018-2038: Forecasts, Technology Roadmap, Company Assessment," IDTechEx, 2018.
- [89]P. Harrop, "Last Mile Electric Vehicles 2018-2028: EVs taking goods or people to their final destination," IDTechEx, 2018.
- [90]"Mobility as a Service: The Future of Moving People : Carsharing , Ride-Hailing , Micro Transit , Automated Mobility , and P2P Rental Services," Navigant Research, 2017.
- [91]"Transportation Forecast : Light Duty Vehicles; Sales and Population : 2016-2035," Navigant Research, 2017.
- [92]Burgstaller, S., Flowers, D., Tamberrino, D., Terry H. P., and Yang, Y., "Rethinking Mobility: The 'pay as you go' car: Ride hailing just the start," 2017.
- [93]"World Oil Outlook 2017," OPEC, 2017.
- [94]"2018 BP Energy Outlook," BP, 2018.
- [95]Pemberton & Associates, "Far Horizon: The Automotive Industry to 2100," 2013.
- [96]Bloomberg Finance Energy, "Electric vehicle outlook 2017," no. July, pp. 1–5, 2017.
- [97]A. Jenn, G. Tal, and L. Fulton, "A Multi-Model Approach to Generating International Electric Vehicle Future Adoption Scenarios," 2017.
- [98]BP, "2018 BP Energy Outlook," 2018.
- [99]International Energy Agency, *Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies To 2050*. 2010.
- [100] S. Dale and T. D. Smith, "Back to the future: electric vehicles and oil demand," 2016.
- [101] International Energy Agency, "Global EV Outlook 2017: Two million and counting," *IEA Publications*. pp. 1–71, 2017.
- [102] International Energy Agency, "Global EV Outlook 2016," *Iea*, p. 51, 2016.
- [103] IEA, "Energy Technology Perspectives 2017," *Iea*, p. 371, 2017.
- [104] International Energy Agency, "World Energy Outlook," 2017.
- [105] C. Nürk and M. Maier, "Truck Market 2024: Sustainable Growth in Global Markets," 2014.
- [106] S. Chandler, J. Espino, and J. O'Dea, "Delivering opportunity: How electric buses and trucks can create jobs and improve public health in California," *Cambridge, MA, and Oakland, CA: Union of Concerned Scientists and The Greenlining Institute*. Online at www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/freightelectrification, 2016.
- [107] M. Moutak, N. Lutsey, and D. Hall, "Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles," *The International Council on Clean Transportation*, no. September, 2017.
- [108] California Air Resources Board, "Heavy-Duty Technology and Fuels Assessment: Overview," 2015.
- [109] K. Kelly, K. Bennion, E. Miller, and B. Prohaska, "Medium-and Heavy-Duty Vehicle Duty Cycles for Electric Powertrains," 2016.
- [110] S. Löfstrand *et al.*, "Feasibility of electrifying urban goods distribution trucks," *SAE International Journal of Commercial Vehicles*, vol. 6, no. 2013-01–0504, pp. 24–33, 2013.
- [111] L. Spiegel, "CALheat Research and Market Transformation Roadmap for Medium-and-heavy Duty Trucks," *Public Interest Energy Research Program*, 2013.

- [112] F. Kleiner and H. E. Friedrich, "Scenario analyses for the techno-economical evaluation of the market diffusion of future commercial vehicle concepts," *Evs30*, pp. 1–13, 2017.
- [113] E. Den Boer, S. Aarnink, F. Kleiner, and J. Pagenkopf, "Zero emissions trucks: An overview of state-of-the-art technologies and their potential," 2013.
- [114] L. Fulton and M. Miller, "Strategies for transitioning to low-carbon emission trucks in the United States," 2015.
- [115] L. Fulton, J. Mason, and D. Meroux, "Three Revolutions in Urban Transportation," *UC Davies Sustainable Transportation Energy Pathways*, p. 38, 2017.
- [116] C. Gladstein, P. Couch, M. Wake, and C. Medlock, "The pathways to near-zero-emission natural gas heavy duty vehicles," *Gladstein, Neandross & Associates (GNA)*. http://www.gladstein.org/gna_whitepapers/zero-emissioncatenary-hybrid-truck-market-study, 2014.
- [117] E. Wood, L. Wang, J. Gonder, and M. Ulsh, "Overcoming the range limitation of medium-duty battery electric vehicles through the use of hydrogen fuel-cells," *SAE International Journal of Commercial Vehicles*, vol. 6, no. 2013-01–2471, pp. 563–574, 2013.
- [118] E. D. Özdemir *et al.*, "Status and trends for electrified transport logistic vehicles," vol. 2, no. December, pp. 1–8, 2015.
- [119] California Air Resources Board, "Draft Technology Assessment: Heavy-duty hybrid vehicles," no. November, 2015.
- [120] California Air Resources Board, "Draft Technology Assessment: Medium- And Heavy-Duty Fuel Cell Electric Vehicles," no. November, 2015.
- [121] H. Zhao, A. Burke, and L. Zhu, "Analysis of Class 8 hybrid-electric truck technologies using diesel, LNG, electricity, and hydrogen, as the fuel for various applications," in *Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), 2013 World*, 2013, pp. 1–16.
- [122] D. Connolly, "eRoads: A comparison between oil, battery electric vehicles, and electric roads for Danish road transport in terms of energy, emissions, and costs," 2016.
- [123] B. Sen, T. Ercan, and O. Tatari, "Does a battery-electric truck make a difference?--Life cycle emissions, costs, and externality analysis of alternative fuel-powered Class 8 heavy-duty trucks in the United States," *Journal of cleaner production*, vol. 141, pp. 110–121, 2017.
- [124] D.-Y. Lee and V. M. Thomas, "Parametric modeling approach for economic and environmental life cycle assessment of medium-duty truck electrification," *Journal of cleaner production*, vol. 142, pp. 3300–3321, 2017.
- [125] La Presse, "The ambitious plan of Alexandre Taillefer," *La Presse*. [Online]. Available: <http://plus.lapresse.ca/screens/bd19e8f8-dc5b-4789-9a68-0daa0ee8205b%7CNBK~UgHiLT1H.html>.
- [126] Phoenix Contact, "Battery swapping for electric buses in Qingdao," 2013.
- [127] S. Mohile, "Ashok Leyland and Sun Mobility in alliance to develop electric mobility solutions," 2017. [Online]. Available: <http://www.livemint.com/Industry/GOvg1Nv4omwOSQ8MW0douM/Ashok-Ley>.
- [128] M. B. Thomas Schiller, Michael Maier, "Global Truck Study 2016 The truck industry in transition," 2017.
- [129] ACEM, "ACEM-2017 - European market statistics." 2018.
- [130] ACEM, "ACEM - Circulating parc - Up to 2014." 2016.
- [131] Electric Battery Bicycle Company, "Electric Bikes Worldwide Report, 2016 Edition," 2016.
- [132] McKinsey, "The future(s) of mobility: How cities can benefit," 2017. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/the-futures-of-mobility-how-cities-can-benefit>.



- [133] C. McKerracher *et al.*, "An integrated perspective on the future of mobility," 2016.
- [134] S. Abe, "The Future Direction of The Electrified Vehicle – Utilizing Of Big Data," presented at the 30th International AVL Conference "Engine & Environment," Graz Austria, 07-Jun-2018.
- [135] C. E. Thomas, "Fuel cell and battery electric vehicles compared," presented at the Comparison of Transportation Options in a Carbon-Constrained World: Hydrogen, Plug-in Hybrids and Biofuels, Sacramento, California, Aug-2009.
- [136] S. Corr, "The Battery Inside Out," presented at the The Battery Inside Out, The Royal Institution, 12-Mar-2019.
- [137] J. German, "Electric Vehicles: Performance, Cost, Penetration," presented at the CCAP MAIN-Latin American Regional Dialogue, Washington, DC, 27-Oct-2014.
- [138] giannicatalfamo, "An EV taxonomy," *OneWedge*, 19-Feb-2018. .
- [139] 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.
- [140] Ministrstvo za infrastrukturo Republike Slovenije, "Strategija na področju razvoja trga za vzpostavitev ustrezne infrastrukture v zvezi z alternativnimi gorivi v prometnem sektorju v Republiki Sloveniji," Vlada Republike Slovenije, Ljubljana, 35400-16/2017/9, Dec. 2017.
- [141] M. Kovač, A. Urbančič, B. P. Visočnik, M. Đorić, M. Česen, and T. Janša, "Poročilo projekta št. C4.1, volumen 1/zvezek 5: Podnebno ogledalo 2018, Zvezek 5: Ukrep v središču Električna mobilnost, končno poročilo," Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Končno poročilo IJS-DP-12537, ver. 1.0, Apr. 2018.
- [142] "State of the Art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union," DG MOVE - Expert group on future transport fuels, Final Report, Jul. 2015.
- [143] G. Stegnar *et al.*, "Lokalni semafor podnebnih aktivnosti," Institut Jožef Stefan, Center za energetska učinkovitost, Ljubljana, Web archive, 2018.
- [144] "European Alternative Fuels Observatory," 2018. [Online]. Available: <https://www.eafo.eu/>. [Accessed: 18-Jan-2019].
- [145] "Chargemap - charging stations for electric cars." [Online]. Available: <https://chargemap.com/>. [Accessed: 18-Jan-2019].
- [146] EC, *Direktiva 2014/94/Eu Evropskega Parlamenta in Sveta o vzpostavitvi infrastrukture za alternativna goriva*, vol. 2014/94/EU. 2014, p. 20.
- [147] "Tesla Superchargers in Slovenia | Tesla." [Online]. Available: <https://www.tesla.com/findus/list/superchargers/Slovenia>. [Accessed: 21-Jan-2019].
- [148] "Zemeljski plin." [Online]. Available: <https://www.zemeljski-plin.si>. [Accessed: 23-Jan-2019].
- [149] CNGEurope, "Slovenia," *CNG Europe*. .
- [150] "LPG stations - myLPG.eu." [Online]. Available: <https://www.mylpg.eu/stations/>. [Accessed: 23-Jan-2019].
- [151] "Reported CO2 emissions from new cars continue to fall," *European Environment Agency*. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/highlights/reported-co2-emissions-from-new>. [Accessed: 23-Jan-2019].
- [152] "Alternative fuel vehicle registrations | ACEA - European Automobile Manufacturers' Association." [Online]. Available: <https://www.acea.be/statistics/tag/category/electric-and-alternative-vehicle-registrations>. [Accessed: 23-Jan-2019].
- [153] SEC (2007), "Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - 'Towards a low carbon future,'" Komisija Evropskih skupnosti, Bruselj, COM/2007/0723 final, Nov. 2007.

- [154] SEC (2009), "Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - 'Investing in the Development of Low Carbon Technologies'," Komisija Evropskih skupnosti, Bruselj, COM(2009) 519/4, 2009.
- [155] FCH, 2, and JU Governing Board, "Fuel Cells And Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU): Multi - Annual Work Plan 2014 - 2020," New Energy World, 2014.
- [156] "Najprej »štalca«," *Mladina.si*. [Online]. Available: <http://www.mladina.si/148261/najprej/>. [Accessed: 10-Jul-2019].
- [157] 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].
- [158] "Service Portal of TÜV SÜD | netinform." [Online]. Available: <http://www.netinform.net/>.
- [159] 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 plovo po celinskih plovnih poteh, in o razveljavitvi Direktive 93/12/EGS*, vol. 2009/30/ES. 2009, p. 16.
- [160] "Petrol: Možnosti doseganja ciljev OVE uredbe v obdobju 2018-20," Petrol, Ljubljana, Nov. 2018.
- [161] M. Kovač, "Potencial biogoriv za uporabo v prometu," Institut Jožef Stefan, Center za energetska učinkovitost, Ljubljana, Delovno poročilo, Sep. 2019.
- [162] B. Bharathiraja, J. Jayamuthunagai, and R. Praveen Kumar, *BIOFUELS: A Promising Alternate for Next Generation Fuels*. MJP Publisher, 2019.
- [163] E4tech, "Advanced Biofuel Feedstocks – An Assessment of Sustainability," Framework for Transport-Related Technical and Engineering Advice and Research, UK, PPRO 04/45/12, 2014.
- [164] K. (ed.) et. al Maniatis, "Building Up the Future. Final Report. Sub Group on Advanced Biofuels," European Commission, Final Report, Mar. 2017.
- [165] *Uredba o obnovljivih virih energije v prometu*. 2016.
- [166] EC, *Direktiva 2009/28/ES Evropskega Parlamenta in Sveta o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 2001/77/ES in 2003/30/ES*, vol. 2009/28/ES. 2009, p. 16.
- [167] EC, *Direktiva evropskega parlamenta in sveta 2003/30/ES z dne 8. maja 2003 o pospeševanju rabe biogoriv in drugih obnovljivih goriv v sektorju prevoza*, vol. 2003/30/ES. 2003.
- [168] European Automobile Manufacturers Association, "Vehicle compatibility with new (E10/B7) fuel standards," 08-Aug-2013. [Online]. Available: <https://www.acea.be/publications/article/vehicle-compatibility-with-new-fuel-standards>. [Accessed: 23-Jan-2019].
- [169] "Technology Roadmap - Smart Grids," International Energy Agency, Paris, 2011.
- [170] "Clean Energy Solutions Center | How 2 Guide for Smart Grids in Distribution Networks," International Energy Agency, Paris, 2015.
- [171] "European Technology Platform SmartGrids - Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future," European Commission, Luxembourg, 2006.
- [172] 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.



- [173] International Energy Agency, "Energy Technology Perspectives 2014 – Harnessing Electricity's Potential," OECD/IEA, Paris, France, 2014.
- [174] "Tracking Clean Energy Progress 2016 – Energy Technology Perspectives 2016 Excerpt IEA Input to the Clean Energy Ministerial," International Energy Agency, Paris, France, 2016.
- [175] I. in ost. Papič, "Program razvoja pametnih omrežij v Sloveniji," UL FE, EIMV in SODO, Ljubljana, Maribor, 2012.
- [176] L. Munuera, "Tracking Clean Energy Progress," *Smart grids*. .
- [177] "Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010 – 2020," Republika Slovenija, Ministrstvo za infrastrukturo, Ljubljana, Slovenia, 2010.
- [178] "Akcijski načrt za energetske učinkovitost za obdobje 2014-2020 (AN URE 2020)," Republika Slovenija, Ministrstvo za infrastrukturo, Ljubljana, Slovenia, 2015.
- [179] "Projekt NEDO | Eles d.o.o." [Online]. Available: <https://www.eles.si/projekt-nedo>. [Accessed: 24-Sep-2018].
- [180] "Projekt Aktivni odjemalec | Eles d.o.o." .
- [181] A. Rusin and A. Wojaczek, "Trends of changes in the power generation system structure and their impact on the system reliability," *Energy*, vol. 92, pp. 128–134, Dec. 2015.
- [182] R. Egging, F. Holz, and S. A. Gabriel, "The World Gas Model: A multi-period mixed complementarity model for the global natural gas market," *Energy*, vol. 35, no. 10, pp. 4016–4029, Oct. 2010.
- [183] G. Koepfel and G. Andersson, "Reliability modeling of multi-carrier energy systems," *Energy*, vol. 34, no. 3, pp. 235–244, 2009.
- [184] M. Geidl, G. Koepfel, P. Favre-Perrod, B. Klockl, G. Andersson, and K. Frohlich, "Energy hubs for the future," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 5, no. 1, pp. 24–30, Jan. 2007.
- [185] M. Geidl and G. Andersson, "Operational and structural optimization of multi-carrier energy systems," *European Transactions on Electrical Power*, vol. 16, no. 5, pp. 463–477, Sep. 2006.
- [186] S. Erlinghagen and J. Markard, "Smart grids and the transformation of the electricity sector: ICT firms as potential catalysts for sectoral change," *Energy Policy*, vol. 51, pp. 895–906, Dec. 2012.
- [187] S. Barley, *In search of a black swan*, vol. 1. 2011.
- [188] J. Gordijn and H. Akkermans, "Business models for distributed generation in a liberalized market environment," *Electric Power Systems Research*, vol. 77, no. 9, pp. 1178–1188, Jul. 2007.
- [189] 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.
- [190] M. Wissner, "The Smart Grid – A saucerful of secrets?," *Applied Energy*, vol. 88, no. 7, pp. 2509–2518, Jul. 2011.
- [191] B. Shen, G. Ghatikar, Z. Lei, J. Li, G. Wikler, and P. Martin, "The role of regulatory reforms, market changes, and technology development to make demand response a viable resource in meeting energy challenges," *Applied Energy*, vol. 130, pp. 814–823, Oct. 2014.
- [192] P. Siano, "Demand response and smart grids—A survey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, pp. 461–478, Feb. 2014.
- [193] G. P. J. Verbong, S. Beemsterboer, and F. Sengers, "Smart grids or smart users? Involving users in developing a low carbon electricity economy," *Energy Policy*, vol. 52, pp. 117–125, Jan. 2013.



- [194] S. Dave, M. Sooriyabandara, and M. Yearworth, "System behaviour modelling for demand response provision in a smart grid," *Energy Policy*, vol. 61, pp. 172–181, Oct. 2013.
- [195] P. Warren, "A review of demand-side management policy in the UK," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, pp. 941–951, Jan. 2014.
- [196] P. Cappers, J. MacDonald, C. Goldman, and O. Ma, "An assessment of market and policy barriers for demand response providing ancillary services in U.S. electricity markets," *Energy Policy*, vol. 62, pp. 1031–1039, Nov. 2013.
- [197] P. Stoll, N. Brandt, and L. Nordström, "Including dynamic CO2 intensity with demand response," *Energy Policy*, vol. 65, pp. 490–500, Feb. 2014.
- [198] V. Giordano and G. Fulli, "A business case for Smart Grid technologies: A systemic perspective," *Energy Policy*, vol. 40, pp. 252–259, Jan. 2012.
- [199] H. Farhangi, "The path of the smart grid," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 8, no. 1, pp. 18–28, Jan. 2010.
- [200] O. Siddiqui, "The Green Grid - Energy Savings and Carbon Emissions Reductions Enabled by a Smart Grid," Electric Power Research institute, Technical Update, 1016905, Jun. 2008.
- [201] E. Kremers, "Modelling and Simulation of Electrical Energy Systems through a Complex Systems Approach using Agent-Based Models | Request PDF," KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft, Karlsruhe, 2013.
- [202] R. Dekkers, "A Co-evolutionary Perspective on Distributed Manufacturing," in *Distributed Manufacturing: Paradigm, Concepts, Solutions and Examples*, H. Kühnle, Ed. London: Springer London, 2010, pp. 29–50.
- [203] L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, N. Galeano, and A. Molina, "Collaborative networked organizations – Concepts and practice in manufacturing enterprises," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 57, no. 1, pp. 46–60, Aug. 2009.
- [204] L. M. Camarinha-Matos and H. Afsarmanesh, "Collaborative networks: a new scientific discipline," *J Intell Manuf*, vol. 16, no. 4, pp. 439–452, Oct. 2005.
- [205] S. Karnouskos, D. Ilic, and P. G. D. Silva, "Using flexible energy infrastructures for demand response in a Smart Grid city," in *2012 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*, 2012, pp. 1–7.
- [206] R. Charni and M. Maier, "Total Cost of Ownership and Risk Analysis of Collaborative Implementation Models for Integrated Fiber-Wireless Smart Grid Communications Infrastructures," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 5, pp. 2264–2272, Sep. 2014.
- [207] "Vizija Slovenije 2050," Vlada Republike Slovenije, 2018.
- [208] "Strategija razvoja Slovenije 2030 - osnutek," Vlada Republike Slovenije, 2017.
- [209] "Slovenska Strategija Pametne Specializacije," Služba Vlade Republike Slovenije za razvoj in evropsko kohezijsko politiko, 2017.
- [210] "World Energy Outlook 2015," OECD/IEA, Paris, 2015.
- [211] "Kažipot prehoda v krožno gospodarstvo Slovenije," Vlada Republike Slovenije, 2018.
- [212] "SRIP - Krožno gospodarstvo," 2017.

