

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**DEJAVNIKI NAPOVEDOVANJA KONČNE PORABE ENERGIJE V
SLOVENIJI DO LETA 2050**

Ljubljana, september 2023

TOMAS RODE

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Tomas Rode, študent Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, avtor predloženega dela z naslovom Dejavniki napovedovanja končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050, pripravljene ga v sodelovanju s svetovalko red. prof. dr. Nevenko Hrovatin

IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravil/-a samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbel/-a, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označil/-a;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi;
11. da sem preveril verodostojnost informacij, ki izhajajo iz zapisov na podlagi uporabe orodij umetne inteligence.

V Ljubljani, dne _____

Podpis študenta(-ke): _____

KAZALO

1 UVOD	1
2 DEJAVNIKI KONČNE PORABE ENERGIJE	2
2.1 Trajnostna preobrazba v Evropski uniji	2
2.1.1 Evropski zeleni dogovor	3
2.1.2 Načrt RePowerEU	3
2.2 Vpliv trajnostne preobrazbe na porabo energije v Evropski uniji in dejavniki končne porabe energije v literaturi	4
2.2.1 Spremembe v prometu	4
2.2.2 Spremembe v porabi energije gospodinjstev	5
2.2.3 Spremembe v porabi energije v industriji	6
2.2.4 Vpliv digitalizacije na porabo energije	7
2.2.5 Drugi dejavniki porabe energije	7
2.3 Obravnava dejavnikov končne porabe energije v Sloveniji	8
3 PREDSTAVITEV OBSTOJEČIH NAPOVEDI KONČNE PORABE ENERGIJE	9
3.1 Podnebna pot 2050	10
3.2 Ten-Year Network Development Plan 2022	11
3.3 Pregled in primerjava napovedi	12
3.3.1 Razpon porabe energije	12
3.3.2 Primerjava po sektorjih	13
3.3.3 Primerjava po virih energije	15
4 OCENA VPLIVA GLAVNIH DEJAVNIKOV PORABE V SLOVENIJI	17
4.1 Promet	18
4.1.1 Potniška mobilnost	18
4.1.2 Tovorni promet	21
4.1.3 Javni potniški promet in železniški tovorni promet	24
4.1.4 Elektrifikacija in spremembe v vrstah pogonov	27
4.1.5 Avtonomna vozila	33
4.1.6 Združevanje dejavnikov v prometu	34
4.2 Ogrevanje	35
4.2.1 Ogrevalna površina stavb	36

4.2.2	Obnašanje uporabnikov ogrevalnih sistemov	37
4.2.3	Prenove stavb, prehod na sistem toplotnih črpalk in daljinsko ogrevanje.....	38
4.2.4	Ogrevanje v terciarnem sektorju	41
4.2.5	Združevanje dejavnikov v ogrevanju	42
4.3	Električne naprave in razsvetljava gospodinjstev.....	43
4.4	Industrija.....	46
4.5	Preostala končna poraba energije	48
4.6	Zunanji dejavniki.....	49
4.6.1	Gospodarska rast	50
4.6.2	Demografske spremembe	51
5	PRIMERJAVA DEJAVNIKOV KONČNE PORABE ENERGIJE DO LETA 2050.....	52
5.1	Določitev razpona končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050.....	53
5.2	Primerjava učinkov obravnavanih dejavnikov.....	55
5.2.1	Učinki dejavnikov v prometu.....	55
5.2.2	Učinek dejavnikov v ogrevanju	56
5.2.3	Učinki dejavnikov električnih naprav, industrije in preostale porabe energije	57
5.2.4	Učinek zunanjih dejavnikov	59
5.2.5	Primerjava učinkov	59
6	SKLEP	60
	LITERATURA IN VIRI	62

KAZALO TABEL

Tabela 1: Rezultati regresije evropskega tovarnega prometa od leta 2009 do 2020 na evropski BDP.....	23
Tabela 2: Primerjava specifičnih porab po vrstah prometa, prevoznega sredstva in pogona.....	32
Tabela 3: Rezultati regresijske enačbe 5	47

KAZALO SLIK

Slika 1: Projekcije končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050 v scenarijih Podnebne poti 2050 in TYNDP 2022	12
Slika 2: Končna poraba energije v Sloveniji do leta 2050 po sektorjih v TYNDP 2022 scenarijih.....	13
Slika 3: Končna poraba energije v Sloveniji do leta 2050 po sektorjih v scenarijih Podnebne poti 2050	14
Slika 4: Končna poraba energije v Sloveniji do leta 2050 po energetske virih v TYNDP 2022 scenarijih.....	15
Slika 5: Končna poraba energije v Sloveniji do leta 2050 po gorivih v scenarijih Podnebne poti 2050	16
Slika 6: Primerjava potniške mobilnosti Slovenije z drugimi evropskimi državami	18
Slika 7: Število dnevni poti in prevožene dnevne razdalje na prebivalca v državah EU v letu 2021	19
Slika 8: Napovedi potniške mobilnosti v TYNDP 2022 (levo) in Podnebni poti 2050 (desno).....	20
Slika 9: Scenariji potniške mobilnosti pri demografskih napovedih Statističnega urada Republike Slovenije	21
Slika 10: Primerjava tovornega prometa Slovenije z drugimi evropskimi državami	22
Slika 11: Scenariji tovornega prometa v Podnebni poti 2050	23
Slika 12: Scenariji tovornega prometa pri predpostavki 2 % realne rasti BDP	24
Slika 13: Primerjava javnega potniškega in železniškega tovornega prometa Slovenije z drugimi evropskimi državami	25
Slika 14: Scenariji javnega potniškega in železniškega tovornega prometa.....	26
Slika 15: Scenariji elektrifikacije in sprememb v vrstah pogonov v prometu	30
Slika 16: Primerjava energetske učinkovitosti različnih vrst prometa v kWh na potniški oz. tovorni kilometer.....	31
Slika 17: Primerjava energetske učinkovitosti različnih vrst pogonov v cestnem prometu	31
Slika 18: Primerjava učinkovitosti različnih vrst pogonov v železniškem prometu	32
Slika 19: Scenariji faktorja učinka avtonomnih vozil na končno porabo energije v prometu	34
Slika 20: Končna poraba energije v prometu po kombiniranih scenarijih prometa	35
Slika 21: Napovedana ogrevalna površina stavb v gospodinjstvih v napovedi Podnebne poti 2050	36
Slika 22: Scenariji površine stanovanj na prebivalca in celotne površine stanovanj pri demografskih napovedih Statističnega urada Republike Slovenije.....	37
Slika 23: Scenariji faktorja obnašanja v ogrevanju gospodinjstev	38
Slika 24: Scenariji faktorja energetske učinkovitosti ogrevanja	41
Slika 25: Poraba energije v ogrevanju terciarnega sektorja in BDP.....	42

Slika 26: Končna poraba energije v ogrevanju po kombiniranih scenarijih ogrevanja in virih energije	43
Slika 27: Primerjava končne porabe energije električnih naprav gospodinjstev v EU	44
Slika 28: Indeksi energetske učinkovitosti električnih naprav v Sloveniji	45
Slika 29: Scenariji končne porabe energije električnih naprav gospodinjstev ob upoštevanju demografskih napovedih Statističnega Urada Republike Slovenije	45
Slika 30: Primerjava končne porabe energije v industriji in BDP v stalnih cenah iz leta 2010.....	46
Slika 31: Scenariji faktorja energetske učinkovitosti (levo) in končne porabe energije v industriji, ob predpostavki 2 % realne gospodarske rasti (desno)	48
Slika 32: Scenariji preostale porabe energije po sektorjih in po energetskih virih	49
Slika 33: Gibanje indeksa slovenskega BDP (levo) in slovenskega BDP v stalnih cenah iz leta 2010 (desno) v treh izbranih scenarijih	51
Slika 34: Gibanje števila prebivalcev v Sloveniji do leta 2050 v treh izbranih scenarijih	52
Slika 35: Končna poraba energije v Sloveniji do leta 2050 v kombiniranih scenarijih po sektorjih (levo) in po virih energije (desno).....	54
Slika 36: Učinki dejavnikov spremembe aktivnosti (zgoraj levo), spremembe prevoznih sredstev (zgoraj desno), spremembe virov energije (spodaj levo) in porabe avtonomnih vozil (spodaj desno).....	56
Slika 37: Učinki dejavnikov obnašanja potrošnikov v ogrevanju (zgoraj levo), učinkovitosti v ogrevanju (zgoraj desno) in ogrevalne površine (spodaj).....	57
Slika 38: Učinki dejavnikov porabe električnih naprav (zgoraj levo), porabe industrije (zgoraj desno) in preostale porabe (spodaj)	58
Slika 39: Učinki dejavnikov prebivalstva (levo) in gospodarske rasti (desno)	59

SEZNAM KRATIC

angl. – angleško

BEV – (angl. battery electric vehicles); električna vozila

BU – scenarij Brez ukrepov

CNG – (angl. compressed natural gas); stisnjeni zemeljski plin

DU – scenarij Dodatni ukrepi

DUA – scenarij Dodatni ukrepi, ambiciozni

EU – (angl. European Union); Evropska unija

ENTSOE – (angl. European Network of Transmission System Operators for Electricity); Združenje evropskih sistemskih operaterjev prenosnih elektroenergetskih omrežij

ENTSOG – (angl. European Network of Transmission System Operators for Gas); Združenje evropskih sistemskih operaterjev prenosnih omrežij za plin

FCEV – (angl. fuel cell electric vehicles); vozila na vodik

HEV – (angl. hybrid electric vehicles); hibridna električna vozila

ICE – (angl. internal combustion engine vehicles); vozila na notranje izgorevanje
LNG – (angl. liquified natural gas); utekočinjen zemeljski plin
NEPN – Celoviti nacionalni energetske in podnebni načrt Republike Slovenije
OTHR – (angl. other vehicles); preostala vozila
OU – scenarij Obstoječi ukrepi
PHEV – (angl. plug-in hibrid electric vehicles); priključno hibridna električna vozila
TYNDP – (angl. Ten-Year Network Development Plan); Desetletni načrt razvoja omrežja

1 UVOD

Na področju energetike v Evropski uniji (v nadaljevanju EU) lahko v prihodnjih desetletjih pričakujemo velike spremembe, kar predstavlja povečano negotovost pri dolgoročnem napovedovanju končne porabe energije v Sloveniji in v širšem evropskem prostoru. Dolgoročno napovedovanje končne porabe energije je pomembno pri načrtovanju zmogljivosti energetskega sistema. Med institucijami, ki izdelujejo dolgoročne napovedi končne porabe energije v Sloveniji, so sistemski operater slovenskega prenosnega elektroenergetskega omrežja, ELES, in Institut Jožef Štefan. Slednji je vodilni partner pri izdelavi napovedi, na katerih temeljijo številni uradni dokumenti Republike Slovenije, med katerimi je tudi *Celoviti nacionalni energetski in podnebni načrt Republike Slovenije* (v nadaljevanju *NEPN*) (ELES, 2021; Urbančič in drugi, 2020). V magistrskem delu obravnavam dejavnike, ki lahko do leta 2050 pomembno vplivajo na končno porabo energije v Sloveniji. Pomemben poudarek je na dejavnikih, povezanih s trajnostno prenovo energetskega sistema. V magistrskem delu želim na eni strani združiti različne napovedi končne porabe energije in opredeliti prostor njenega mogočega dolgoročnega razvoja, na drugi strani pa dopolniti te napovedi z ocenami vpliva različnih dejavnikov sprememb. Te ocene so lahko v pomoč pri določanju negotovosti pri dolgoročnem napovedovanju končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050, pri pomembnosti posameznih dejavnikov za dolgoročni razvoj, pa tudi za razumevanje negotovosti, ki izhaja iz vsakega napovednega dejavnika. Magistrsko delo torej dopolnjuje obstoječe napovedi končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050 z ocenami občutljivosti napovedi na spremembe v dejavnikih napovedovanja.

Določitev razpona mogoče končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050 in ocena vpliva dejavnikov sprememb bo temeljila na izdelavi scenarijskih napovedi posameznih dejavnikov. Za vsakega od dejavnikov bo določen *Optimistični*, *Srednji* in *Pesimistični* scenarij. Pri izdelavi scenarijev se bom opiral na zgodovinske podatke, ki so na voljo v podatkovni bazi Odyssee (Agence de la transition écologique in drugi, 2022), dvoje obstoječih scenarijskih napovedi o končni porabi energije in na strokovno literaturo. Uporabljeni napovedi bosta napoved združenja evropskih sistemskih operaterjev prenosnih elektroenergetskih omrežij (ENTSOE in ENTSOG, 2021) in napoved projekta *Podnebna pot 2050* (Urbančič in drugi, 2020).

V poglavju 2 identificiram razloge za pričakovane spremembe v energetskega sektorju in opredelim glavne dejavnike napovedovanja končne porabe energije s pomočjo strokovne in znanstvene literature ter obstoječih dolgoročnih napovedi končne porabe energije v Sloveniji. V poglavju 3 podrobneje predstavim dvoje scenarijskih napovedi porabe energije v Sloveniji do leta 2050. V poglavju 4 vzpostavim metodologijo za določitev vpliva posameznih dejavnikov na končno porabo energije v Sloveniji do leta 2050. V tem delu za vsakega od dejavnikov izdelam in argumentiram scenarije možnega razvoja. V poglavju 5 s

pomočjo kombiniranih scenarijev določim razpon končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050 in opredelim pomembnost posameznega dejavnika za končno oceno porabe.

Pri interpretaciji rezultatov magistrskega dela velja poudariti, da bi drugačna teoretična opredelitev dejavnikov lahko pripeljala do drugačnih rezultatov zaradi prepletenosti med obravnavanimi pojavi. Vpliva digitalizacije ter novih proizvodnih in potrošnih modelov sta v magistrskem delu, na primer, obravnavana posredno skozi izboljšanje v energetski učinkovitosti, zato njuna učinka nista eksplicitno vidna v rezultatih. Podobno velja tudi za staranje prebivalstva, katerega učinke obravnavam skozi spremembe mobilnosti in bivalne površine. Prav tako bi bilo mogoče v prihodnje obravnavati še nekatere dodatne dejavnike napovedovanja končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050. Primer takšnega dejavnika je potencialna povečana poraba energije v informacijskem sektorju.

2 DEJAVNIKI KONČNE PORABE ENERGIJE

Za dolgoročno energetsko oskrbo je pomembno dolgoročno razumevanje energetskih potreb. Dolgoročno napovedovanje končne porabe energije torej predstavlja pomembno področje preučevanja, ki ima lahko bistven vpliv na načrtovanje bodočih proizvodnih, prenosnih in distribucijskih zmogljivosti v energetskem sistemu (Ghods in Kalantar, 2011). V zadnjih letih je področje dolgoročnega napovedovanja porabe energije še posebej aktualno, ker lahko v energetskem sistemu v naslednjih desetletjih pričakujemo velike spremembe zaradi potrebe po trajnostni preobrazbi. Pričakovane spremembe otežujejo dolgoročno napovedovanje porabe energije in povečujejo negotovost o pridobljenih rezultatih.

V tem poglavju bom najprej predstavil načrte trajnostne preobrazbe v EU in orisal njihov pričakovan vpliv na končno porabo energije. Za tem bom dejavnike končne porabe energije obravnaval splošneje in izmed dejavnikov izbral tiste, ki jih bom v magistrskem delu podrobneje analiziral.

2.1 Trajnostna preobrazba v Evropski uniji

Podnebna kriza predstavlja enega od glavnih razlogov za potrebo po trajnostni preobrazbi energetskega sektorja. Več kot 75 % izpustov toplogrednih plinov v EU je mogoče pripisati proizvodnji in porabi energije (Evropska komisija, 2022b), ta povezava pa velja tudi širše, saj je mogoče opaziti visoko korelacijo med končno porabo energije posameznih držav in njihovimi izpusti CO₂ (Salari in drugi, 2021). Zoperstavljanje globalnemu segrevanju bo torej v prihodnjih desetletjih močno povezano s spremembami v energetskem sistemu. Zaveze držav EU, ki izhajajo iz Pariškega sporazuma iz leta 2016 in cilja podnebne nevtralnosti do leta 2050, postavljajo sektorju ambiciozne cilje (Evropska komisija, 2018). Glavna vidika teh sprememb bosta premik k nizkoogljičnim in brezogljičnim proizvodnim virom na eni strani ter zmanjšanje porabe energije na drugi strani. Velik del ukrepov in

politik za uresničitev teh ciljev je vsebovanih v t. i. Evropskem zelenem dogovoru (angl. European Green Deal). V letu 2022 se je potreba po odmiku od fosilnih goriv stopnjevala z energetske krizo in vojno v Ukrajini, kar je spodbudilo Evropsko komisijo k dodatnemu ukrepanju in hitrejšemu premiku evropske proizvodnje k obnovljivim virom (Evropska komisija, 2022a). Energetska kriza je izpostavila tudi problem evropske visoke energetske odvisnosti, saj je bil delež neto uvožene energije v EU leta 2021 kar 55,5 % (Eurostat, 2023a). Tu ima pomembno vlogo načrt z imenom *RePowerEU*, katerega cilj je zagotoviti neodvisnost evropskega energetskega sistema od ruskih fosilnih goriv do leta 2027, zmanjšati energetske odvisnosti in pospešiti trajnostno preobrazbo. V naslednjem podglavju bom podrobneje predstavil Evropski zeleni dogovor in načrt *RePowerEU*.

2.1.1 Evropski zeleni dogovor

Glavni namen evropskega zelenega dogovora je zagotovitev podnebne nevtralnosti EU do leta 2050. EU želi s tem sporazumom zagotoviti gospodarsko rast, ki bi bila neodvisna od izpustov toplogrednih plinov in od povečevanja porabe materialnih virov. Dodatno želi zagotoviti tudi, da se te spremembe v EU dogajajo usklajeno med državami in znotraj njih (Evropska komisija, 2021).

Pomemben del evropskega zelenega dogovora predstavlja skupina ukrepov *Pripravljeni na 55* (angl. Fit for 55), katerega ime se nanaša na cilj 55 % zmanjšanja izpustov toplogrednih plinov do leta 2030 glede na leto 1990 (Evropski svet, 2023). Med pomembnejše ukrepe sodita razširitev sistema za trgovanje z emisijami toplogrednih plinov na promet in ogrevanje ter uvedba carine na uvoz ogljično-intenzivnih proizvodov v EU (Evropska komisija, 2023b). Reforme energetskih trgov bodo v prihodnosti spodbudile potrošnike k aktivnejši vlogi, kar lahko pripelje tudi do večje fleksibilnosti na področju porabe energije (Verstraeten, 2023). *Pripravljeni na 55* predvideva tudi ukrepe za blažitev družbenih posledic podnebnih sprememb in okoljevarstvenih ukrepov. Ti ukrepi bodo namenjeni predvsem gospodinjstvom in prometnim uporabnikom (Evropski svet, 2023).

Del evropskega zelenega dogovora so tudi ukrepi za razogljičenje v prometu. Cilji EU na tem področju vključujejo zmanjšanje emisij novih avtomobilov za 50 % do leta 2030 glede na leto 2021 in popolno razogljičenje vseh novih avtomobilov od leta 2035 dalje (Evropska komisija, 2023c). V dogovoru lahko najdemo tudi spodbujanje prenov stavb, obnovljivih virov in razogljičenja v industriji (Evropska komisija, 2023c).

2.1.2 Načrt RePowerEU

Načrt *RePowerEU* je EU pripravila kot odgovor na vojno v Ukrajini in energetske krizo v letu 2022. Njen poglobitveni namen je zmanjšanje odvisnosti evropskega energetskega sistema od ruskih fosilnih goriv.

Pomemben del *RePowerEU* so ukrepi za razpršitev evropske energetske oskrbe. Ti ukrepi vključujejo sprejetje sporazumov za uvoz zemeljskega plina iz drugih držav in skupno, meddržavno naročanje utekočinjenega zemeljskega plina (angl. liquified natural gas, v nadaljevanju LNG). Na daljši rok si želi EU zagotoviti tudi strateška partnerstva za uvoz obnovljivega vodika (Evropska komisija, 2022a).

Poleg razpršitve energetske oskrbe *RePowerEU* pospešuje prehod k obnovljivim virom energije, saj nastavlja minimalno obvezo deleža obnovljivih virov v EU na 42,5 % do leta 2030 in ambicioznejši cilj 45 % deleža, ter spodbuja varčevanje z energijo za hitrejše zmanjšanje energetske odvisnosti (Evropska komisija, 2022a).

2.2 Vpliv trajnostne preobrazbe na porabo energije v Evropski uniji in dejavniki končne porabe energije v literaturi

Trajnostna preobrazba energetskega sistema v EU ima lahko pomembne posledice za končno porabo energije. Spremembe v prometu, industriji, gradnji, ogrevanju in na drugih področjih porabe energije imajo lahko v prihodnjih desetletjih bistven vpliv. V tem poglavju bom predstavil glavne načine, na katere lahko trajnostna preobrazba in stremljenje k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov vplivata na končno porabo energije.

Čeprav se na prvi pogled zdi, da je prehod k čistim in obnovljivim virom energije predvsem sprememba v energetske ponudbi, lahko že samo sprememba energetskih virov močno zmanjša končno porabo energije. Glavni razlog za to je dejstvo, da imajo različne energetske pretvorbe različne učinkovitosti. Pretvorbe energije iz toplote, ki so osnovni princip delovanja energetskih sistemov osnovanih na fosilnih gorivih, so manj učinkovite od pretvorb energije iz dela. Energetski sistem, osnovan na obnovljivih virih, ima lahko torej že zaradi pretvorbene učinkovitosti tudi okoli 40 % manjšo končno porabo energije (Eyre, 2021). Te razlike v učinkovitostih se najbolj kažejo v prometu, kjer imajo električni avtomobili tudi do štirikrat večjo učinkovitost od avtomobilov z motorji na notranje izgorevanje (Nielsen in Jørgensen, 2023), in pri ogrevanju, kot je vidno iz učinkovitosti toplotnih črpalk (DNV, 2022; ENTSOE in ENTSOE, 2021; Eyre, 2021; Grubler in drugi, 2018).

2.2.1 Spremembe v prometu

Eno od področij, ki bo zaradi trajnostne preobrazbe najbolj spremenjeno, bo področje prometa, še najbolj pa področje cestnega prometa, ki je v letu 2021 prispevalo kar 26 % vseh izpustov CO₂ v EU (Eurostat, 2023c). Elektrifikacija avtomobilov, ki lahko nastopi kot posledica odmika od fosilnih goriv, lahko močno zmanjša končno porabo energije zaradi že omenjene višje učinkovitosti električnih avtomobilov.

Vendar pa lahko okoljevarstvene zahteve pripeljejo tudi do drugih sprememb v končni porabi energije v prometu. Trajnostna preobrazba v prometu lahko pospeši zmanjševanje potniške mobilnosti in pomik k javnemu potniškemu prometu (ENTSOE in ENTSG, 2021; Urbančič in drugi, 2020). Poleg trajnostne preobrazbe pa lahko na zmanjšanje potniške mobilnosti in povečevanje javnega potniškega prometa vplivajo tudi zgoščevanje prebivalstva v mestih (Grubler in drugi, 2018; IEA, 2022b), ki zmanjšuje potrebo po potniških kilometrih, in digitalizacija, ki lahko omogoči prisotnost na daljavo in nudi podporo različnim oblikam deljenja prevoznih sredstev (Grubler in drugi, 2018; Urbančič in drugi, 2020).

Na porabo v tovornem prometu lahko vplivajo podobni dejavniki kot na porabo v potniškem prometu. Zgoščevanje poseljenosti in digitalizacija lahko tudi v tovornem prometu zmanjšujeta končno porabo energije (Grubler in drugi, 2018). Potencial elektrifikacije je v tovornem prometu sicer manjši (ENTSOE in ENTSG, 2021), vendar pa lahko dodatne redukcije pričakujemo iz naslova ukrepov, ki zmanjšujejo porabo materialnih virov v gospodarstvu in podaljšujejo življenjsko dobo izdelkov (Brugger in drugi, 2021; Grubler in drugi, 2018).

Vpliv novih tehnologij na končno porabo energije v prometu je lahko zelo negotov. V primeru, da bi v prihodnjih desetletjih opazili visok porast deleža avtonomnih vozil, lahko opazimo tudi velike spremembe na področju končne porabe energije. Avtonomna vozila imajo lahko tako pozitivne (IEA, 2017a; Stephens in drugi, 2016) kot negativne učinke (Stephens in drugi, 2016) na končno porabo energije. Dodatno je težko ocenjevati tudi njihovo dolgoročno razširjenost (Talebian in Mishra, 2018).

2.2.2 Spremembe v porabi energije gospodinjestev

Podobno kot pri prometu je mogoče tudi v porabi gospodinjestev pričakovati, da prehod k obnovljivim virom energije zmanjša končno porabo energije zaradi večje učinkovitosti v pretvorbah. To velja predvsem na področju ogrevanja, kjer lahko pomembno vlogo igra povečanje števila toplotnih črpalk, pa tudi prehod na sisteme daljinskega ogrevanja v urbanih centrih, kjer je to mogoče (ENTSOE in ENTSG, 2021; Eyre, 2021; IEA, 2022a). Te spremembe lahko povečajo učinkovitost ogrevalnih sistemov in zmanjševanje končne porabe energije (ENTSOE in ENTSG, 2021; Eyre, 2021; Grubler in drugi, 2018).

Poleg povečane učinkovitosti zaradi odmika od fosilnih goriv lahko na področju ogrevanja gospodinjestev pričakujemo povečanje učinkovitosti tudi zaradi prenov stavb in termalno učinkovitejše gradnje (Johansson in drugi, 2012; Urbančič in drugi, 2020).

Del energetske porabe gospodinjestev predstavljajo električne naprave. Tudi tu je mogoče pričakovati povečevanje učinkovitosti, najprej iz naslova tehnološkega napredka v uporabljenih napravah (Johansson in drugi, 2012; Urbančič in drugi, 2020), za tem pa tudi iz spremenjenih vzorcev rabe. Primer spremenjenega vzorca rabe je t. i. konvergenca naprav

(Grubler in drugi, 2018), kjer lahko manjše število naprav opravlja delo, za katerega jih je bilo v preteklosti potrebnih več. Raba pametnega telefona je, na primer, v zadnjih letih popolno ali delno nadomestila rabo radija, telefona, fotoaparata, predvajalnika glasbe, navigacijskega sistema, televizije ipd. Konvergenca naprav lahko torej povečuje učinkovitost porabe energije zaradi spremenjenih vzorcev obnašanja v rabi električnih naprav.

Potencial za zmanjšanje porabe električnih naprav imajo tudi spremembe ekonomskih modelov v primeru prehoda iz modela lastništva v modele rabe (angl. usership vs. ownership models). Modeli rabe potrošnikom omogočajo osredotočenost na kvaliteto in dolgoročno stroškovno učinkovitost (energetska učinkovitost in življenjska doba) (Frenken in Schor, 2019). Modeli lastništva pogosto pomenijo, da se potrošniki izogibajo visokim prvotnim stroškom in izbirajo cenejše alternative pred kvalitetnejšimi in učinkovitejšimi (Grubler in drugi, 2018).

Pomemben dejavnik končne porabe energije je lahko tudi obnašanje potrošnikov. Podobno kot lahko trajnostna preobrazba v prometu pripelje do zmanjšanja potniške mobilnosti, lahko ozaveščeni potrošniki zmanjšujejo tudi končno porabo energije v gospodinjstvih (CAN Europe, 2020; González-Torres in drugi, 2022; Schweiker in Shukuya, 2010). To velja tako na področju ogrevanja kot na področju porabe električnih naprav.

Ozaveščeni potrošniki lahko tudi zmanjšujejo t. i. povratne učinke (angl. rebound effects) zaradi izboljšanja v energetske učinkovitosti ogrevanja in električnih naprav. Do povratnih učinkov prihaja, kadar uporabniki energetske učinkovitejših naprav povečujejo svojo porabo, ker so energetske storitve pri višji energetske učinkovitosti cenejše. Poleg ozaveščenih potrošnikov lahko povratne učinke omejujejo tudi zasičenost v povpraševanju po porabi in obdavčevanje porabe, ki ohranja konstantno ceno energetskih storitev (Grubler in drugi, 2018).

Dodatno lahko potrošnike k zmanjšanju končne porabe energije spodbudi tudi aktivnejša vloga porabnikov na energetskih trgih z različnimi programi prilagajanja odjema. Aktivnejša vloga potrošnikov na energetskih trgih lahko spodbudi njihovo racionalnejšo porabo energije, predvsem pa lahko omogoči fleksibilnost na področju porabe energije, kar lahko blaži visoke energetske primanjkljaje in poenostavi prehod k obnovljivim virom energije (Verstraeten, 2023).

2.2.3 Spremembe v porabi energije v industriji

Tudi v energetske porabi industrije je eden glavnih dejavnikov sprememb povečanje učinkovitosti obstoječih procesov. Specifični sektorski ukrepi, ki lahko do tega pripeljejo, so si med seboj različni, vendar delujejo predvsem preko izboljšav v termičnih procesih proizvodnje jekla, papirja, kemikalij in kemičnih izdelkov (Urbančič in drugi, 2020).

Podobno kot v prometu in pri gospodinjstvih lahko zaradi spremenjenih vzorcev rabe izdelkov tudi v industriji pričakujemo spremembe. Podaljševanje kvalitete in življenjskih dob proizvodov, zmanjšanje materialne intenzivnosti ter pomik k modelom rabe, o katerih je bilo govora v podpoglavju 2.2.2, lahko vplivajo tudi na zmanjšanje energetske intenzivnosti v industriji (Grubler in drugi, 2018).

V literaturi je moč zaslediti tudi predvidevanje, da ima proces vračanja energetske intenzivnih industrijskih procesov na globalni sever (angl. reshoring) tudi potencialen vpliv na energetsko porabo v industriji (Brugger in drugi, 2021), saj bi to lahko pomenilo povečevanje energetske intenzivnosti evropskega gospodarstva. Pojav vračanja proizvodnje je v Sloveniji sicer manj pogost kot v drugih evropskih državah in je zato njegov učinek na porabo energije v industriji manj pomemben (Dachs in drugi, 2019).

2.2.4 Vpliv digitalizacije na porabo energije

Vpliv digitalizacije na porabo energije je zelo prepleten z dejavniki, o katerih sem govoril že v prejšnjih poglavjih. Digitalizacija lahko namreč povečuje učinkovitost v industriji, prometu in ogrevanju (IEA, 2017a), dodatno pa podpira številne procese, ki zmanjšujejo porabo energije, kot so konvergenca naprav, podpora modelom rabe in napredek na področju avtonomnih vozil (Brugger in drugi, 2021; Grubler in drugi, 2018).

Vendar pa lahko povečana digitalizacija poveča porabo električne energije v sektorju informacijskih tehnologij. Povečana poraba informacijskega sektorja v nekaterih primerih celo izniči izkoristke, ki so bili zaradi digitalizacije pridobljeni na drugih področjih (Lange in drugi, 2020). Primer velikih porabnikov energije v informacijskem sektorju so veliki podatkovni centri, dodatno pa digitalizacija povečuje porabo energije zaradi povečanja števila naprav. Dodaten primer povečane porabe energije zaradi novih digitalnih tehnologij v zadnjem desetletju je visoka energetska poraba zaradi blockchain tehnologij (Mills, 2023). Potencialna razširjenost procesorsko intenzivnih tehnologij lahko tudi v prihodnosti povzroči povečanje končne porabe energije.

2.2.5 Drugi dejavniki porabe energije

Na porabo energije lahko vplivajo tudi dejavniki, ki jih v magistrskem delu obravnavam kot zunanje. Med zunanja dejavnika štejem gospodarsko rast in demografske spremembe.

Določitev vpliva gospodarske rasti na končno porabo energije je lahko zapletena, saj se lahko povezave in vzročnosti razlikujejo med državami, povezave pa so pogosto nelinearne (Chiou-Wei in drugi, 2008). Povezavo med gospodarsko rastjo in končno porabo energije se pogosto opisuje s pomočjo t. i. energetske Kuznetsove krivulje. Kuznetsova krivulja predvideva, da je povezava med porabo energije in gospodarsko rastjo pozitivna do določene stopnje gospodarske razvitosti. Po tej teoriji naj bi razvitejše ekonomije zmanjševale svojo

energetsko intenzivnost, kar bi povezavo med gospodarsko rastjo in končno porabo energije obrnilo (Dai in drugi, 2022).

Ideja energetske (in sorodne okoljske) Kuznetsove krivulje ima tudi veliko kritikov. Ti trdijo, da lahko (pri preveč poenostavljeni obravnavi tematike) gospodarski rasti pripišemo vse učinke sprememb, ki se dogajajo v gospodarsko razvitih državah, tudi če gospodarska rast ni njihov primarni vzrok (Stern, 2017). Alternativno lahko torej velja, da je povezava med gospodarsko rastjo in porabo energije monotona in pozitivna, pri čemer imajo negativni učinek na porabo energije predvsem specifični ukrepi povečevanja učinkovitosti in inovacije, pa tudi demografske spremembe gospodarsko razvitih držav (Stern, 2017; York, 2007).

V magistrskem delu bom povezavo med gospodarsko rastjo in porabo energije obravnaval na posameznih segmentih končne porabe energije, kjer je povezava v Sloveniji največja. To velja predvsem za končno porabo energije v industriji in v tovornem prometu (Urbančič in drugi, 2020).

Poleg gospodarske rasti lahko na končno porabo energije močno vplivajo tudi demografske spremembe. Najbolj očitna povezava med demografijo in končno porabo energije je pozitivna povezava med končno porabo energije in številom prebivalcev določene države (York, 2007). Razumljivo je, da manj prebivalcev potroši manj energije.

Vendar pa imajo lahko demografske spremembe tudi druge učinke na končno porabo energije. Staranje prebivalstva lahko povzroči povečanje končne porabe energije, saj so starejše populacije povezane z višjo končno porabo energije (York, 2007). Dodatno to povezavo utrujejo opažanja, da ta ne velja samo na ravni agregata, ampak tudi na nižjih ravneh analize. Večja energetska poraba starejšega prebivalstva lahko velja tudi znotraj posameznih držav (Estiri in Zagheni, 2019). Glavni razlog za višjo energetsko porabo je večja bivalna površina, ki prevlada nad učinki manjše mobilnosti.

2.3 Obravnava dejavnikov končne porabe energije v Sloveniji

V magistrskem delu bom analiziral vpliv nekaterih omenjenih dejavnikov na končno porabo energije v Sloveniji do leta 2050. Ker so različni dejavniki med seboj prepleteni, bom posamezne dejavnike izoliral, nekatere pa obravnaval združeno. Pri izbiri obravnavanih dejavnikov dajem prednost tistim dejavnikom, ki jih je mogoče enostavno vezati na energetsko porabo pred tistimi, kjer je to povezavo težje vzpostaviti.

Med izpostavljenimi dejavniki v prometu bom posebej obravnaval področje potniške mobilnosti, kjer bom ocenjeval spremembe v povpraševanju po potniškem prometu, in področje tovornega prometa. Pri potniškem prometu bom dodatno ocenjeval spremembe v porabah javnega prevoza (vlakov in avtobusov), pri tovornem prometu pa delež železniškega prometa. Elektrifikacijo in spremembe v gorivih ter njihove učinke na pretvorbene

učinkovitosti bom upošteval pri obeh vrstah prometa, dodatno pa bom ocenjeval še potencialni vpliv avtonomnih vozil.

V porabi gospodinjstev se bom osredotočil predvsem na porabo v ogrevanju in na porabo električnih naprav. Več pozornosti bom posvetil ogrevanju, ki predstavlja največji delež porabe energije gospodinjstev (ENTSOE in ENTSOE, 2021). Pri ogrevanju bom ocenjeval dolgoročno ogrevalno površino stavb, obnašanje potrošnikov v povezavi s temperaturnim udobjem ter povečanje učinkovitosti zaradi prehoda na učinkovitejše vire energije in energetske učinkovite prenov bivališč. Povečanje učinkovitosti bom upošteval tudi pri ogrevanju terciarnega sektorja. Pri električnih napravah bom njihovo razširjenost in učinkovitost obravnaval splošneje, brez ločitve na posamezne poddejavnike.

Tudi končno porabo industrije bom obravnaval poenoteno zaradi zapletenosti modeliranja tega sektorja. Pri obravnavi se bom opiral predvsem na že obstoječe ocene izboljšanja v energetske učinkovitosti industrijskih procesov in na zgodovinske podatke povezav med končno porabo energije v industriji in gospodarsko rastjo.

Zaradi povezanosti s preostalimi dejavniki digitalizacije v magistrskem delu ne bom obravnaval kot samostojnega dejavnika, ampak bom njen vpliv upošteval skozi izboljšanje energetske učinkovitosti in energetske intenzivnosti prometa, industrije in gospodinjstev. Energetske porabe ICT sektorja v magistrskem delu ne bom obravnaval kot eksplicitnega dejavnika zaradi zapletenosti modeliranja in pomanjkanja ustrezne razdrobitve v zgodovinskih podatkih energetske porabe v Sloveniji.

Porabo v dejavnostih, ki niso neposredno povezane z izbranimi dejavniki, bom v magistrskem delu obravnaval kot »preostalo porabo energije«, kjer se bom opiral predvsem na že obstoječe dolgoročne napovedi končne porabe energije v Sloveniji.

Dodatno bom v magistrskem delu upošteval zunanja dejavnika gospodarske rasti in demografskih sprememb. Pri gospodarski rasti se bom osredotočil predvsem na povezavo med gospodarsko rastjo in končno porabo v industriji, tovornem prometu in modelirano porabo v terciarnem sektorju. Pri demografskih spremembah bom upošteval povezavo med končno porabo energije in številom prebivalcev. Da bi se izognil morebitnemu podvajanju učinkov, učinka staranja prebivalstva v magistrskem delu ne bom eksplicitno upošteval, ampak ga bom modeliral skozi spremembe v drugih dejavnikih, kot so spremembe v potniški mobilnosti in bivalni površini.

3 PREDSTAVITEV OBSTOJEČIH NAPOVEDI KONČNE PORABE ENERGIJE

Omenil sem že, da je področje dolgoročnega napovedovanja porabe energije aktualno zaradi potrebe po trajnostni preobrazbi in pomembnosti dolgoročnega načrtovanja energetske oskrbe. Ne preseneča torej, da je bilo nekaj dolgoročnih napovedi porabe energije v Sloveniji

že izdelanih. V tem poglavju magistrskega dela bom predstavil dvoje najbolj relevantnih scenarijskih napovedi končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050. Velik del magistrskega dela bo oprt na teh napovedih, saj z magistrskim delom ne želim le podvajati že pridobljenih rezultatov, pač pa jih nadgraditi, kjer je to mogoče. Prva izmed dolgoročnih napovedi nosi naslov *Podnebna pot 2050* (Urbančič in drugi, 2020), druga je bila narejena v okviru dolgoročnega načrtovanja razvoja evropskega prenosnega omrežja in je naslovljena s kratico *TYNDP 2022* (angl. Ten-Year Network Development Plan) (ENTSOE in ENTSOG, 2021).

3.1 Podnebna pot 2050

Projekt *Podnebna pot 2050* je bil namenjen podpori uresničitve slovenskih zavez v okviru pariškega podnebnega sporazuma. V okviru projekta so bili zasnovani podnebni ukrepi, ki bodo na dolgi rok pripomogli k zmanjševanju emisij toplogrednih plinov. Projekt se je osredotočal predvsem na toplogredne pline v prometu, industriji, kmetijstvu, gozdarstvu in na področjih stavb in odpadkov (Institut Jožef Štefan, 2021a). Za namen izdelave ukrepov so bile narejene projekcije končne porabe energije in emisij toplogrednih plinov v Sloveniji do leta 2050. Napovedi *Podnebne poti 2050* so bile uporabljene kot strokovna podlaga za več uradnih dokumentov, kot so *Resolucija o Dolgoročni podnebni strategiji Slovenije do leta 2050*, *NEPN* iz leta 2020 in *Dolgoročna strategija energetske prenove stavb do leta 2050*. Vodilni partner projekta je Center za energetska učinkovitost na Institutu Jožef Štefan (Institut Jožef Štefan, 2021b).

Projekcije projekta *Podnebna pot 2050* so bile izdelane na podlagi baznega leta 2017. Na podlagi tedanjega stanja in možnih ukrepov ocenjujejo izvedljive razvojne poti emisij toplogrednih plinov in porabe energije do leta 2050. Izdelane projekcije združujejo učinke različnih dejavnikov v šest scenarijev (Institut Jožef Štefan, 2021c).

Scenarij *Brez ukrepov* (v nadaljevanju *BU*) predpostavlja, da se ukrepi za zmanjševanje emisij toplogrednih plinov ne bi izvajali. Pri tem scenariju je potrebno poudariti, da predpostavlja tudi neizvajanje številnih ukrepov, ki so bili v trenutku izdelovanja napovedi že izvedeni. Scenarij torej ne deluje kot realistična napoved, ampak kot osnova za primerjavo rezultatov drugih scenarijev (Urbančič in drugi, 2020). Scenarij z *Obstoječimi ukrepi* (v nadaljevanju *OU*) predpostavlja izvajanje sprejetih ukrepov.

Napoved vključuje dva scenarija z *Dodatnimi ukrepi* (v nadaljevanju *DU*). Dodatni ukrepi vključujejo spodbujanje prenove stavb in nakupa vozil na alternativni pogon. Razlika med scenarijema z novo enoto jedrske elektrarne (*DU JE*) in s sintetičnim naravnim plinom (*DU SNP*) je na področju proizvodnje in ne na področju porabe energije, zato sta scenarija za namene magistrskega dela enaka.

V scenarijih z *Dodatnimi ambicioznimi ukrepi* (v nadaljevanju *DUA*) je stopnjevana intenzivnost izvajanja ukrepov iz prejšnjih scenarijev, tem pa je dodanih še nekaj ukrepov,

s katerimi lahko Slovenija do leta 2050 doseže cilj podnebne nevtralnosti. Podobno kot pri scenarijih *DU* imamo tu scenarija *DUA JE* in *DUA SNP*, ki sta za potrebe pričujočega magistrskega dela enaka.

Predpostavke in rezultati scenarijske napovedi so za *Podnebno pot 2050* razdeljeni po sektorjih prometa, industrije, široke porabe energije in kmetijstva.

3.2 Ten-Year Network Development Plan 2022

Napovedi *TYNDP 2022* so nastale v sodelovanju med združenjem evropskih sistemskih operaterjev prenosnih elektroenergetskih omrežij (angl. European Network of Transmission System Operators for Electricity, ENTSOE) in združenjem evropskih sistemskih operaterjev prenosnih omrežij za plin (angl. European Network of Transmission System Operators for Gas, ENTSOG) (ENTSOE in ENTSOG, 2023). Če so bile napovedi v okviru projekta *Podnebna pot 2050* namenjene predvsem analizi in oblikovanju ustreznih podnebnih ukrepov, pa je namen napovedi *TYNDP 2022* drug. Predstavljajo namreč mogoče razvoje energetskega sistema pri predpostavki uresničevanja podnebnih ciljev EU. Oba scenarija, ki ju najdemo v *TYNDP 2022*, torej omogočata 55 % zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v EU do leta 2030 in podnebno nevtralnost do leta 2050.

Napovedi *TYNDP 2022* vključujejo dva scenarija, *Porazdeljena energija* (angl. Distributed Energy) in *Globalni napor* (angl. Global Ambition), vendar imata oba scenarija nekaj stičnih točk. Oba predvidevata visoke stopnje izboljšanja v energetske učinkovitosti na področjih prometa, ogrevanja, industrije ipd. Dodatno predpostavljata sodelovanje potrošnikov pri racionalni porabi energije, visoke stopnje elektrifikacije v ogrevanju in prometu za doseganje podnebnih ciljev ter prehod na obnovljive vire energije. Oba scenarija predvidevata tudi široko rabo vodika in sintetičnih goriv v energetskega sistemu (ENTSOE in ENTSOG, 2023).

Ključna predpostavka scenarija *Porazdeljena energija* je prilagoditev energetske porabe in premik k obnovljivim virom na lokalni ravni. Predpostavlja visoko stopnjo angažiranosti prebivalstva in lokalnih skupnosti ter visoko izboljšanje v energetske učinkovitosti porabe energije. Na področju prometa ta scenarij določa visoke stopnje elektrifikacije, na področju ogrevanja pa prehod na sistem, ki temelji na toplotnih črpalkah in daljinskem ogrevanju. Uporabljene proizvodne tehnologije v predvidenem energetskega sistemu tega scenarija so bolj decentralizirane in temeljijo predvsem na fotovoltaiki, baterijah in pametnem polnjenju (ENTSOE in ENTSOG, 2021).

Scenarij *Globalni napor* predpostavlja spremembe na evropski in mednarodni ravni. Uporabljene tehnologije tega scenarija so bolj centralizirane in vključujejo velike vetrne elektrarne na morju, jedrsko energijo in centralizirane oblike shranjevanja energije. Scenarij *Globalni napor* predvideva manjšo prilagoditev porabe energije in daje prednost razogljičenju energetske proizvodnje. Na področjih prometa in ogrevanja predpostavlja

manjše stopnje elektrifikacije in večjo raznolikost v uporabljenih tehnologijah (vodik, biogoriva, hibridni pristopi itd.) (ENTSOE in ENTSOG, 2021).

Oba scenarija za osnovo napovedi jemljeta podatke iz leta 2019, dopolnjene s podatki iz leta 2015, kjer novejši podatki niso na voljo.

3.3 Pregled in primerjava napovedi

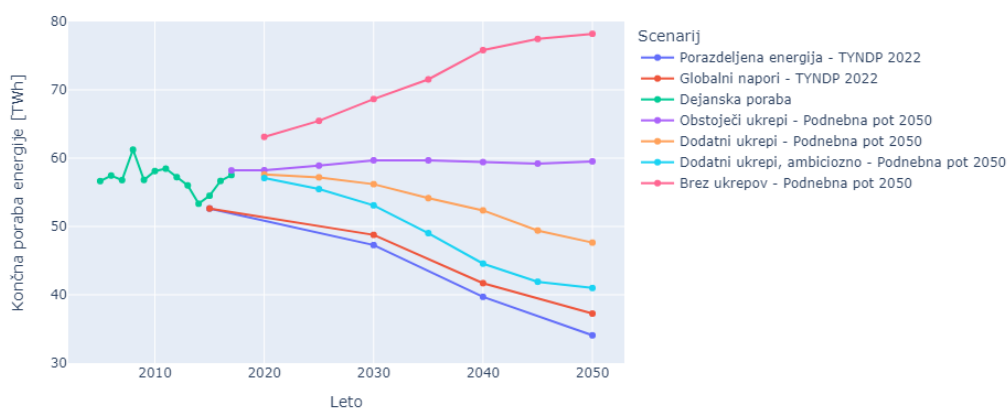
V tem poglavju bom na kratko predstavil glavne rezultate napovedi *Podnebna pot 2050* in *TYNDP 2022* ter ju primerjal. Cilj tega poglavja je boljše razumevanje napovedi, na katerih bom v magistrskem delu osnoval velik del svojih analiz. Najprej bom posamezne scenarije primerjal glede na napovedano končno porabo energije, za tem pa bom primerjal rezultate tudi po sektorjih in po virih energije.

3.3.1 Razpon porabe energije

Na sliki 1 so prikazane projekcije končne porabe energije v Sloveniji v vseh scenarijih *Podnebne poti* in *TYNDP 2022*. Pričakovano najbolj izstopa scenarij *BU*, ki temelji na predpostavki neizpolnjevanja ciljev trajnostne preobrazbe. V tem scenariju ima leta 2050 Slovenija letno končno porabo energije 78,2 TWh. V scenariju *OU* je te vrednost 59,5 TWh, v scenariju *DU* 47,6 TWh, v *DUA* pa 41,0 TWh.

Scenarija napovedi *TYNDP 2022* imata manjše vrednosti kot scenariji *Podnebne poti 2050*, kar gre pripisati drugačnim izhodiščem napovedovanja. Scenarij *Porazdeljena energija*, ki predpostavlja največje zmanjšanje končne porabe energije v letu 2050, implicira končno porabo 34,1 TWh, scenarij *Globalni napori* pa 37,2 TWh.

Slika 1: Projekcije končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050 v scenarijih *Podnebne poti 2050* in *TYNDP 2022*



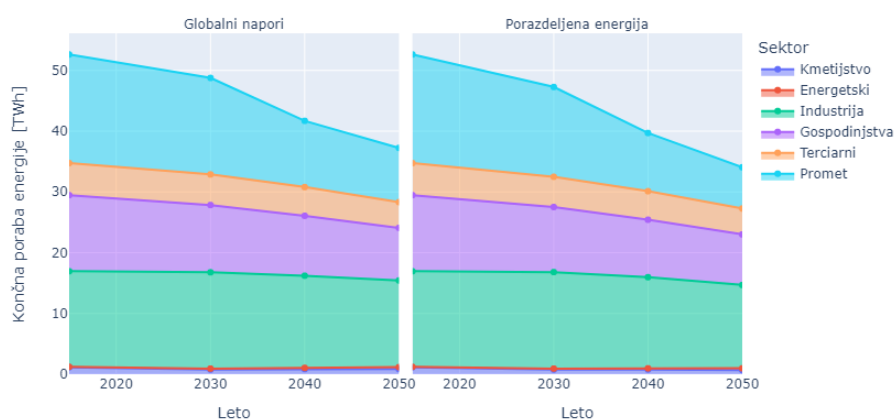
Vir: lastno delo na podlagi ENTSOE in ENTSOG (2021) in Urbančič in drugi (2020).

Čeprav se zaradi skupnega prikaza večjega števila scenarijev zdi smiselno, se moramo v interpretaciji napovedi izogniti zaključku, da prikazani rezultati opredeljujejo razpon mogoče porabe letne energije leta 2050 med 34,1 TWh in 78,2 TWh. Ta interpretacija bi bila napačna, ker scenariji niso bili narejeni z namenom opredelitve razpona slovenske končne porabe energije. Razpon scenarijev *Podnebne Poti 2050* določa učinek različnih sklopov okoljevarstvenih ukrepov (pri čemer je eden od teh sklopov – v scenariju *BU* – nerealističen), scenarija *TYNDP 2022* pa izpostavljata dve možni poti za doseganje podnebnih ciljev EU. Dodatno je rezultate dveh napovedi težko primerjati neposredno, saj deloma temeljita na drugačnih predpostavkah. Določitev razpona verjetne končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050 je eden od ciljev magistrskega dela.

3.3.2 Primerjava po sektorjih

Primerjava napovedi po sektorjih je lahko v pomoč pri razumevanju razlogov za odstopanja med različnimi scenariji. Na sliki 2 so prikazane vrednosti porabe energije v *TYNDP 2022* scenarijih po sektorjih. V letu 2050 do največje razlike pride na področju prometa, kjer je v scenariju *Globalni napor* poraba 8,9 TWh, v scenariju *Porazdeljena energija* pa 6,7 TWh. Sektor prometa torej prispeva več kot 70 % celotne razlike med scenarijema. Glavni razlog za razlike med scenarijema je v tem, da scenarij *Porazdeljena energija* predpostavlja širšo rabo električnih vozil, ki so energetske učinkovitejša od vozil na notranje izgorevanje. Dodatno scenarij *Porazdeljena energija* odlikuje manjša potniška mobilnost. Preostala razlika izhaja predvsem iz manjših sprememb v industriji in v sektorju gospodinjstev.

Slika 2: Končna poraba energije v Sloveniji do leta 2050 po sektorjih v *TYNDP 2022* scenarijih

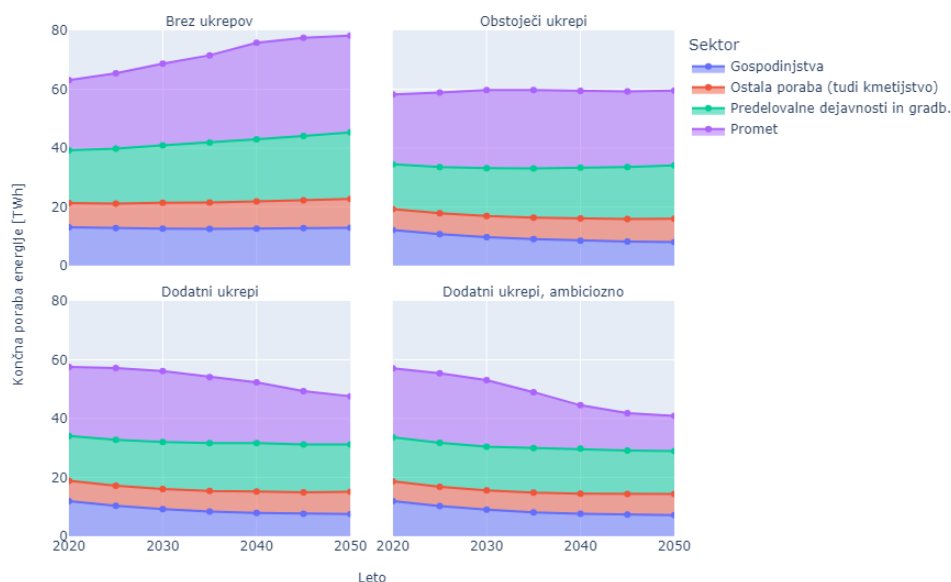


Vir: lastno delo na podlagi *ENTSOE* in *ENTSOG* (2021).

Podobno lahko storimo tudi za scenarije *Podnebne poti 2050*. Na sliki 3 je prikazano, da igra tudi pri teh scenarijih bistveno vlogo poraba energije v prometu. V scenariju *BU* je poraba v prometu 32,9 TWh, v scenariju *DUA* pa 12,0 TWh. Ta razlika pojasni 56 % razlike med scenarijema. Razlike med scenarijema lahko pripišemo večji elektrifikaciji, manjši potniški

in tovorni mobilnosti, večjim izboljšavam energetske učinkovitosti in večji rabi javnega prometa v scenariju *DUA* v primerjavi s scenarijem *BU*. Scenariji *Podnebne poti 2050* se med seboj bistveno razlikujejo tudi po porabi v predelovalnih dejavnostih in gradbeništvu. V scenariju *BU* je poraba v tem sektorju 22,7 TWh, v scenariju z *DUA* pa 14,6 TWh, kar pojasni dodatnih 22 % razlike med scenarijema. Scenarij *DUA* predpostavlja predvsem večje izboljšanje v energetske učinkovitosti sektorja v primerjavi s scenarijem *BU*. Preostale razlike med scenariji lahko v večjem deležu pripišemo razlikam v porabi gospodinjstev, saj je tu razlika med scenarijem *BU* in scenarijem *DUA* 5,6 TWh. Tudi tu je glavni razlog za razliko izboljšanje v energetske učinkovitosti, predvideno v scenariju *DUA*, dodatno pa vpliva na razliko med scenarijema tudi obnašanje potrošnikov.

Slika 3: Končna poraba energije v Sloveniji do leta 2050 po sektorjih v scenarijih Podnebne poti 2050



Vir: lastno delo na podlagi Urbančič in drugi (2020).

Iz prikazane analize po sektorjih sledi, da obravnavane napovedi predvidevajo največje spremembe zaradi trajnostne preobrazbe na področju prometa, pomembne pa bodo tudi spremembe v gospodinjstvih in v industriji.

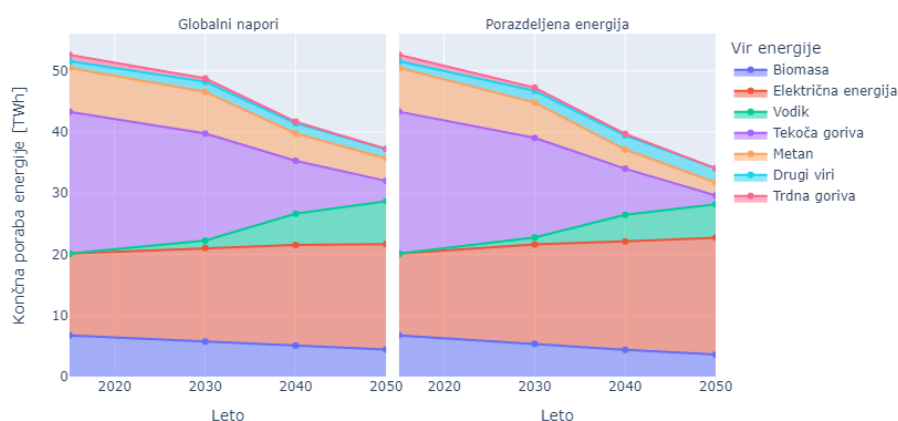
3.3.3 Primerjava po virih energije

Podobno kot primerjava po sektorjih je koristna tudi primerjava po porabljenih energetskih virih. Zaradi želje po trajnostni preobrazbi je mogoče pričakovati pomik k čistim energetskim virom v obeh scenarijih *TYNDP 2022* in v vseh scenarijih *Podnebne Poti 2050*, ki vsebujejo nekatere od dodatnih ukrepov.

Na sliki 4 je prikazan pričakovan razvoj porabe različnih energetskih virov v scenarijih *TYNDP 2022*. Najbolj izstopajoča sprememba med trenutnim stanjem energetskega sistema

in predvidenim stanjem leta 2050 je močan upad porabe tekočih goriv s 23,2 TWh na 3,3 TWh v scenariju *Globalni napor* in na 1,4 TWh v scenariju *Porazdeljena energija*. Zmanjšanje v porabi tekočih goriv nadomešča povečanje porabe električne energije, ki se s 13,3 TWh poveča na 19,1 TWh v scenariju *Porazdeljena energija* in na 17,2 TWh v scenariju *Globalni napor*. Velik porast je v obeh scenarijih mogoče opaziti tudi v porabi vodika, ki v trenutnem energetskega sistemu nima vloge, v scenariju *Porazdeljena energija* pa prispeva 5,5 TWh, v scenariju *Globalni napor* pa 7,0 TWh.

Slika 4: Končna poraba energije v Sloveniji do leta 2050 po energetskih virih v TYNDP 2022 scenarijih



Vir: lastno delo na podlagi ENTSOE in ENTSOG (2021).

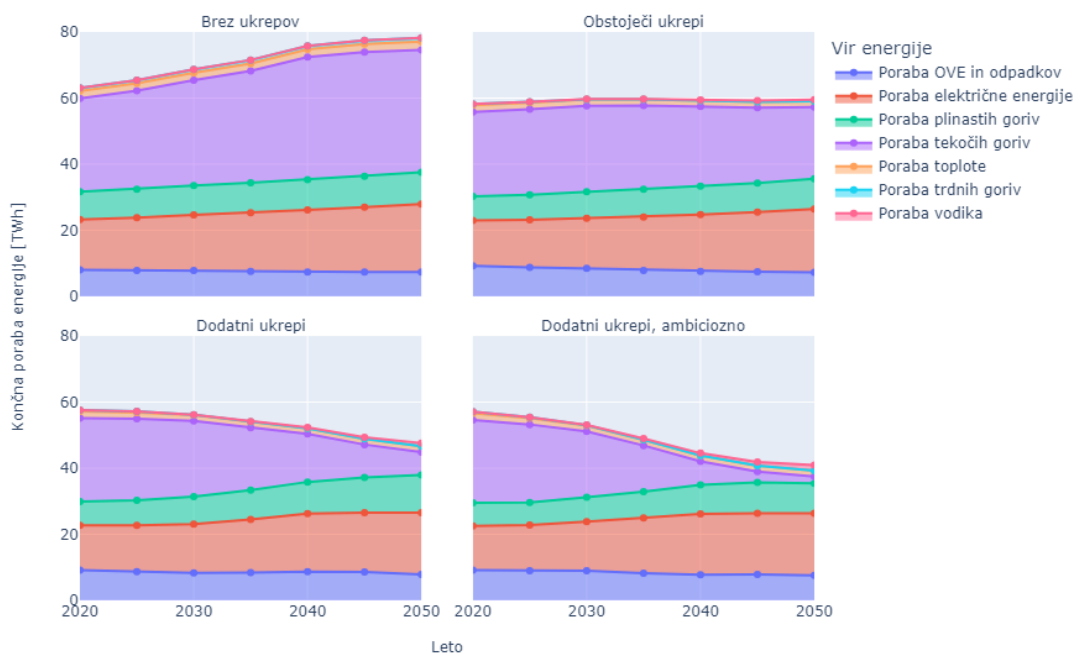
V obeh TYNDP 2022 scenarijih je torej vidno nadomeščanje porabe tekočih goriv, metana in biomase s porabo električne energije in vodika. Scenarija se med seboj nekoliko razlikujeta v predvidenem razmerju teh energetskih virov, kjer daje scenarij *Globalni napor* nekaj več poudarka na porabo vodika in sintetičnih tekočih goriv. V scenariju *Porazdeljena energija* je leta 2050 kar 56 % porabljene energije električne, delež vodika je 16 %, delež tekočih goriv pa se zmanjšal na 4 %. V scenariju *Globalni napor* je delež električne energije manjši, 46 %, večja pa sta deleža vodika in tekočih goriv, ki znašata 19 % in 9 %. To je skladno s predpostavkami za scenarije, ki so bile predstavljene v poglavju 3.2.

Delitev po virih energije je za scenarije *Podnebne poti 2050* prikazana na sliki 5. V scenariju *BU* je do leta 2050 predvideno sorazmerno povečevanje različnih virov energije brez razogljičenja energetskega sistema. Scenarij *OU* predvideva približno ohranitev sedanjega stanja v energetskega sistemu do leta 2050 z malenkostnim zmanjšanjem porabe tekočih goriv (s 25,6 TWh na 21,6 TWh) ter povečanjem električne energije in plinastih goriv (s 13,7 TWh in 7,3 TWh na 19,2 TWh in 9,1 TWh).

Scenarija *DU* in *DUA* predvidevata, podobno kot scenarija TYNDP 2022, nadomeščanje rabe tekočih goriv s porabo električne energije ter rabo vodika in sintetičnih plinastih goriv. V scenariju *DUA* je to nadomeščanje popolnejše. Poraba tekočih goriv se v teh dveh scenarijih zmanjša s 25,1 TWh na 6,9 TWh in 2,1 TWh. Absolutni porabi električne energije (18,7

TWh in 18,9 TWh) se v letu 2050 med tema dvema scenarijema ne razlikujeta bistveno. Deleža električne energije v končni porabi sta v teh dveh scenarijih 39 % in 46 %. Scenarij *DU* predvideva torej nižje stopnje elektrifikacije od scenarijev *TYNDP 2022*, scenarij *DUA* pa je v tem vidiku primerljiv scenariju *Globalni naponi*. Do dodatnega zmanjševanja porabe plinastih goriv v scenariju z ambicioznejšimi ukrepi pride predvsem na račun povečane porabe plinastih goriv (9,1 TWh proti 11,4 TWh) in zaradi skupnega zmanjšanja porabe končne porabe energije (47,6 TWh proti 41,0 TWh).

Slika 5: Končna poraba energije v Sloveniji do leta 2050 po gorivih v scenarijih Podnebne poti 2050



Vir: lastno delo na podlagi Urbančič in drugi (2020).

V primerjavi s scenarijema *TYNDP 2022* so v scenarijih *Podnebne poti 2050* predvideni manjši deleži električne energije v energetskega sistema leta 2050. V scenariju *DUA* je delež električne energije 46 %, kar je enako kot v scenariju *Globalni naponi*, najnižji delež pa je pričakovano v scenariju *BU*, kjer je ta delež 26 %. Opazimo torej lahko, da predvidevata scenarija *TYNDP 2022* v splošnem večjo elektrifikacijo kot scenariji *Podnebne poti 2050*, predvsem pa tukaj izstopa scenarij *Porazdeljena energija*. Tudi ta ugotovitev je skladna z razlagami scenarijev iz poglavij 3.1 in 3.2, saj je ta scenarij osnovan na razpršeni proizvodnji in hrambi električne energije. V scenarijih *Podnebne Poti 2050* je tudi nadomeščanje tekočih goriv manj popolno kot v scenarijih *TYNDP 2022*, saj je v scenariju *DU* delež tekočih goriv v energetskega sistema še vedno 14,5 %, kar je več od scenarija z ambicioznejšimi ukrepi, kjer ta delež znaša 5 %. Delež tekočih goriv tega scenarija je primerljiv z deleži, ki jih opazimo v scenariju *Porazdeljena energija* v napovedi *TYNDP 2022*.

Iz prikazane analize lahko zaključim, da bo za trajnostno preobrazbo energetskega sistema potrebno nadomestiti porabo iz tekočih goriv z drugimi viri energije. Glavni viri energije, ki

jih predvidevajo obravnavane napovedi, so električna energija, vodik in sintetična plinasta goriva.

4 OCENA VPLIVA GLAVNIH DEJAVNIKOV PORABE V SLOVENIJI

V tem poglavju bom vzpostavil metodologijo za določitev vpliva posameznih dejavnikov na končno porabo energije v Sloveniji do leta 2050. Analiza dejavnikov v magistrskem delu bo scenarijskega tipa, kar pomeni, da bom za vsakega od dejavnikov, opredeljenega v poglavju 2.3, izdelal scenarije možnega razvoja. Scenarije bom določil na podlagi obstoječih napovedi, literature, zgodovinskih podatkov in primerjave z drugimi evropskimi državami. Nekateri scenariji bodo med seboj odvisni, tako da bo končno število izdelanih scenarijev večje od vsote scenarijev posameznih dejavnikov, saj se energetske sistem lahko drugače razvija pri različnih kombiniranih scenarijih. Odvisnosti med posameznimi scenariji bodo opisane v tem poglavju.

Za vsakega od obravnavanih scenarijev bom predstavil tri mogoče dolgoročne razvoje. *Optimistični* scenarij označuje razvoj dejavnika, pri katerem je pričakovana poraba energije najnižja, *Pesimistični* scenarij pa tistega, kjer je pričakovana poraba energije največja. *Srednji* scenarij bo označeval verjeten razvoj dejavnika glede na trenutno poznavanje stanja. Najpogosteje bo *Srednji* scenarij zavzemal vrednosti med *Pesimističnim* in *Optimističnim* scenarijem, izjemoma pa bo s katerim od njih sovpadal. Pri poimenovanju scenarijev sem se opiral na to, da je zmanjšanje porabe energije za pohitritev tajnostne preobrazbe zaželeno. To sicer v posameznih primerih pripelje do nenavadnih rezultatov. Pri gospodarski rasti, na primer, jemljemo za *Optimistični* scenarij tistega, kjer je gospodarska rast najmanjša. Podobno velja pri dejavniku rasti prebivalstva. V magistrskem delu to ne označuje zaželenosti nizke gospodarske rasti in krčenja prebivalstva, ampak samo opredeljuje vpliv dejavnika na končno porabo energije.

V poglavju 5.1 bom na podlagi scenarijev, izdelanih v tem poglavju, določil razpon, ki ga leta 2050 lahko zajame končna poraba energije. To bom naredil z izdelavo kombiniranih scenarijev, pri čemer se bom osredotočil na kombinacije, kjer zavzamejo vsi dejavniki *Optimistične*, *Pesimistične* in *Srednje* vrednosti hkrati.

Poleg razpona končne porabe energije bom v magistrskem delu, natančneje v poglavju 5.2, ocenjeval tudi vpliv vsakega od dejavnikov na končno porabo energije v Sloveniji do leta 2050. Pri tem bom izbral *Srednje* scenarije vseh preostalih dejavnikov in opazoval razpon vrednosti, ki jih dobimo s spreminjanjem izbranega scenarija individualnega dejavnika. Pri ocenjevanju vpliva gospodarske rasti bo tako ocenjeno, kakšne vrednosti lahko končna poraba energije zavzame pri spreminjanju vrednosti gospodarske rasti ob privzetku *Srednjih* vrednosti za preostale scenarije.

Velja poudariti, da s predlagano analizo v magistrskem delu ne bom predstavljal vseh mogočih kombiniranih scenarijev. Povsem verjetno je, da je kateri od drugih kombiniranih scenarijev lahko relevanten za drugačne vrste analize. Za pridobitev razpona porabe električne energije do leta 2050 bi bilo zanimivo opazovati scenarije z visokimi stopnjami elektrifikacije (*Optimistični* scenariji) in nizkimi stopnjami potrošniške prilagoditve porabe (*Pesimistični* scenariji). Obravnava takšnih scenarijev in podrobnejša analiza različnih mogočih izidov v energetskega sistemu presega namen tega magistrskega dela.

4.1 Promet

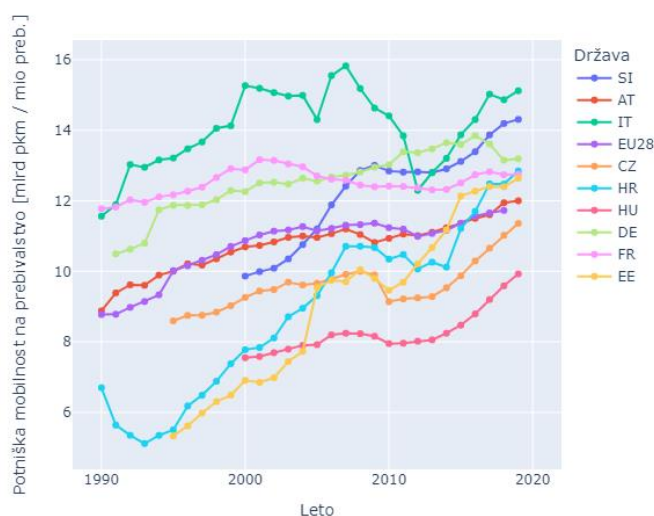
V poglavju 3.3.2 sem izpostavil, da bo področje prometa najbolj spremenljiv sektor energetske porabe do leta 2050. V skladu z opredelitvijo dejavnikov iz poglavja 2.3 bom ločeno izdeloval scenarije potniške mobilnosti, tovornega prometa, rabe javnega prevoza, elektrifikacije in sprememb v gorivih v sektorju ter deleža in učinka rabe avtonomnih vozil.

4.1.1 Potniška mobilnost

Za izdelavo scenarijev potniške mobilnosti bom najprej predstavil dosednji razvoj potniške mobilnosti v Sloveniji in ga primerjal z razvojem v drugih evropskih državah.

Na sliki 6 je vidno, da ima Slovenija trenutno visoko stopnjo potniške mobilnosti v primerjavi s preostalimi evropskimi državami. Analiza potniške mobilnosti v EU del odstopanja od povprečja pripisuje predvsem daljšim razdaljam, ki jih Slovenci prevozijo na vsakdanji vožnji (Armoogum in drugi, 2022).

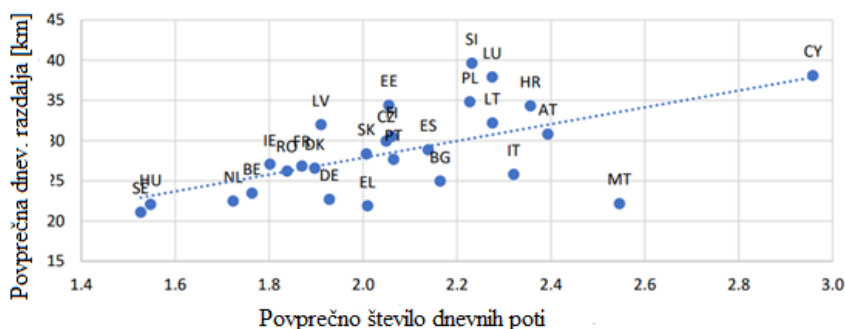
Slika 6: Primerjava potniške mobilnosti Slovenije z drugimi evropskimi državami



Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022).

Na sliki 7 je vidno, da ima Slovenija visoko stopnjo povprečnih dnevni prevoženih kilometrov na osebo pri povprečnem številu dnevni poti. Vsakodnevne poti, ki jih torej opravljajo Slovenci, so v povprečju daljše kot drugod po Evropi.

Slika 7: Število dnevni poti in prevožene dnevne razdalje na prebivalca v državah EU v letu 2021

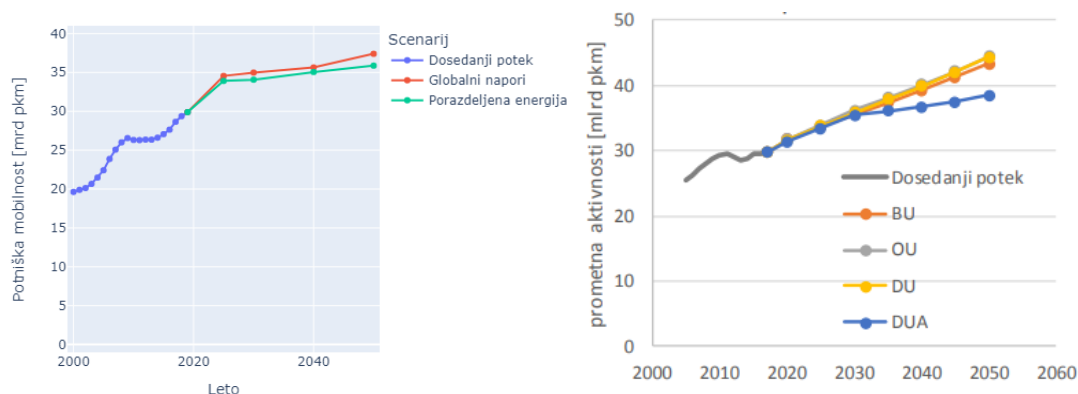


Vir: Armoogum in drugi (2022).

Iz tega sledi, da je za zmanjševanje potniške mobilnosti pomembno prostorsko načrtovanje in dolgoročna stopnja urbanizacije, saj se lahko z dobro prostorsko politiko Slovenija na dolgi rok približa evropskemu povprečju. Napovedi dolgoročne slovenske stopnje urbanizacije (v deležu prebivalstva urbanih območij v celotnem prebivalstvu) predvidevajo visoke stopnje rasti s 55 % v letu 2018 na 69 % v letu 2050, kar je blizu vzhodnoevropskemu povprečju iz leta 2018, ki je znašal 70 % (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019). Vendar pa dobra prostorska politika ne vključuje le večje urbanizacije, temveč tudi primerno umestitev poslovnih in trgovinskih objektov ter podporo najbolj primernim oblikam prometa, ki lahko zmanjšujejo potrebo po potniški mobilnosti (Golobič in drugi, 2018). Dodatno lahko k zmanjšanju slovenske potniške mobilnosti prispevajo tudi drugi ukrepi, ki spodbujajo delo od doma in večjo zasedenost avtomobilov (pri čemer lahko odigrajo pomembno vlogo tudi digitalna orodja za souporabo vozil) (Urbančič in drugi, 2020).

Na sliki 8 so vidne napovedi potniške mobilnosti, ki jih najdemo v *Podnebni poti 2050* in *TYNDP 2022*. Scenariji *Porazdeljena energija*, *Globalni napor* in scenarij *DUA Podnebne poti 2050* so si med seboj podobni in vsi zavzemajo vrednosti med 35 mrd pkm in 38,4 mrd pkm. Na drugi strani so tudi scenariji *BU*, *OU* in *DU* zelo podobni in nadaljujejo z dosedanja rastjo potniške mobilnosti.

Slika 8: Napovedi potniške mobilnosti v TYNDP 2022 (levo) in Podnebni poti 2050 (desno)



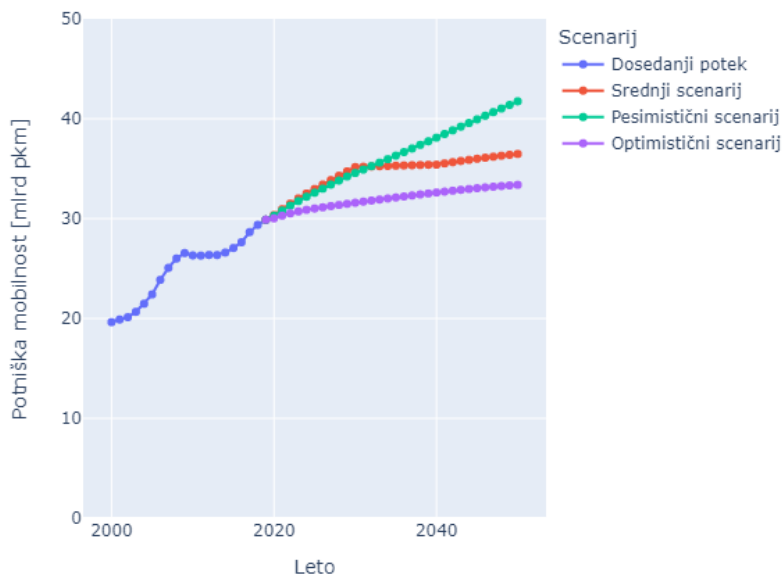
Vir: prirejeno po ENTSOE in ENTSG (2021) ter Urbančič in drugi (2020).

Glede na to, da je trenutna rast potniške mobilnosti v Sloveniji hitrejša od rasti povprečja EU in da so vrednosti potniške mobilnosti v Sloveniji glede na povprečje EU visoki, bom scenarij nadaljevanja takšne rasti potniške mobilnosti (kar predvideva večina scenarijev *Podnebne poti 2050*) vzel za *Pesimistični* scenarij v obravnavi dejavnika potniške mobilnosti. Za *Srednji* scenarij bom vzel vrednosti scenarija *Globalni napori*, ki se zelo malo razlikujejo od scenarijev *Porazdeljena energija* in *DUA*.

Ker so slovenske vrednosti potniške mobilnosti visoke, bom za *Optimistični* scenarij predpostavil približevanje Slovenije evropskemu povprečju, pri čemer za povprečje privzamem nadaljevanje povprečne rasti zadnjih 30 let. S slike 6 je vidno, da je bila ta rast v zadnjih 30 letih razmeroma konstantna, njena povprečna vrednost pa je 4 %. Ta scenarij bi pomenil, da Slovenija s pomočjo ukrepov za zmanjševanje potniške mobilnosti postane primerljiva drugim evropskim državam. Leta 2050 je torej vrednost potniške mobilnosti na prebivalca v Sloveniji enaka povprečju EU.

Pri dejavniku potniške mobilnosti velja izpostaviti, da je končna potniška mobilnost v magistrskem delu modelirana kot potniška mobilnost na prebivalca in zato odvisna tudi od dejavnika števila prebivalcev, ki ga bom podrobneje opisal v poglavju 4.6.2. Če za demografske projekcije vzamemo projekcije Statističnega urada Republike Slovenije iz leta 2019, dobimo rezultate prikazane na sliki 9.

Slika 9: Scenariji potniške mobilnosti pri demografskih napovedih Statističnega urada Republike Slovenije



Vir: lastno delo na podlagi Statističnega urada Republike Slovenije (2019).

Pri dejavniku potniške mobilnosti sem torej dva scenarija povzel po že obstoječih napovedih, za *Optimističnega* pa sem ocenil, da je zmanjšanje rasti potniške mobilnosti v Sloveniji lahko občutnejše od predvidenih v napovedih *TYNDP 2022* in *Podnebna pot 2050*, saj zmanjšanje potniške mobilnosti v omenjenih napovedih temelji predvsem na večjem delu nemotorne aktivnosti ter na ukrepih, ki spodbujajo delo od doma (Urbančič in drugi, 2020). Pri tem napovedi ne upoštevajo, da so trenutne vrednosti potniške mobilnosti v Sloveniji nadpovprečne, podcenjen pa je pomen učinkovite prostorske politike, ki lahko odigra pomembno vlogo pri zmanjšanju potniške mobilnosti.

4.1.2 Tovorni promet

Na sliki 10 je mogoče videti, da ima Slovenija visoke vrednosti tudi tovornega prometa merjenega s tovornimi kilometri na prebivalca. Pri normalizaciji tovornega prometa na število prebivalcev je vrednost slovenskega tovornega prometa več kot trikratnik evropskega povprečja.

Slika 10: Primerjava tovarnega prometa Slovenije z drugimi evropskimi državami

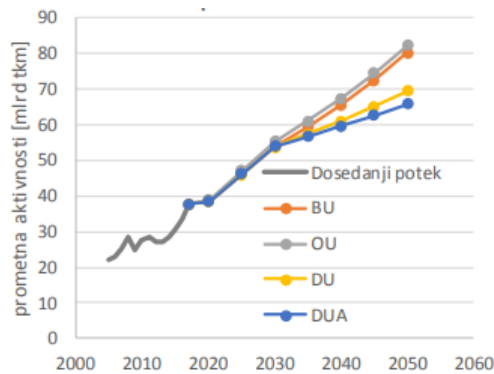


Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022).

Visoke vrednosti tovarnega prometa Slovenije so lahko posledica dejstva, da je Slovenija tranzitna država. Vendar pa velja za slovenski tovorni promet tudi visoka povezava z gospodarsko rastjo, kar je lahko tudi posledica visokega dela cestnoprometnih dejavnosti v slovenskem BDP (Zanne in drugi, 2022). Visoko povezavo med gospodarsko rastjo in rastjo tovarnega prometa ugotavljajo tudi pri analizi *Podnebne poti 2050*, kjer omenjajo, da je bila v obdobju od leta 2010 do leta 2017 rast BDP za 1 % povezana z rastjo tovarnega prometa za 3,8 % (Urbančič in drugi, 2020, str. 20).

V *Podnebni poti 2050* je tovorni promet modeliran v odvisnosti od rasti BDP, pri čemer scenarija *BU* in *OU* predpostavljata nadaljevanje omenjene povezave za celo obdobje. V preostalih scenarijih pa se od leta 2030 faktor povezave zmanjša na 3 % (Urbančič in drugi, 2020). Na sliki 11 so vidni scenariji tovarnega prometa v *Podnebni poti 2050*. Podatki tovarnega prometa, ki so bili uporabljeni v napovedih *TYNDP 2022*, se po vrednostih ne skladajo ne s podatki projekcij *Podnebne poti 2050*, ne s podatki, ki so na voljo na Statističnem uradu Republike Slovenije (Statistični urad Republike Slovenije, 2023), kakor tudi ne s podatki, ki so na voljo na podatkovni bazi Odyssee (Agence de la transition écologique in drugi, 2022). Ker so si vrednosti tovarnega prometa *Podnebne poti 2050*, podatkovne baze Odyssee in Statističnega urada Republike Slovenije med seboj podobne, vrednosti *TYNDP 2022* pa dosežejo približno tretjino teh vrednosti (ENTSOE in ENTSG, 2021), bom za osnovo pri tovarnem prometu vzel projekcije, ki so predvidene v scenarijih *Podnebne poti 2050*.

Slika 11: Scenariji tovornega prometa v Podnebni poti 2050



Vir: Urbančič in drugi (2020).

Kljub temu da so zgodovinske vrednosti v tovornem prometu *Podnebne poti 2050* zanesljive, se zdijo napovedi previsoke, saj predpostavljajo nadaljevanje izjemno visoke stopnje rasti tovornega prometa. S slike 10 je vidno, da je pretekla rast slovenskega tovornega prometa v primerjavi s preostalimi državami EU izjemna, dodatno pa so trenutne vrednosti tovornega prometa izjemno visoke. Dolgoročno nadaljevanje tega trenda je torej nerealistično. Za nadaljevanje izjemne rasti prometa bi bila potrebna tudi široka nadgradnja cestne infrastrukture. V *DUA* scenariju *Podnebne poti 2050* se tovorni promet namreč poveča za približno 70 %, v scenariju *OU* pa se več kot podvoji.

Tabela 1: Rezultati regresije evropskega tovornega prometa od leta 2009 do 2020 na evropski BDP

	Koeficient	Standardna napaka	t-statistika	P-vrednost
Konstanta	219,48	237,8	0,923	0,383
BDP	0,1577	0,018	8,900	$0,2 \cdot 10^{-4}$
R-kvadrat			0,908	
Popravljeni R-kvadrat			0,897	

Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022) ter Eurostat (2023b).

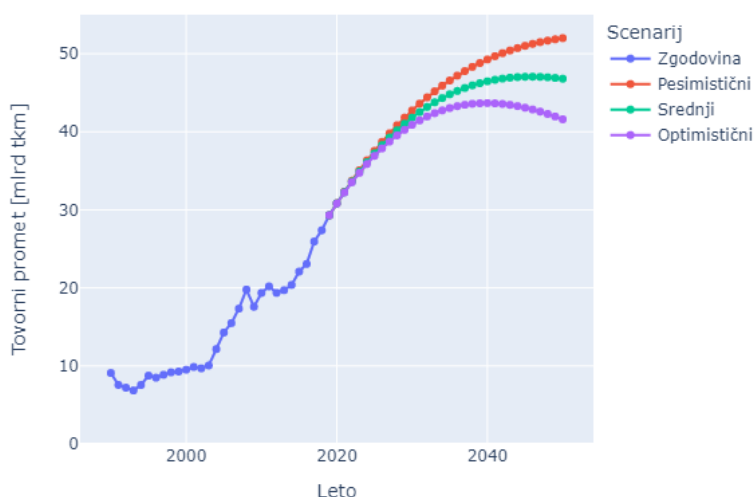
V magistrskem delu bom iz predstavljenih razlogov dolgoročno povezavo med BDP in tovornim prometom omilil. Pri danem dolgoročnem razvoju slovenskega BDP bom v magistrskem delu do leta 2050 za slovenski tovorni promet upošteval stopnje rasti, ki bi veljale za evropsko povprečje. Rezultati regresijskega modela evropskega tovornega prometa, kjer sem za odvisno spremenljivko uporabil vrednosti evropskega tovornega prometa v milijardah tovornih kilometrov in za pojasnjevalno spremenljivko BDP EU v stalnih cenah iz leta 2010 v milijonih evrov, so prikazani v tabeli 1. Kljub temu da je uporabljena samo ena pojasnjevalna spremenljivka, lahko zaradi visokega R^2 sklepamo, da rast BDP v veliki meri pojasnjuje rast tovornega prometa. Napovedi v magistrskem delu

bodo med letoma 2019 in 2050 zglajene tako, da bo porast tovornega prometa v prvih letih hitrejši, v zadnjih letih pa počasnejši. Te vrednosti bodo določale *Pesimistični* scenarij.

Ob primerjavi končnega tovornega prometa v Sloveniji v scenariju *OU* in v scenariju *DUA* je tovorni promet zaradi zmanjšanja odvisnosti od gospodarske rasti za približno 20 % manjši. Takšne prihranke bom pri obravnavi dejavnika tovornega prometa predpostavljaj tudi v *Optimističnem* scenariju. Ker je veljavnost tega scenarija odvisna od močnega zmanjševanja povpraševanja po surovinah in izdelkih (Grubler in drugi, 2018; Urbančič in drugi, 2020), bom za *Srednji* scenarij predpostavljaj, da so predlagane spremembe le delno uspešne in je zaradi zmanjšanja odvisnosti vidna 10 % sprememba v tovornem prometu.

Na sliki 12 so prikazani scenariji pri obravnavi dejavnika tovornega prometa ob predpostavki 2 % realni rasti slovenskega BDP. Ker bodo končne vrednosti tovornega prometa odvisne od stopnje gospodarske rasti (tako kot v napovedih *Podnebne poti 2050*), se bodo končne vrednosti tovornega prometa v napovedih spreminjale.

Slika 12: Scenariji tovornega prometa pri predpostavki 2 % realne rasti BDP



Vir: lastno delo.

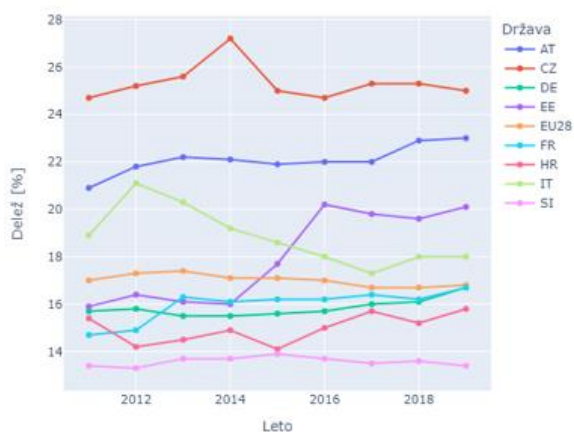
4.1.3 Javni potniški promet in železniški tovorni promet

Na sliki 13 primerjam stanje slovenskega in evropskega prometa glede na deleže javnega potniškega prometa in železniškega tovornega prometa. Opaziti je mogoče, da je v Sloveniji delež javnega prometa v kopenskem potniškem prometu manjši kot v drugih evropskih državah, predvsem zaradi manjšega dela železniškega prometa v kopenskem potniškem prometu. Po deležu avtobusnega prometa je Slovenija nad evropskim povprečjem. Zanimivo je tudi dejstvo, da so slovenski deleži javnega potniškega in železniškega tovornega prometa skozi zadnje desetletje pretežno konstantni. Slovenski delež javnega prometa v kopenskem potniškem prometu je bil 13 % v letu 2019. V istem letu je bil slovenski delež slovenskega železniškega prometa v kopenskem potniškem prometu pod 2 %, delež avtobusnega prometa

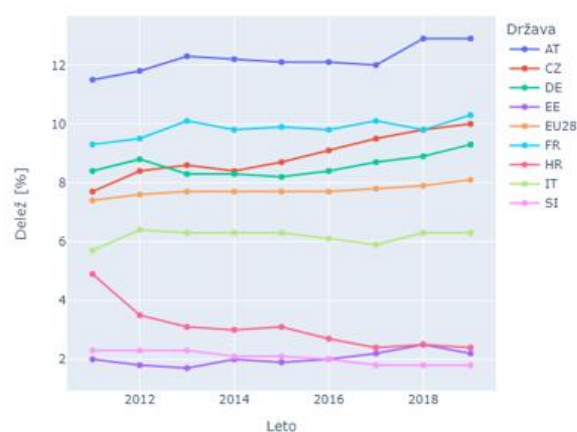
12 % in delež železniškega prometa v kopenskem tovornem prometu 36 %. V letu 2019 so ustrezni evropski deleži znašali 17 %, 8 %, 9 % in 17 %.

Slika 13: Primerjava javnega potniškega in železniškega tovornega prometa Slovenije z drugimi evropskimi državami

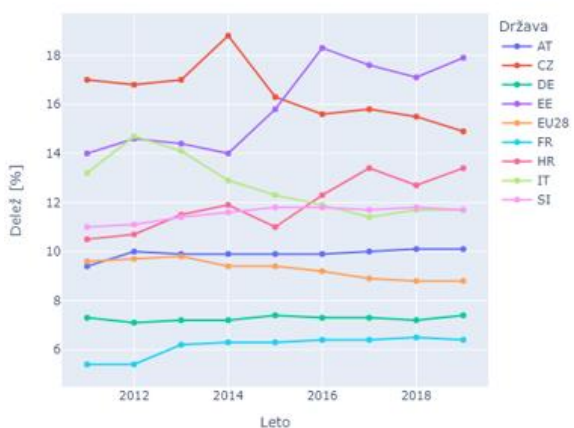
Delež javnega prometa v kopenskem potniškem prometu



Delež železniškega prometa v kopenskem potniškem prometu



Delež avtobusnega prometa v kopenskem potniškem prometu



Delež železniškega prometa v kopenskem tovornem prometu

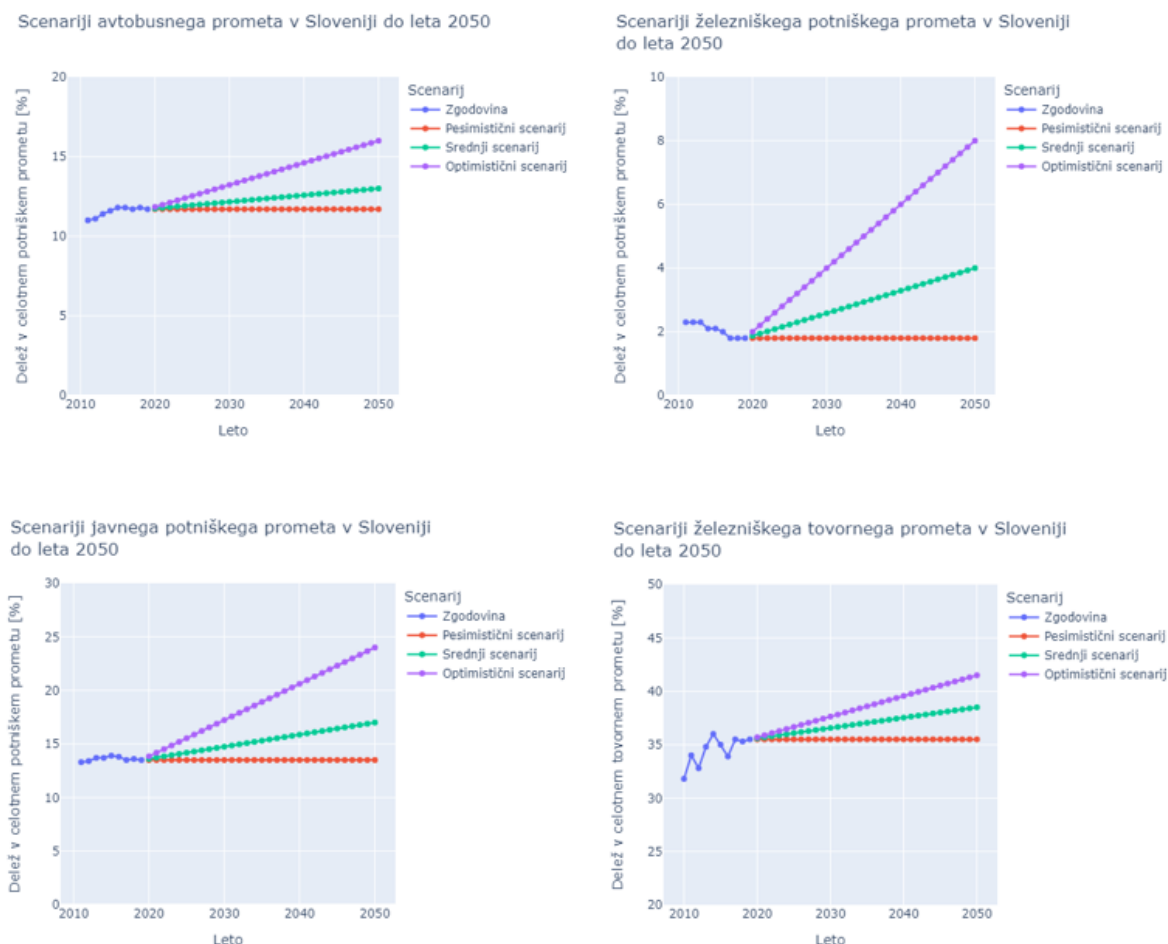


Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022) ter Eurostat (2022).

Glede na predstavljeno ne preseneča, da scenariji *Podnebne poti 2050* ne predvidevajo bistvenih sprememb na področju avtobusnega prevoza. Povečanje nad trenutnim predvideva le scenarij *DUA*, kjer leta 2050 avtobusni promet predstavlja 13 % celotne potniške mobilnosti. Tudi ta sprememba ni velika glede na trenutni delež avtobusnega prometa, ki znaša 12 %. Scenariji *TYNDP 2022* so v tem oziru ambicioznejši, saj scenarij *Porazdeljena energija* predvideva povečanje deleža na 16 %, scenarij *Globalni napor* pa na 15 % (ENTSOE in ENTSOG, 2021). Scenariji *Podnebne poti 2050* predpostavljajo večje spremembe v železniškem prometu. V scenariju *DUA* se delež železniškega prometa v potniškem prometu poveča na 8 %, kar je štirikratnik trenutnega deleža (Urbančič in drugi, 2020). Scenarija *TYNDP 2022* predpostavljata podvojitve deleža na 4 % (ENTSOE in

ENTSOG, 2021). Enako velja tudi za preostale scenarije *Podnebne poti 2050*. V tovornem železniškem prometu napovedujeta scenarija *Porazdeljena energija* in *Globalni napori* povečanje deleža na dobrih 40 % (ENTSOE in ENTSOG, 2021). Podobno povečanje deleža, za 21 %, napoveduje tudi scenarij *DUA* (Urbančič in drugi, 2020). V scenariju *OU* se delež železniškega prometa v tovornem prometu poveča za 15 %.

Slika 14: Scenariji javnega potniškega in železniškega tovornega prometa



Vir: lastno delo.

Na sliki 14 so prikazani scenariji pri obravnavi dejavnika javnega potniškega in železniškega tovornega prometa. Pri izdelovanju *Pesimističnih* scenarijev dejavnikov predpostavljam, da ostanejo trenutni deleži do leta 2050 nespremenjeni. Ta predpostavka je smiselna zaradi konstantnosti deležev v zadnjem desetletju, vidnih na sliki 13. *Optimistični* in *Srednji* scenarij oblikujem glede na obstoječe napovedi. Pri deležu avtobusnega v kopenskem potniškem prometu je v *Optimističnem* scenariju leta 2050 delež enak 16 % (kot v scenariju *Porazdeljena energija*), v *Srednjem* pa 13 % (kot v scenariju *DU*). Pri deležu železniškega v potniškem prometu je v *Optimističnem* scenariju leta 2050 delež enak 8 % (kot v scenariju z *DUA*), v *Srednjem* pa 4 % (kot v scenariju *Porazdeljena energija*). Pri deležu železniškega v tovornem prometu je v *Optimističnem* scenariju leta 2050 delež enak dobrih 40 % (kot v scenariju *Porazdeljena energija*), v *Srednjem* pa 38 % (kot dobljeno z upoštevanjem razmerij

iz scenarija z *Obstoječimi ukrepi*). Zaradi ciljev trajnostne preobrazbe nikjer niso predpostavljena zmanjšanja omenjenih deležev, čeprav je slovenski delež železniškega v tovornem prometu nad evropskim povprečjem.

Ob seštevku deležev avtobusnega in železniškega prometa v potniškem prometu privzetih scenarijev je leta 2050 rezultat 17 % delež javnega potniškega prometa v *Srednjem* scenariju in 24 % delež v *Optimističnem* scenariju. Ob primerjavi teh deležev s trenutnim stanjem v drugih evropskih državah je vidno, da je v *Srednjem* scenariju delež javnega potniškega prometa leta 2050 primerljiv s trenutnim povprečnim evropskim deležem. V *Optimističnem* je ta delež primerljiv s trenutnim stanjem v Avstriji.

4.1.4 Elektrifikacija in spremembe v vrstah pogonov

Elektrifikacija in spremembe v vrstah pogonov v prometu imajo lahko velik vpliv na končno porabo energije, kot je bilo izpostavljeno že v poglavju 2.2.1. Končna struktura vozil je v napovedih zelo različna, kar je mogoče interpretirati kot kazalnik večje negotovosti v tem dejavniku.

Scenarija *TYNDP 2022* predpostavljata podnebno nevtralnost leta 2050, zato predpostavljata večje spremembe kot scenariji *Podnebne poti 2050*. Na področju avtomobilskega prometa predpostavljata oba scenarija popolno odpravo motorjev na notranje izgorevanje do leta 2050. Vendar pa se scenarija *Porazdeljena energija* in *Globalni napor* vseeno med seboj zelo razlikujeta, saj predpostavljata različne deleže električnih avtomobilov, od katerih je mogoče pričakovati največje energetske prihranke zaradi povečane učinkovitosti. Scenarij *Porazdeljena energija* predpostavlja, da bo leta 2050 kar 82 % avtomobilov električnih, manjša deleža pa bodo prispevali tudi avtomobili na vodik (12 %) in priključni hibridi (6 %). V scenariju *Globalni napor* so ti deleži enakomernejši. Največji delež je predviden za priključne hibride (45 %), sledijo pa jim električni avtomobili (28 %) in avtomobili na vodik (23 %) (ENTSOE in ENTSOE, 2021).

V scenarijih *Podnebne poti 2050* je nadomeščanje notranjega izgorevanja v avtomobilih manj popolno, saj je v scenariju *OU* 48 % delež vozil na alternativne pogone (priključni hibridi, električni avtomobili in avtomobili na vodik). V scenariju *DU* je ta delež 83 %, ob predpostavkah *DUA* pa se ta delež zviša na 95 % (Urbančič in drugi, 2020). V ambicioznejšem scenariju je razlika posledica hitrejše penetracije vozil na alternativne pogone med prvimi registracijami avtomobilov, pa tudi hitrejše zamenjave vozil.

Pri avtobusih in težjih tovornih vozilih je zaradi potrebe po večjih dosežih nadomeščanje vozil z motorji na notranje izgorevanje počasnejše. V scenariju *Globalni napor* je leta 2050 delež težkih tovornih vozil na notranje izgorevanje 5 %, 23 % pa prispevajo običajna (ne priključna) hibridna vozila. Delež električnih vozil v tem scenariju je majhen, 10 %, saj ta scenarij predpostavlja večji delež vozil na vodik (46 %). V scenariju *Porazdeljena energija* je delež električnih vozil večji (44 %), manjši pa je predvsem delež hibridnih vozil (9 %) in

vozil na vodik (39 %). V scenarijih *TYNDP 2022* je predvideno, da so tudi v tem sektorju vsa uporabljena goriva podnebno nevtralna s pomočjo postopkov, kot sta pridobivanje biometana in čisto pridobivanje vodika (ENTSOE in ENTSG, 2021).

V scenarijih *Podnebne poti 2050* je nadomeščanje vozil na notranje izgorevanje v težkem tovornem prometu mnogo manjše. Tudi scenarij *DUA* predvideva samo 44 % vozil na alternativne pogone, scenarija z *DU* in *OU* pa 26 % in 10 % (Urbančič in drugi, 2020).

Na sliki 15 so vidni scenariji dejavnika elektrifikacije in sprememb v vrstah pogonov v prometu. Kategorije vozil po vrstah pogonov so električna vozila (angl. battery electric vehicles, BEV), vozila na stisnjeni in utekočinjeni metan (angl. compressed natural gas and liquified natural gas vehicles, CNG in LNG), vozila na vodik (angl. fuel cell electric vehicles, FCEV), hibridna električna vozila (angl. hibrid electric vehicles, HEV), vozila na notranje izgorevanje (internal combustion engine vehicles, ICE), priključni hibridi (angl. plug-in hibrid electric vehicles, PHEV) in preostala vozila (angl. other vehicles, OTHR). Osnova za scenarije magistrskega dela so scenariji iz obstoječih napovedi, pri čemer velja poudariti, da je pri tem dejavniku mnogo negotovosti. Pri izdelavi scenarijev magistrskega dela bom izhajal iz predpostavke, da bodo evropske države (in torej tudi Slovenija) do leta 2050 s svojimi ukrepi usmerjale področje prometa k razogljičenju, zato bosta tako *Optimistični* kot *Srednji* scenarij skladna s trenutnimi zavezami EU podnebne nevtralnosti do leta 2050 in razogljičenje vseh novih avtomobilov do leta 2035. Kljub predpostavki je glede končnega uspeha teh ukrepov in deleža vozil na notranje izgorevanje v letu 2050 veliko negotovosti. Dodatno je stopnjevana zaradi negotovosti glede deležev različnih tehnologij, ki bodo nadomeščale avtomobile na notranje izgorevanje.

Zaradi ciljev podnebne nevtralnosti EU se zdijo nekateri scenariji *Podnebne poti 2050* nerealistični, saj ne zagotavljajo dovolj hitrega nadomeščanja vozil na notranje izgorevanje. Pri obravnavi dejavnika elektrifikacije in spremembe v vrstah pogonov bom znatne preostale deleže vozil na notranje izgorevanje predpostavljala le v *Pesimističnih* scenarijih. Scenarija *TYNDP 2022* torej predstavljata boljše osnovo za izdelovanje preostalih dveh scenarijev cestnega prometa. Ker je za uresničitev scenarija *Porazdeljena energija* potrebna večja usmeritev v elektrifikacijo prometa, bom od tu jemal razmerja pri *Optimistični* obravnavi tega dejavnika. Scenarij predpostavlja, da bo delež električnih avtomobilov do leta 2050 narastel nad 80 %. Kljub ambicioznim ciljem lahko evropske države z ustrežno infrastrukturo in finančnimi spodbudami pri nakupih električnih vozil dosežejo tudi višje deleže električnih avtomobilov. V večini držav EU se lahko pri takšnih predpostavkah delež približa tudi 100 % in v vseh preseže 80 % (Fluchs, 2020).

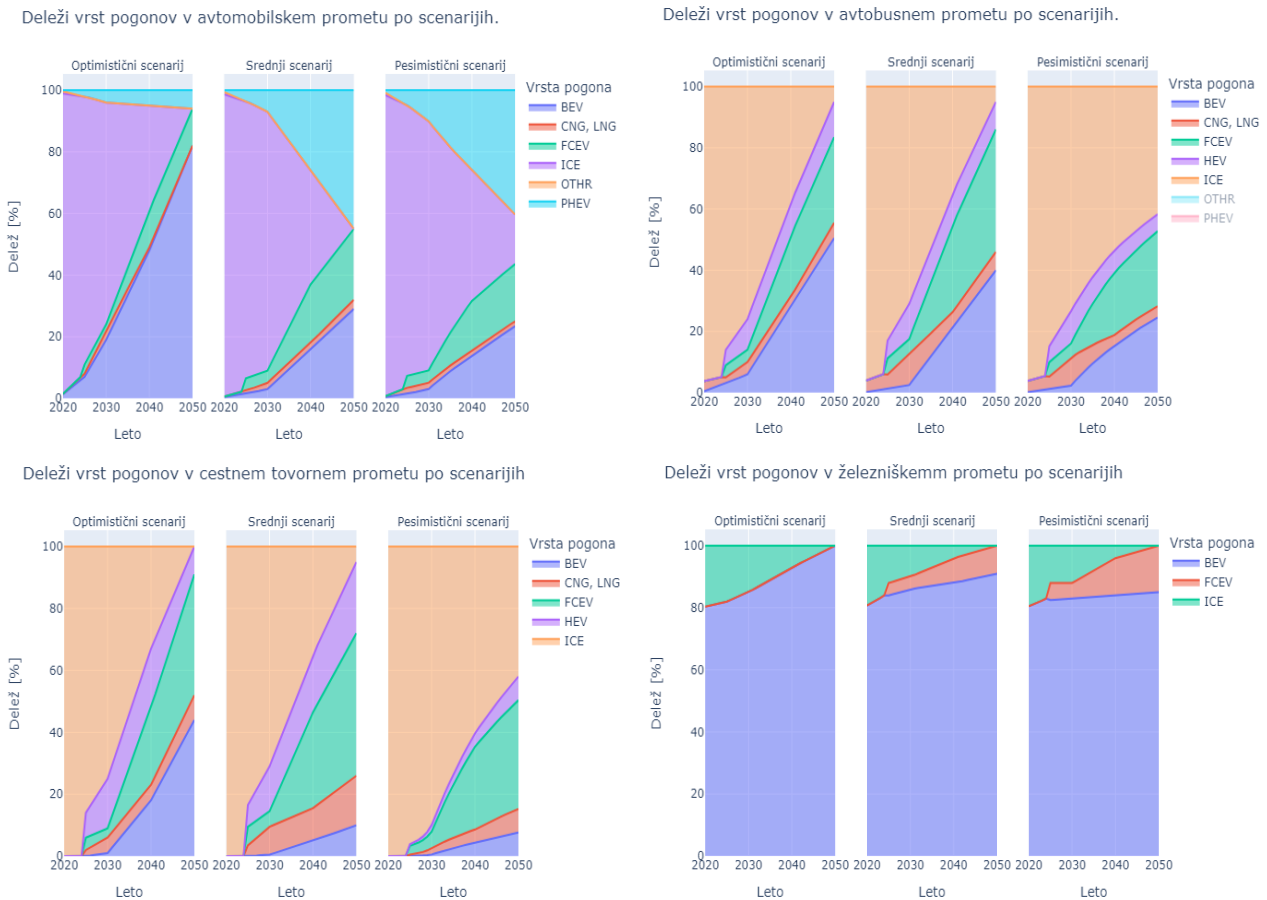
Razmerja med vrstami pogonov za *Srednji* scenarij pa bom jemal iz scenarija *Globalni naperi*, ki sicer tudi predpostavlja podnebno nevtralnost sektorja prometa v letu 2050, a to dosega z enakomernejšo porazdelitvijo deležev različnih tehnologij. V primeru počasnejšega tržnega prodora električnih avtomobilov je mogoče pričakovati večje deleže drugih vrst avtomobilov, kot so avtomobili na vodik in priključni hibridi. Priključni hibridi lahko

dolgoročno predstavljajo velik delež med osebnimi avtomobili, saj so ti manj odvisni od razširjenosti polnilne infrastrukture. V scenarijih z ambicioznimi podnebnimi ukrepi lahko zaradi tega delež priključnih hibridov v letu 2050 preseže tudi 40 % (Harrison in Thiel, 2017), kar je vrednost deleža v *Srednjem* scenariju.

Vendar tudi ob predpostavki ambicioznega ukrepanja na področju prometa lahko dolgoročno delež avtomobilov na notranje izgorevanje ostane pri vrednostih do 20 % zaradi počasnega prodora alternativnih tehnologij na trg (Harrison in Thiel, 2017). To je razlog, da sem pri izdelavi *Pesimističnih* scenarijev vrednosti scenarija *Globalni napor* preoblikoval tako, da imamo v letu 2050 nepopolno nadomeščanje vozil na notranje izgorevanje, kot predvidevajo scenariji *Podnebne poti 2050*. Pri izdelavi teh scenarijev sem se torej opiral tako na *TYNDP 2022* kot na *Podnebno pot 2050*, pri čemer še vedno predpostavljam ambiciozno ukrepanje v smeri dolgoročne podnebne nevtralnosti. Izmed scenarijev *Podnebne poti 2050* bo torej najbolj relevanten scenarij *DUA*. V *Pesimističnem* scenariju za avtomobile je še 16 % avtomobilov na notranje izgorevanje in 40 % priključnih hibridov. Delež avtomobilov na alternativne pogone je v tem scenariju takšno, kot je v scenariju *DU Podnebne poti 2050*. Privzete vrednosti so blizu 80 % deleža, ki ga lahko pričakujemo pri ambicioznih podnebnih ukrepih in počasnejšem prodoru alternativnih tehnologij na trg (Brand in drugi, 2017; Harrison in Thiel, 2017). Podobno velja tudi pri pogonih avtobusov, kjer predpostavljam nepopolno in počasno zamenjavo goriv. Leta 2050 je predvidenih še 41 % avtobusov na notranje izgorevanje, 5 % običajnih hibridnih vozil in 4 % avtobusov na metan (preostanek, 48 %, avtobusov na alternativne pogone malenkost presega predvidevanja scenarija *DUA* za težka tovorna vozila). Pri obravnavi različnih vrst vozil zaradi poenostavitve v nasprotju z metodologijo *TYNDP 2022* ne ločujem lahkih in težkih tovornih vozil. Ker lahka cestna tovorna vozila predstavljajo manj kot 0,1 % vseh prevoženih tovornih kilometrov, je ta poenostavitev upravičena (Eurostat, 2022). Pri *Pesimističnem* scenariju za cestna tovorna vozila veljajo podobne predpostavke kot pri avtobusih. Leta 2050 je tako kar 41 % vozil na notranje izgorevanje, 7,5 % hibridnih in 7,5 % vozil na metan (preostanek, 44 %, težkih vozil na alternativne pogone se ujema s predvidevanji scenarija *DUA* za težka tovorna vozila).

Pri železniškem prometu je privzetek *Optimističnega* scenarija polna elektrifikacija železniškega prometa (Eyre, 2021). Za *Srednji* scenarij predpostavljam razvoj iz scenarija *Porazdeljena energija*, za *Pesimističnega* pa razvoj iz scenarija *Globalni napor*. Predvidene spremembe v železniškem prometu so mnogo manjše od sprememb v cestnem prometu, saj je stopnja elektrifikacije v železniškem prometu že danes nad 80 % (ENTSOE in ENTSOE, 2021).

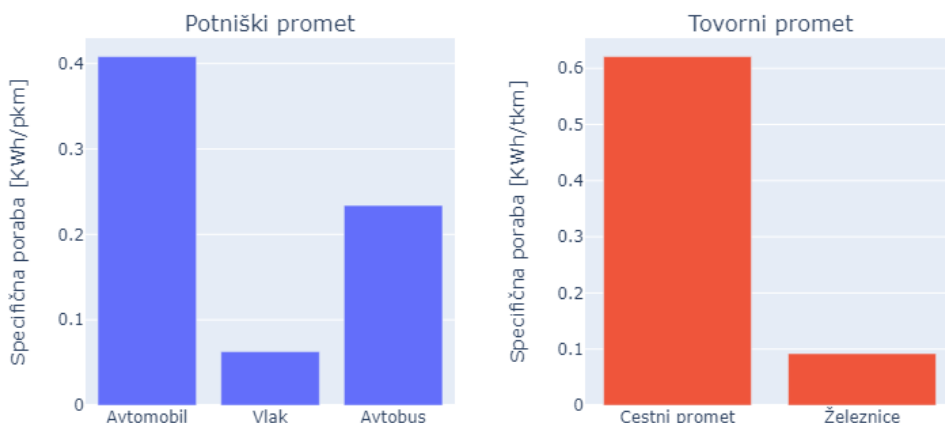
Slika 15: Scenariji elektrifikacije in sprememb v vrstah pogonov v prometu



Vir: lastno delo na podlagi ENTSOE in ENTSG (2021) ter Urbančič in drugi (2020).

Za pravilno obravnavo dejavnika elektrifikacije in sprememb v vrstah pogonov je pomembno upoštevati tudi različne pretvorbene učinkovitosti, kot je bilo omenjeno v poglavju 2.2.1. Vendar to ne velja le za različne vrste pogonov, ampak tudi za različne vrste prometa. Zaradi večjega števila potnikov je avtobus energetsko učinkovitejši od zasebnega avtomobila. V potrošnji na potniški in tovorni kilometer glede na prevozno sredstvo bodo uporabljena razmerja učinkovitosti takšna, kot so veljala za povprečje EU pred izstopom Velike Britanije (EU28) za leto 2017 (Agence de la transition écologique in drugi, 2022). Vrednosti so vidne na sliki 16. Avtobusni potniški promet ima približno polovično specifično porabo energije avtomobilskega prevoza (v kWh na potniški kilometer), železniški potniški promet pa okoli 15 %. Podobno razmerje velja tudi v tovornem prometu med cestnim in železniškim tovornim prometom, katerega specifična poraba energije je tudi 15 % cestnega prometa.

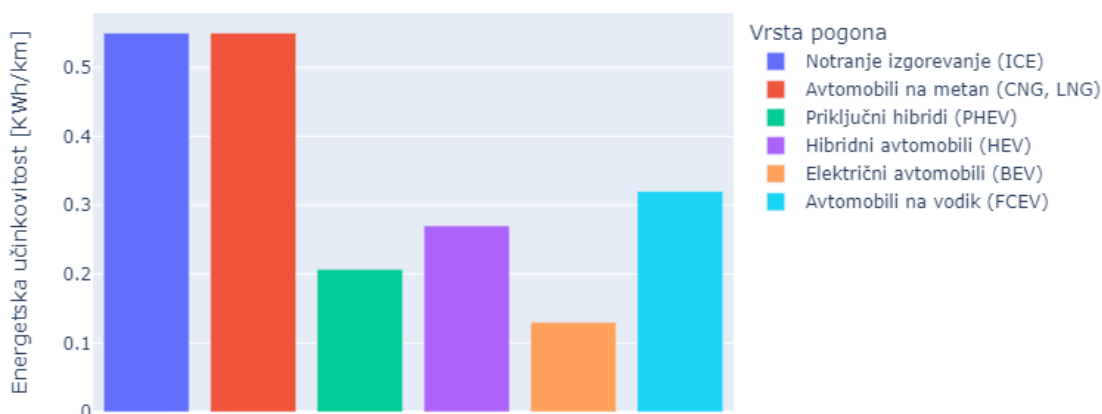
Slika 16: Primerjava energetske učinkovitosti različnih vrst prometa v KWh na potniški oz. tovorni kilometer



Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022).

Na sliki 17 je vidna primerjava energetske učinkovitosti različnih vrst pogonov v cestnem prometu. Pri avtomobilih na notranje izgorevanje je specifična poraba 0,55 KWh/km, pri električnih avtomobilih 0,1 KWh/km, pri avtomobilih na vodik pa je ta vrednost 0,32 KWh/km (Nielsen in Jørgensen, 2023). Za hibridna vozila je uporabljena vrednost 0,27 KWh/km (Nielsen in Jørgensen, 2023), pri priključnih hibridih pa je upoštevana 45 % raba električnega motorja (Plötz in drugi, 2022). Pri vozilih na metan je uporabljena enaka energetska učinkovitost kot pri navadnih avtomobilih z motorji na notranje izgorevanje (Hagos in Ahlgren, 2018). Ker se lahko energetske učinkovitosti v različnih državah med sabo razlikujejo, se bom pri sliki osredotočil na dobljena razmerja in ne absolutne številke učinkovitosti posameznih vrst pogonov.

Slika 17: Primerjava energetske učinkovitosti različnih vrst pogonov v cestnem prometu

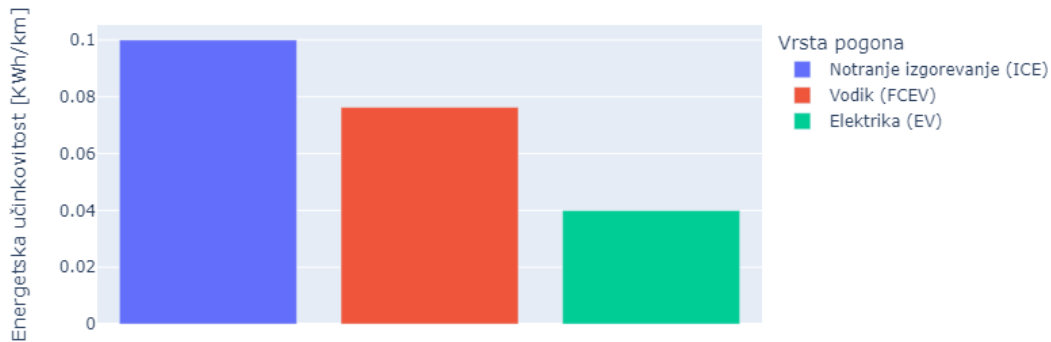


Vir: lastno delo na podlagi Nielsen in Jørgensen (2023).

Primerjava učinkovitosti v železniškem prometu je vidna na sliki 18. Pri porabi po vrstah pogonov v železniškem prometu je poraba vozil na notranje izgorevanje 0,1 KWh/tkm,

poraba električnih vozil pa 0,04 KWh/tkm (Eyre, 2021). Pri vozilih na vodik je uporabljeno enako razmerje energetske učinkovitosti do vozil na notranje izgorevanje, kot velja pri avtobusih.

Slika 18: Primerjava učinkovitosti različnih vrst pogonov v železniškem prometu



Vir: lastno delo na podlagi Eyre (2021).

Na podlagi prikazanih učinkovitosti in specifičnih porab je mogoče izdelati popolne podatke o specifičnih porabah, ki so uporabljeni pri obravnavi dejavnika elektrifikacije in sprememb v vrstah pogonov. Podatki so zbrani v tabeli 2. Specifične porabe po različnih vrstah pogonov so pridobljene z upoštevanjem razmerij iz slik 17 in 18. Uporabljena razmerja med specifičnimi porabami po vrstah prevoznega sredstva so vzeta iz slike 16. Pri izdelavi tabele se poslužim poenostavitve, da je bil v cestnem prometu v letu 2017 delež alternativnih vrst pogonov zanemarljiv. Specifična poraba pri avtomobilih na notranje izgorevanje je torej enaka vrednosti specifične porabe v celotnem avtomobilskem potniškem prometu v letu 2017. Preostale preračune sem opravil na podlagi omenjenih razmerij.

Podatki o specifičnih porabah igrajo pomembno vlogo pri določanju pomembnosti dejavnika elektrifikacije v prometu, zato je nujno razumeti, da obravnava tega dejavnika temelji na dveh bistvenih poenostavitvah. Do prve poenostavitve pride, ker pri obravnavi dejavnika ne upoštevamo negotovosti, ki izhaja iz morebitne netočnosti uporabljenih specifičnih porab. Celostnih analiz specifičnih porab različnih vrst prometa je malo, dodatno pa se lahko dobljeni rezultati razlikujejo v različnih okoljih in obdobjih. Druga poenostavitev je konstantnost uporabljenih specifičnih porab. Posledica te poenostavitve je neupoštevanje sprememb v energetske učinkovitosti znotraj posameznih pogonskih kategorij. Analiza na tem področju je težavna, ker so obsežnejši zgodovinski podatki o izboljšanju v energetske učinkovitosti na voljo le za motorje na notranje izgorevanje. Poenostavitev upravičuje predvidevanje, da bodo glavno gonilo v spremembah učinkovitosti predvsem spremembe v uporabljenih tehnologijah in ne izboljšanje energetske učinkovitosti obstoječih (DNV, 2022; Eyre, 2021; Grubler in drugi, 2018).

Tabela 2: Primerjava specifičnih porab po vrstah prometa, prevoznega sredstva in pogona

Vrsta prometa	Sredstvo	Vrsta Pogona	Enota	Specifična poraba	
Potniški promet	Avtomobilski	ICE	kWh/pkm	0.408	
		CNG, LNG		0.408	
		PHEV		0.154	
		HEV		0.200	
		BEV		0.096	
	Avtobusni	FCEV		0.238	
		ICE		0.234	
		CNG, LNG		0.234	
		PHEV		0.088	
		HEV		0.115	
		BEV		0.055	
		FCEV		0.136	
		Železniški	ICE		0.121
			FCEV		0.092
			EV		0.048
Tovorni promet	Cestni	ICE	kWh/tkm	0.621	
		CNG, LNG		0.621	
		PHEV		0.234	
		HEV		0.305	
		BEV		0.147	
	Železniški	FCEV		0.361	
		ICE		0.177	
		FCEV		0.135	
		EV		0.071	

Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022), Eyre (2021) ter Nielsen in Jørgensen (2023).

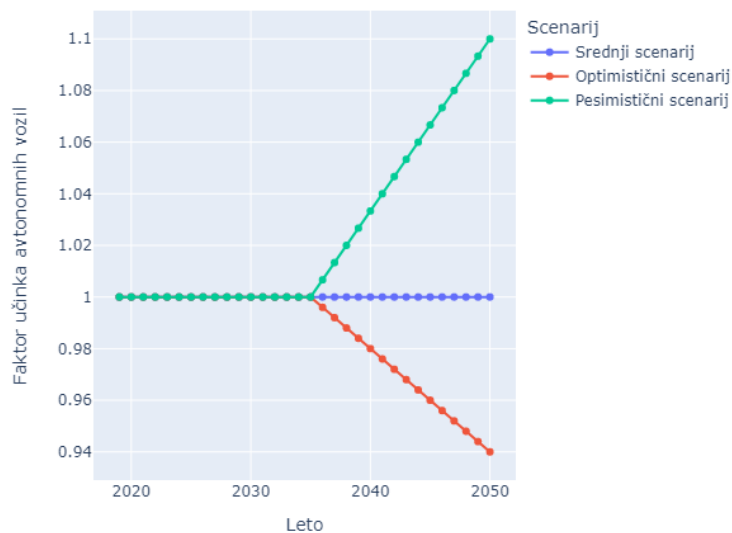
4.1.5 Avtonomna vozila

Ena od mogočih dolgoročnih sprememb v prometu do leta 2050 je napredek tehnologije avtonomne vožnje in široka raba avtonomnih vozil v prometu. Ocenjevanje vpliva avtonomnih vozil je težavno, ker je na dolgi rok težko oceniti razširjenost teh tehnologij, dodatno pa je težko razumeti, kako lahko vplivajo na končno porabo energije v prometu.

Napoved razširjenosti avtonomnih vozil je lahko zelo odvisna od pričakovanega napredka v tehnologiji. Popolnoma avtonomna vozila lahko ob hitrem tehnološkem napredku do leta 2050 postanejo prevladujoča vrsta vozil v prometu (z deleži do 90 %), ob počasnejšem napredku pa je verjetno, da njihov delež do leta 2050 ne preseže 10 % (Talebian in Mishra, 2018). Pri izdelavi napovedi bom upošteval to zgornjo oceno vrednosti – 10 % delež avtonomnih vozil leta 2050, kot scenarijski dejavnik pa bom upošteval učinek avtonomnih vozil na končno porabo energije v prometu.

Vendar je tudi negotovost o učinku avtonomnih vozil na končno porabo energije velika. Zaradi učinkov, kot sta poenostavitev potovanja in povečanja dostopnosti prometa novim demografskim skupinam (starostniki, invalidi, otroci itd.), lahko avtonomna vozila podvojijo končno porabo v prometu. Na drugi strani pa lahko povečanje zasedenosti vozil, varčnejša vožnja in zmanjšanje velikosti avtonomnih vozil pripeljejo do 60 % prihranka energije v prometu (Stephens in drugi, 2016). Takšne učinke bom upošteval v *Optimističnem* in *Pesimističnem* scenariju dejavnika avtonomnih vozil. Privzetek *Srednjega* scenarija bo, da avtonomna vozila nimajo ne pozitivnega ne negativnega učinka na končno porabo energije. Scenariji faktorja učinka avtonomnih vozil na končno porabo energije so prikazani na sliki 19. V *Optimističnem* scenariju se zaradi 10 % deleža avtonomnih vozil in zmanjšanjem njihove porabe energije za 60 % končna poraba energije vozil zmanjša za 6 %. V *Pesimističnem* scenariju se zaradi povečevalnega učinka avtonomnih vozil končna poraba energije poveča za 10 %.

Slika 19: Scenariji faktorja učinka avtonomnih vozil na končno porabo energije v prometu



Vir: lastno delo.

4.1.6 Združevanje dejavnikov v prometu

Da bi iz dejavnikov v poglavjih od 4.1.1 do 4.1.5 pridobil končno porabo energije v prometu danega scenarija, moram te dejavnike združiti. Združevanje dejavnikov prometa je podano z enačbo (1)

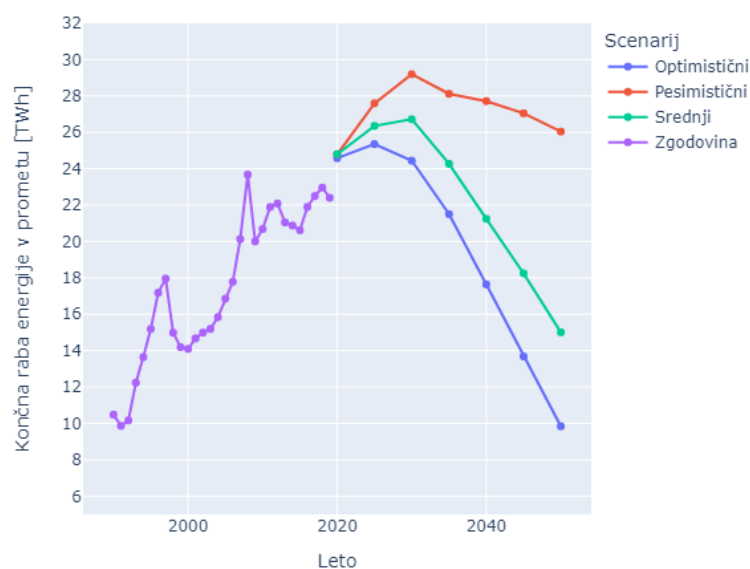
$$E_{promet} = F_a \cdot \sum_{i \in Tipi} SR_i \cdot \delta_i \cdot M_i , \quad (1)$$

kjer E_{promet} označuje končno porabo energije v prometu, F_a označuje faktor dejavnika avtonomnih vozil, SR_i specifično porabo posameznega prevoznega tipa, δ_i delež prevoznega

tipa v potniški mobilnosti ali tovornem prometu, M_i pa označuje vrednost celotne potniške mobilnosti v potniških kilometrih ali tovornega prometa v tovornih kilometrih (ustrezno glede na obravnavani prevozni tip).

Podatki o F_a so torej pridobljeni iz poglavja 4.1.5, podatki o SR_i iz tabele 1, podatki o deležih iz poglavij 4.1.4 in 4.1.3 ter podatka o potniški mobilnosti in tovornem prometu iz poglavij 4.1.1 in 4.1.2. Pri tem je pomembno poudariti, da so vrednosti potniške mobilnosti in tovornega prometa odvisne tudi od dejavnikov števila prebivalcev in gospodarske rasti, ki bosta opisana v poglavju 4.6. Primer združitve podatkov v kombiniranih scenarijih prometa, kjer so uporabljene fiksna realna rast BDP 2 % in deterministične napovedi prebivalstva (Statistični urad Republike Slovenije, 2019), je prikaza na sliki 20.

Slika 20: Končna poraba energije v prometu po kombiniranih scenarijih prometa



Vir: lastno delo.

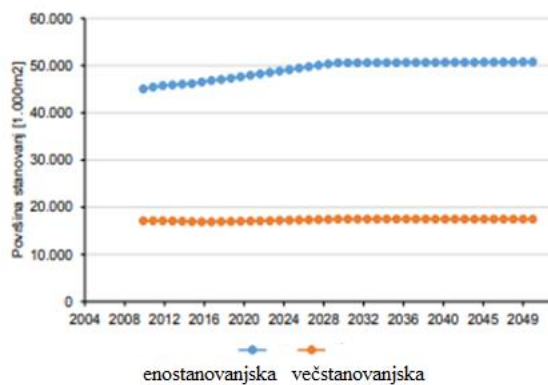
4.2 Ogrevanje

Na podlagi ugotovitev v podpoglavjih 2.2.2 in 3.3.2 je sektor gospodinjstev pomemben pri analizi pričakovanih sprememb porabe energije zaradi trajnostne preobrazbe energetskega sektorja. Pri gospodinjstvih se bom osredotočil na ogrevanje, saj so pričakovane spremembe tu najpomembnejše. Ogrevanje predstavlja tudi največji delež v energetske porabi gospodinjstev. Slovenska gospodinjstva so v letu 2019 porabila kar 63 % energije za ogrevanje prostorov (Agence de la transition écologique in drugi, 2022). V skladu z ugotovitvami iz poglavja 2.2.2 bodo obravnavani dejavniki v ogrevanju vključevali ogrevalno površino stavb, obnašanje uporabnikov ogrevalnih sistemov, prenove stavb ter prehod na sistem toplotnih črpalk in daljinsko ogrevanje. Izboljšanje energetske učinkovitosti bom upošteval tudi pri ogrevanju v terciarnem sektorju.

4.2.1 Ogrevalna površina stavb

Prvi od obravnavanih dejavnikov na področju ogrevanja je ogrevalna površina stavb. Napoved *Podnebne poti 2050* za ogrevavno površino stavb je vidna na sliki 21. Omenjene napovedi temeljijo na napovedih števila gospodinjstev, povprečnih velikosti gospodinjstev, številu naseljenih stanovanj in napovedi števila prebivalcev do leta 2050. Napovedi predvidevajo, da ogrevalna površina do leta 2030 raste s hitrostjo, primerljivo obdobju od 2004 dalje, od leta 2030 pa se rast ogrevalne površine ustavi. Leta 2019 je skupna ogrevalna površina stavb znašala blizu 65 milijonov kvadratnih metrov, napovedi *Podnebne poti 2050* v letu 2050 predpostavljajo ogrevavno površino blizu 68 milijonov kvadratnih metrov. V scenarijih *TYNDP 2022* napoved ogrevalne površine stavb za Slovenijo ni eksplicitno izpostavljena, zato analiza teh podatkov ni mogoča.

Slika 21: Napovedana ogrevalna površina stavb v gospodinjstvih v napovedi Podnebne poti 2050



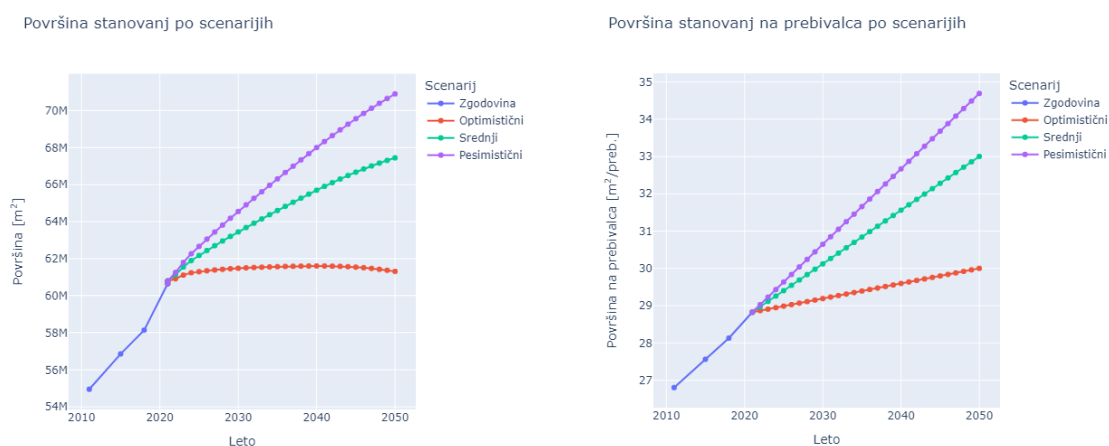
Vir: Urbančič in drugi (2020).

Da bi boljše zajel razpon mogočih vrednosti, predvsem pa odvisnost napovedi ogrevalne površine od demografskih napovedi, bo ogrevalna površina v magistrskem delu modelirana skozi ogrevavno površino stanovanj na prebivalca. Pri izdelavi scenarijev se bom opiral predvsem na strokovno literaturo in na zgodovinske podatke.

Privzetek *Pesimističnega* scenarija bo nadaljevanje povprečne rasti površine stanovanj na prebivalca zadnjih 10 let (Statistični urad Republike Slovenije, 2022b, 2022a). Razlog za spremembe je mogoče najti v zmanjševanju velikosti gospodinjstev, izboljšanju življenjskih standardov in povečevanju števila naseljenih stanovanj. Za *Optimistični* scenarij velja konvergenca k 30 m² na prebivalca, kar je blizu trenutnega povprečja površine stanovanj na prebivalca na globalnem severu in velja za optimistično oceno površine stanovanj na prebivalca v letu 2050 v dolgoročnih energetske scenarijih z nizko porabo energije (Grubler in drugi, 2018). Pri oblikovanju *Srednjega* scenarija je predvidenih 33 m² na prebivalca v letu 2050. Pri upoštevanju enakih demografskih napovedi, kot so bile uporabljene v napovedih *Podnebne poti 2050*, ki predpostavljajo 2,05 milijona prebivalcev Slovenije v letu

2050 (Statistični urad Republike Slovenije, 2019), je dobljena končna skupna ogrevalna površina stanovanj 67,5 milijona m². Napovedi *Srednjega* scenarija so torej po površini stanovanj na prebivalca podobne napovedim *Podnebne poti 2050*. Scenariji površine stanovanj na prebivalca in celotne površine stanovanj v magistrskem delu so prikazani na sliki 22. V prikazanih scenarijih so privzete omenjene demografske napovedi, zato se bodo končne vrednosti površine stanovanj v teh scenarijih razlikovale z upoštevanjem dejavnika števila prebivalcev v poglavju 4.6.2. V *Optimističnem* scenariju bo vrednost števila prebivalcev znašala 1,89 milijona, v *Srednjem* scenariju 2,01 milijona in v *Pesimističnem* scenariju 2,13 milijona prebivalcev.

Slika 22: Scenariji površine stanovanj na prebivalca in celotne površine stanovanj pri demografskih napovedih Statističnega urada Republike Slovenije



Vir: lastno delo na podlagi Statističnega urada Republike Slovenije (2019).

4.2.2 Obnašanje uporabnikov ogrevalnih sistemov

Drugi dejavnik končne porabe energije v ogrevanju je obnašanje uporabnikov ogrevalnih sistemov. Na področju ogrevanja v gospodinjstvih velja, da lahko ozaveščeni potrošniki zmanjšujejo končno porabo energije s spremembami obnašanja in zmanjševanjem temperaturnega udobja (CAN Europe, 2020; González-Torres in drugi, 2022; Schweiker in Shukuya, 2010).

Podnebna pot 2050 predvideva, da lahko gospodinjstva do leta 2050 s pomočjo večje ozaveščenosti in podrobnejšega spremljanja porabe energije zmanjšajo učinek faktorja obnašanja z 1,5 na 1,3, kar predstavlja 15 % zmanjšanje porabe zaradi tega razloga. Faktor obnašanja, kot je definiran v *Podnebni poti 2050*, je tudi v letu 2050 večji od 1, saj v napovedih vključuje tudi povratne učinke zaradi povečane učinkovitosti. Povratne učinke bom v magistrskem delu obravnaval skupaj z izboljšanjem energetske učinkovitosti v poglavju 4.2.3. Napoved 15 % zmanjšanja porabe energije zaradi sprememb v obnašanju potrošnikov bom upošteval v *Srednjem* scenariju magistrskega dela. Za *Optimistični* scenarij

se bom oprl na ocene potenciala, ki ga ima zmanjšanje temperaturnega udobja na končno porabo energije v ogrevanju. Učinek zmanjšanja sobne temperature je ocenjen na 25 % do 30 % zmanjšanje končne porabe energije (Schweiker in Shukuya, 2010). V *Pesimističnem* scenariju bom predvideval, da sprememb v potrošnji energije za ogrevanje zaradi obnašanja potrošnikov ni. *Pesimistični* scenarij, ki ne vključuje vrednosti večjih od 1, je smiseln, ker so povratni učinki zaradi povečane učinkovitosti upoštevani v poglavju 4.2.3. Dodatno bom v omenjenem poglavju upošteval saturacijo ogrevalnih potreb in zagotovitev splošnega ogrevalnega udobja. Ta predpostavka zamejuje koristi od dodatne porabe energije v ogrevanju (Johansson in drugi, 2012). Scenariji faktorja obnašanja v ogrevanju gospodinjstev v scenarijih magistrskega dela so prikazani na sliki 23.

Slika 23: Scenariji faktorja obnašanja v ogrevanju gospodinjstev



Vir: lastno delo.

4.2.3 Prenove stavb, prehod na sistem toplotnih črpalk in daljinsko ogrevanje

Tretji dejavnik sprememb v končni porabi energije v ogrevanju je izboljšanje energetske učinkovitosti, ki lahko v okviru trajnostne preobrazbe nastopi predvsem zaradi prenov stavb in prehoda na učinkovitejšo tehnologije v ogrevanju.

Med pomembne vire povečanja energetske učinkovitosti ogrevanja sodijo preнове stavb. Tu velja omeniti posege, kot so zamenjava oken, nadgradnja stenske izolacije v prenovah, dodajanje izolacije ob prenovah streh in vpeljava kontrolirane ventilacije z ohranitvijo toplote (kar omejuje nekontrolirano in nepotrebno izmenjavo notranjega zraka z zunanjim). Takšni ukrepi lahko pri zgradbah, zgrajenih pred letom 1950, zmanjšajo končno porabo energije za ogrevanje tudi za 85 % (Johansson in drugi, 2012). V scenarijih *Podnebne poti 2050* je načrtovana letna stopnja prenov stavb v scenariju *OU* 1,75 %, v scenariju *DU* 2,25 %, v scenariju *DUA* pa 2,75 % (Urbančič in drugi, 2020). To se ujema z napovedmi visokih

stopenj prenov v strokovni literaturi, ki stopnjo prenov postavlja okoli 3 % (DNV, 2022; Johansson in drugi, 2012). V poročilih scenarijev *TYNDP 2022* stopnja prenov ni eksplicitno izpostavljena, je pa prenova stavb omenjena kot eden od dejavnikov povečevanja učinkovitosti v ogrevanju stavb (ENTSOE in ENTSOG, 2021).

Drugi vir mogočega izboljšanja v ogrevalni učinkovitosti je sprememba ogrevalnih sistemov, kjer novejša tehnologija prinašajo povečane učinkovitosti. Široka uporaba toplotnih črpalk lahko močno zmanjša končno porabo energije, saj so v primerjavi s plinskimi kotli približno trikrat učinkovitejše (Eyre, 2021). Tako scenariji *TYNDP 2022* kot scenariji *Podnebne poti 2050* predvidevajo močno povečanje porabe toplotnih črpalk do leta 2050. V scenariju *Porazdeljena energija* je tržni delež toplotnih črpalk 34 %, v scenariju *Globalni napor* pa 31 % (ENTSOE in ENTSOG, 2021). Podobne deleže predvidevajo tudi scenariji *Podnebne poti 2050*, kjer je delež geotermalne energije v koristni energiji 27 % za scenarij *OU* in 29 % za scenarij *DUA* (Urbančič in drugi, 2020).

Poleg široke porabe toplotnih črpalk lahko do povečanja energetske učinkovitosti pride zaradi povečevanja deleža daljinskega ogrevanja in souporabe toplotne energije. V scenariju *DUA* se delež priklopov na daljinsko ogrevanje s 5,5 % v letu 2017 poveča na 23,2 % v letu 2050 (Urbančič in drugi, 2020). Priklopi na daljinsko ogrevanje so predvideni predvsem pri večstanovanjskih stavbah, kjer je namestitev toplotnih črpalk težavnejša. Visoka deleža daljinskega ogrevanja sta predvidena tudi v scenarijih *Porazdeljena energija* in *Globalni napor*, kjer sta predvidena deleža 24 % in 17 % (ENTSOE in ENTSOG, 2021). Ocenjevanje vpliva daljinskega ogrevanja na končno porabo energije je zapletenejše od ocenjevanja učinka toplotnih črpalk, saj pri daljinskem ogrevanju ne gre le za enostavno povečanje pretvorbenih učinkovitosti. Glavni razlogi za povečanje učinkovitosti pri prehodu na sisteme daljinskega ogrevanja so možnost uporabe učinkovitih tehnologij tudi v večstanovanjskih stavbah (daljinsko ogrevanje z izkoriščanjem toplote okolja) (ENTSOE in ENTSOG, 2021), pa tudi možnosti souporabe toplote in uporabe odvečne toplote iz industrije (Kvarnström, 2019). Dodatno so lahko sistemi daljinskega ogrevanja učinkovitejši že zaradi centralne proizvodnje v primerjavi z individualno proizvodnjo toplote (Lambert, 2023).

Čeprav bi bilo zanimivo ločeno ocenjevati učinke posameznih ukrepov na področju učinkovitosti stavb, bo obravnavanje teh dejavnikov v magistrskem delu skupna. Razlog za skupno obravnavo je predvsem v zapletenosti modeliranja ločenih dejavnikov. Prenove stavb je namreč težko strogo ločevati od namestitev novih ogrevalnih sistemov. Vključitev nekaterih večstanovanjskih stavb v sisteme daljinskega ogrevanja lahko pogosto zahteva širšo stavbno preno. Dodatno so ogrevalni sistemi in njihova energetska učinkovitost odvisni od drugih lastnosti stavbe, kjer pogosto prihaja do sinergij in kompromisov (Johansson in drugi, 2012). Ob tem velja poudariti, da je celostna obravnavanje energetske učinkovitosti v ogrevanju tudi bolj skladna s pristopom EU na tem področju, ki namesto osredotočenosti na posamezne komponente svoje cilje oblikuje na podlagi skupne učinkovitosti celotnega sistema (Evropska komisija, 2023a; Johansson in drugi, 2012). Dodatno je izboljšanje energetske učinkovitosti zaradi povečanega deleža daljinskega

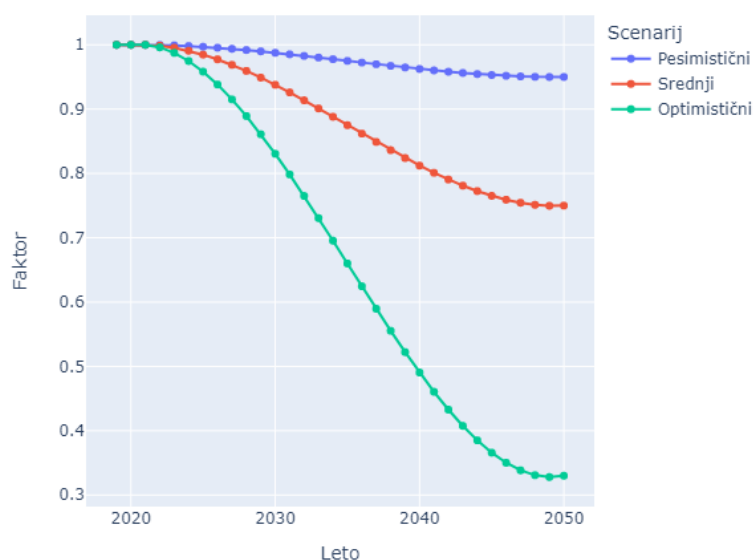
ogrevanja odvisno od uporabljenih tehnologij (tako obstoječih kot potencialnih), podatki o razmerjih med učinkovitostmi posameznih tehnologij pa so skopi predvsem zaradi nizke razširjenosti različnih sistemov daljinskega ogrevanja. Individualno ocenjevanje dejavnikov še dodatno zaplete prisotnost povratnih učinkov, ki jih je tudi težko obravnavati ločeno od izboljšanja energetske učinkovitosti, saj ti nastopijo kot njihova posledica.

Namesto ocenjevanja učinka posameznih komponent izboljšanja energetske učinkovitosti ogrevanja se bom v magistrskem delu osredotočil na skupno izboljšanje energetske učinkovitosti, pri čemer dovoljujem součinkovanje različnih dejavnikov. Izbran pristop bo skladen z metodologijo, ki je uporabljena v poročilu *Global Energy Assessment* iz leta 2012 (Johansson in drugi, 2012). To poročilo kot alternativo ločenemu ocenjevanju vpliva posameznih komponent energetske učinkovitosti stavb predvideva sistemsko približevanje celotnega stavbnega fonda različnim energetskim standardom. Skupaj z zviševanjem energetskih standardov metodologija predpostavlja popolno odpravo energetske revščine do leta 2050, kar pomeni ustrezno upoštevanje možnosti povratnih učinkov zaradi povečanja energetske učinkovitosti (Johansson in drugi, 2012). Eden glavnih rezultatov analize *Global Energy Assessment* je ugotovitev, da lahko razlike v energetskih standardih pripeljejo do visokih razlik v končni porabi energije za ogrevanje. Predpostavka širokih ukrepov, ki pa za energetske standarde ne postavljajo dovolj ambicioznih ciljev, lahko pripelje do visokih učinkov vklenitve učinkovitostnih izgub. Do pojava vklenitve učinkovitostnih izgub prihaja, kadar prenovljene stavbe ne ustrezajo najnovejšim in najvišjim energetskim standardom. Ker so preнове stavb redke, lahko stavbe, ki so bile prenovljene z neoptimalnimi standardi, dolgoročno predstavljajo velike izgube v energetski učinkovitosti in povečujejo porabo energije. Zaradi široke preнове stavb z neoptimalnimi energetskimi standardi je lahko na svetovni ravni končna poraba energije za ogrevanje v letu 2050 celo 80 % višja kot ob predpostavki najstrožjih energetskih standardov, v Zahodni Evropi pa lahko pomeni razliko med 25 % in 65 % zmanjšanja končne porabe energije za ogrevanje (Johansson in drugi, 2012). Problematičnost prenov z neoptimalnimi tehničnimi standardi energetske učinkovitosti je omenjena tudi v poročilu *Podnebne poti 2050*, vendar tema ni podrobno raziskana (Urbančič in drugi, 2020).

Na sliki 24 so predstavljeni scenariji faktorja energetske učinkovitosti ogrevanja. V *Pesimističnem* scenariju magistrskega dela bom upošteval 5 % zmanjšanje končne porabe energije, kar pomeni faktor energetske učinkovitosti 0,95. Izboljšanje v energetski učinkovitosti je tukaj manjše zaradi odprave energetske revščine in neoptimalnih energetskih standardov stavbnega fonda v letu 2050. Uporabljeno zmanjšanje je nekoliko bolj optimistično od napovedi, ki ob pod-optimalnih pogojih veljajo v Vzhodni Evropi (Johansson in drugi, 2012). Za delitev končne porabe energije v ogrevanju na vire energije bom v tem scenariju predpostavljaj deleže, ki veljajo v referenčnem letu scenarijev *TYNDP 2022*, letu 2015. V *Srednjem* scenariju predpostavljaj 25 % zmanjšanje končne porabe energije v ogrevanju zaradi povečane učinkovitosti. Ta scenarij daje v ogrevanju podobne (sicer malenkost višje) rezultate kot scenarij *Globalni napor*. Pri deležih končne porabe

energije v ogrevanju po virih energije so v *Srednjem* scenariju uporabljeni deleži iz scenarija *Globalni napor*. V *Optimističnem* scenariju je upoštevano 65 % izboljšanje energetske učinkovitosti, kot predvidevajo ambiciozne napovedi v *Global Energy Assessment*. V literaturi je sicer mogoče zaslediti tudi do 75 % izboljšanje v energetske učinkovitosti (Grubler in drugi, 2018), vendar to izboljšanje velja za širše geografsko območje, globalni sever, predvideni ukrepi pa niso podrobno predstavljeni. Za delitev porabe po virih energije so pri *Optimističnem* scenariju uporabljeni deleži iz scenarija *Porazdeljena energija*.

Slika 24: Scenariji faktorja energetske učinkovitosti ogrevanja



Vir: lastno delo na podlagi ENTSOE in ENTSG (2021), Johansson in drugi (2012) ter Urbančič in drugi (2020).

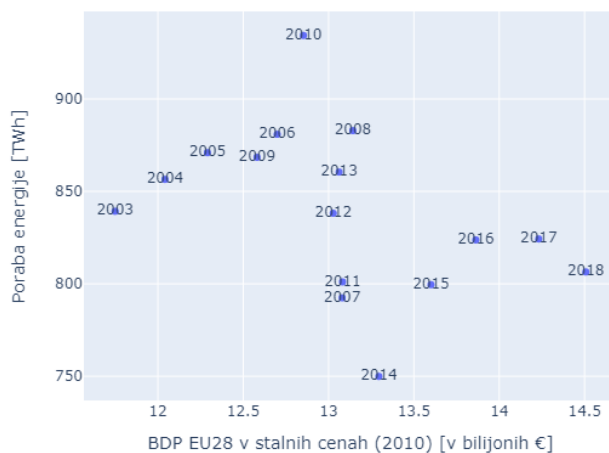
4.2.4 Ogrevanje v terciarnem sektorju

Poleg gospodinjstev je ogrevanje pomemben del končne porabe energije tudi v terciarnem sektorju. V terciarnem sektorju se bom namesto na ogrevalno površino in obnašanje uporabnikov osredotočil na povezavo z gospodarsko rastjo. Zaradi pomanjkanja zgodovinskih podatkov za Slovenijo se pri tej povezavi osredotočim na povprečje EU28. Na sliki 25 sta vidna poraba energije v ogrevanju terciarnega sektorja in BDP EU28 v stalnih cenah iz leta 2010. Čeprav se zdi, da je pred letom 2010 veljala pozitivna povezava med tema dvema spremenljivkama, je ta povezava v zadnjih letih pojenjala. Ta ugotovitev je konsistentna s strokovno literaturo, ki omenja razdružitev ogrevalne porabe od rasti BDP v evropskih državah (González-Torres in drugi, 2022). V magistrskem delu bom torej predpostavljajal, da med BDP in ogrevalno porabo terciarnega sektorja ni povezave.

Upoštevano izboljšanje energetske učinkovitosti ogrevanja terciarnega sektorja bodo enaki kot v gospodinjstvih v poglavju 4.2.3 (5 %, 25 % in 65 %). Podobno kot pri gospodinjstvih, bom tudi pri terciarnem sektorju za določanje deležev različnih energetskih

virov uporabil stanje v referenčnem letu scenarijev *TYNDP 2022* za izdelavo *Pesimističnega* scenarija, deleže iz scenarija *Porazdeljena energija* za izdelavo *Optimističnega* in deleže iz scenarija *Globalni napor* za izdelavo *Srednjega* scenarija.

Slika 25: Poraba energije v ogrevanju terciarnega sektorja in BDP



Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022) ter Eurostat (2023a).

4.2.5 Združevanje dejavnikov v ogrevanju

Za združevanje dejavnikov v ogrevanju (iz poglavij od 4.2.1 do 4.2.4) uporabimo enačbi (2) in (3), kjer se prva nanaša na končno porabo energije v ogrevanju gospodinjstev, druga pa na končno porabo energije v ogrevanju terciarnega sektorja.

$$E_{gosp.} = \frac{P}{P_{ref}} \cdot F_u \cdot F_o \cdot E_{gosp.}^{ref} \quad (2)$$

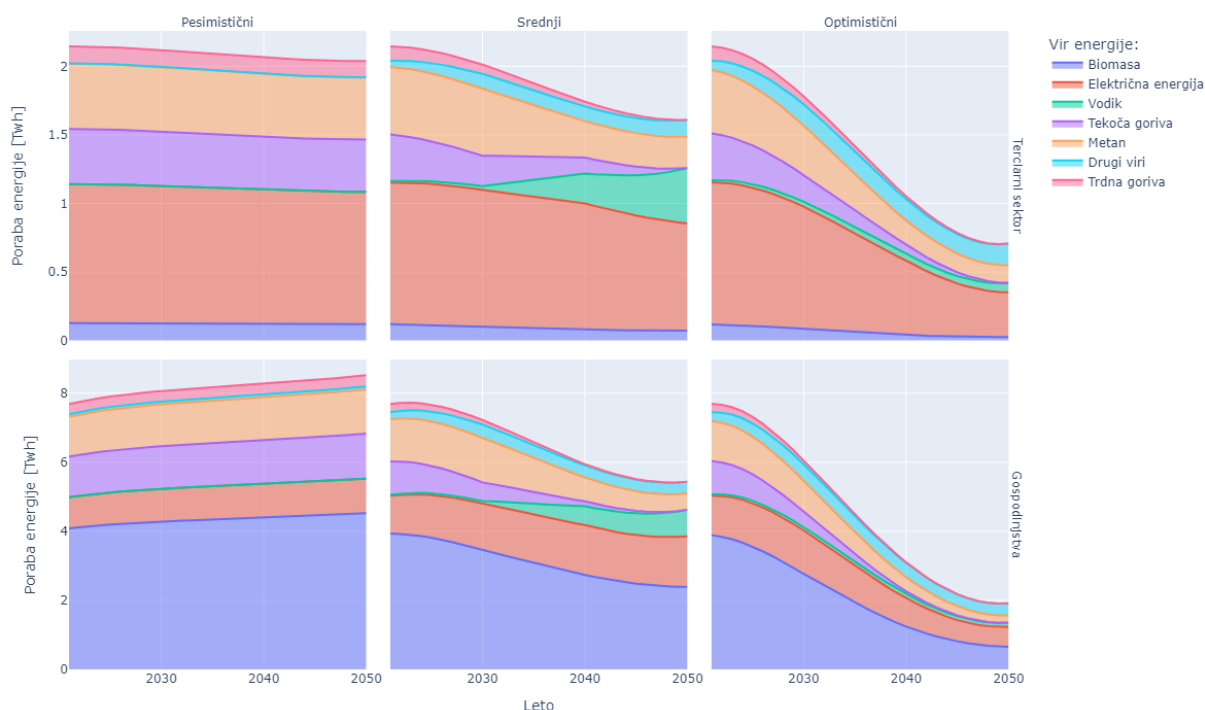
$$E_{terc.} = F_u \cdot E_{terc.}^{ref} \quad (3)$$

Pomen uporabljenih oznak je sledeč: $E_{gosp.}$ označuje končno porabo energije v ogrevanju gospodinjstev, P celotno ogrevalno površino v gospodinjstvih, $P_{ref.}$ ogrevalno površino referenčnega leta, F_u faktor energetske učinkovitosti, F_o faktor obnašanja, $E_{gosp.}^{ref}$ končno porabo energije v ogrevanju gospodinjstev v referenčnem letu, $E_{terc.}$ končno porabo energije v ogrevanju terciarnega sektorja in $E_{terc.}^{ref}$ končno porabo energije v ogrevanju terciarnega sektorja v referenčnem letu. Končni porabi energije, $E_{gosp.}$ in $E_{terc.}$, sta v scenarijih razdeljeni na energetske vire po deležih, ki so opisani v poglavjih 4.2.3 in 4.2.4.

Podatki o P so torej pridobljeni iz poglavja 4.2.1, podatki o F_o iz poglavja 4.2.2 in podatki o F_u iz poglavja 4.2.3. Podobno kot v obravnavi dejavnikov v prometu izpostavljam, da je P , ogrevalna površina v gospodinjstvih, odvisna tudi od demografskih sprememb, ki bodo opisane v poglavju 4.6.2. Primer združitve podatkov v kombiniranih scenarijih ogrevanja v

gospodinjstvih in v terciarnem sektorju, kjer so uporabljene deterministične napovedi prebivalstva (Statistični urad Republike Slovenije, 2019), je podan na sliki 26. Na sliki so vidne tudi spremembe v uporabljenih virih energije v *Optimističnem* in *Srednjem* scenariju. V *Optimističnem* scenariju so padci porabe energije večji predvsem zaradi večje energetske učinkovitosti v ogrevanju. V tem scenariju je v letu 2050 poraba gospodinjstev za ogrevanje 2,0 GWh, v terciarnem sektorju pa 0,7 GWh. V *Srednjem* scenariju je poraba gospodinjstev za ogrevanje 5,5 GWh, poraba terciarnega sektorja pa 1,6 GWh. Vrednosti *Pesimističnega* scenarija so 8,6 GWh in 2,0 GWh. V *Srednjem* in *Optimističnem* scenariju se 13 % delež tekočih goriv nadomesti s povečanjem deležev električne energije (30 % v *Optimističnem* in 27 % v *Srednjem* scenariju) in vodika (6 % v *Optimističnem* in 14 % v *Srednjem* scenariju).

Slika 26: Končna poraba energije v ogrevanju po kombiniranih scenarijih ogrevanja in virih energije



Vir: lastno delo na podlagi Statističnega urada Republike Slovenije (2019).

4.3 Električne naprave in razsvetljava gospodinjstev

Poleg dejavnikov sprememb v prometu in ogrevanju je mogoče do leta 2050 pričakovati tudi spremembe v porabi električnih naprav gospodinjstev. Na sliki 27 je vidna primerjava končne porabe energije električnih naprav gospodinjstev v EU. Vidno je, da je bila v zadnjem desetletju končna poraba energije na prebivalca v tem sektorju relativno konstantna, dodatno pa velja, da je slovenska končna poraba blizu evropskemu povprečju. V tem sektorju torej ne gre pričakovati večjih sprememb zaradi vpeljave ukrepov in navad, ki so že v veljavi v preostalih evropskih državah. Ob upoštevanju konstantnosti zgodovinske porabe energije

v tem sektorju je mogoče predpostaviti konstantno porabo tudi v prihodnje, če odmislimo spremembe zaradi potreb po trajnostni preobrazbi. Osredotočil se bom torej predvsem na predvideno izboljšanje energetske učinkovitosti in na posledično zmanjševanje končne porabe energije.

Slika 27: Primerjava končne porabe energije električnih naprav gospodinjstev v EU



Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022).

V scenarijih *Podnebne poti 2050* lahko vidimo napovedi različnih stopenj povečanja učinkovitosti. Pri gospodinski porabi električnih naprav so energetske prihranki v letu 2050 v primerjavi z referenčnim letom 31 % v scenariju *DUA*, 28 % v scenariju *DU* in 12 % v scenariju *OU*. Pri porabi energije za razsvetljavo so napovedi sprememb drugačne. V scenariju *OU* je predvideno povečanje porabe energije za 20 %, v scenariju *DU* zmanjšanje za 20 %, v scenariju *DUA* pa zmanjšanje za 50 %. Ker je poraba v razsvetljavi mnogo manjša od porabe v električnih napravah, omenjene spremembe pomenijo skupno 33 %, 27 % in 7 % zmanjšanje končne porabe energije v obravnavanem sektorju. Scenarija *TYNDP 2022* sta si z vidika končne porabe v sektorju identična in predpostavljata zmanjšanje za 16 %, kar je manj od scenarija *DU* in več od scenarija *OU*.

V strokovni literaturi je sicer mogoče zaslediti tudi drugačne predpostavke v sektorju. Kljub izboljšavam na področju energetske učinkovitosti (12 %), se končna poraba energije električnih naprav poveča zaradi predpostavke podvojitve razširjenosti električnih naprav na globalnem severu (Grubler in drugi, 2018). Podvojitve električnih naprav v Sloveniji sicer ne gre pričakovati ob upoštevanju konstantne porabe energije v zadnjem desetletju, vseeno pa je mogoče manjše povečanje predvidevati zaradi povečane digitalizacije. Dodatno je treba upoštevati možnost povratnih učinkov. Na sliki 28 so prikazani indeksi energetske učinkovitosti električnih naprav v Sloveniji med letoma 2006 in 2019. Pri vseh opazovanih električnih napravah lahko opazimo več kot 10 % izboljšanje v energetske učinkovitosti, največje pa pri sušilnih strojih, kjer je to izboljšanje kar 46 %. Kljub izboljšanju v energetske učinkovitosti pa slika 27 kaže na izničenje izboljšanja v učinkovitosti zaradi povratnih učinkov povečane porabe. Zaradi povratnih učinkov je zmanjšanje porabe energije

električnih naprav v nekaterih dolgoročnih napovedih porabe energije v Evropi manj izrazito ter ocenjeno na 3 % (DNV, 2022) in 6 % (Johansson in drugi, 2012).

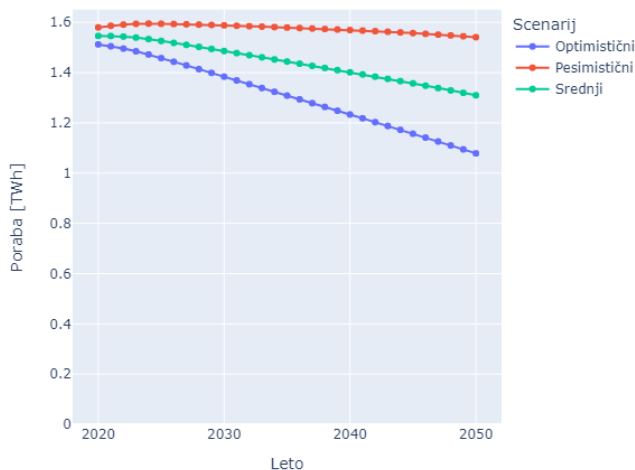
Slika 28: Indeksi energetske učinkovitosti električnih naprav v Sloveniji



Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022).

Za *Optimistični* scenarij magistrskega dela bom vzela zmanjšanje v končni porabi električnih naprav gospodinjstev na prebivalca za 30 %, upoštevajoč predvidevanja scenarija *DUA*. Za *Srednji* scenarij se bom oprla na napovedi *TYNDP 2022* in napovedoval 15 % zmanjšanje končne porabe energije. Za *Pesimistični* scenarij bom upošteval razvoj porabe v sektorju, kjer povratni učinki povsem izničijo izboljšanje energetske učinkovitosti, kar je skladno z zgodovinskimi podatki in pesimističnimi napovedmi razvoja sektorja (DNV, 2022; Grubler in drugi, 2018). Uporabljeni scenariji v sektorju so vidni na sliki 29, pri čemer so za število prebivalcev uporabljene demografske napovedi Statističnega Urada Republike Slovenije (Statistični urad Republike Slovenije, 2019).

Slika 29: Scenariji končne porabe energije električnih naprav gospodinjstev ob upoštevanju demografskih napovedih Statističnega Urada Republike Slovenije



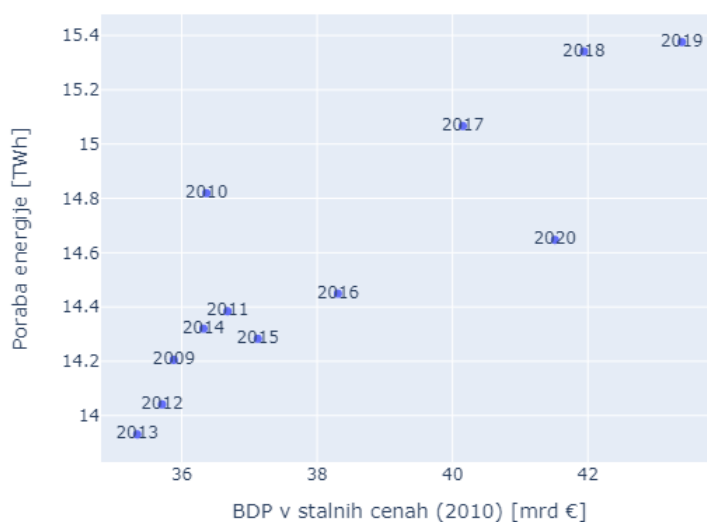
Vir: lastno delo na podlagi Statističnega urada Republike Slovenije (2019).

4.4 Industrija

V poglavju 3.3.2 je bilo ugotovljeno, da je sektor industrije poleg sektorja gospodinjstev in prometa tudi sektor, kjer lahko trajnostna preobrazba energetskega sistema prinese spremembe v končni porabi energije v Sloveniji do leta 2050. Na področju industrije je mogoče opisati predvidene spremembe z ločenimi napovedmi za aktivnost in energetska intenzivnost sektorja industrije (Grubler in drugi, 2018; IEA, 2017b; Urbančič in drugi, 2020). Podobno kot v scenarijih *Podnebne poti 2050*, bom tudi v magistrskem delu aktivnost sektorja ocenjeval s pomočjo napovedi gospodarske rasti. Uporabljena metoda v magistrskem delu ne bo enaka, ker so v scenarijih *Podnebne poti 2050* uporabljeni individualni modeli za napovedovanje proizvodnje energetske intenzivnih panog (Urbančič in drugi, 2020). Ker so uporabljene napovedi deterministične, uporabljeni modeli pa niso natančno opisani, so napovedi za potrebe magistrskega dela neponovljive.

Zgodovinska primerjava končne porabe energije v slovenski industriji in BDP v stalnih cenah iz leta 2010 je vidna na sliki 30. Opaziti je mogoče, da je povezava med gospodarsko rastjo in porabo energije v industriji močna zdi pa se, da povezava ni linearna, ampak je pri višjih vrednostih BDP vpliv na končno rabo energije manjši.

Slika 30: Primerjava končne porabe energije v industriji in BDP v stalnih cenah iz leta 2010



Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022) ter Eurostat (2023a).

Za napoved aktivnosti bom uporabil enačbo (4), kjer $E_{aktivnost}$ označuje faktor aktivnosti v končni porabi energije industrije. Ta faktor predstavlja končno porabo energije v industriji brez dodatnega izboljšanja v energetske učinkovitosti zaradi trajnostne preobrazbe. Za ocenjevanje koeficientov te enačbe je uporabljena linearna regresija, izvedena na logaritemski enačbi (5). Iz regresije je zaradi pandemije odstranjeno leto 2020.

$$E_{aktivnost} \approx \alpha \cdot BDP^\beta \quad (4)$$

$$\log(E_{aktivnost}) = \bar{\alpha} + \beta \cdot \log(BDP) + \varepsilon \quad (5)$$

Rezultati regresije so predstavljeni v tabeli 3. Tudi tu je bila uporabljena le ena pojasnjevalna spremenljivka, vendar lahko zaradi visokega R^2 sklepamo, da BDP pojasnjuje velik del variance v porabi energije v industriji. Pridobljene rezultate bom uporabil za dolgoročno napovedovanje aktivnosti sektorja. Pri tem bom upošteval variabilni dejavnik gospodarske rasti, kot bo opisan v poglavju 4.6.1. V literaturi je mogoče zaslediti tudi scenarije, kjer se industrijska aktivnost na globalnem severu do leta 2050 zmanjša za 36 % (Grubler in drugi, 2018), vendar so takšna občutna zmanjšanja aktivnosti verjetna le ob hkratni gospodarski recesiji.

Tabela 3: Rezultati regresijske enačbe (5)

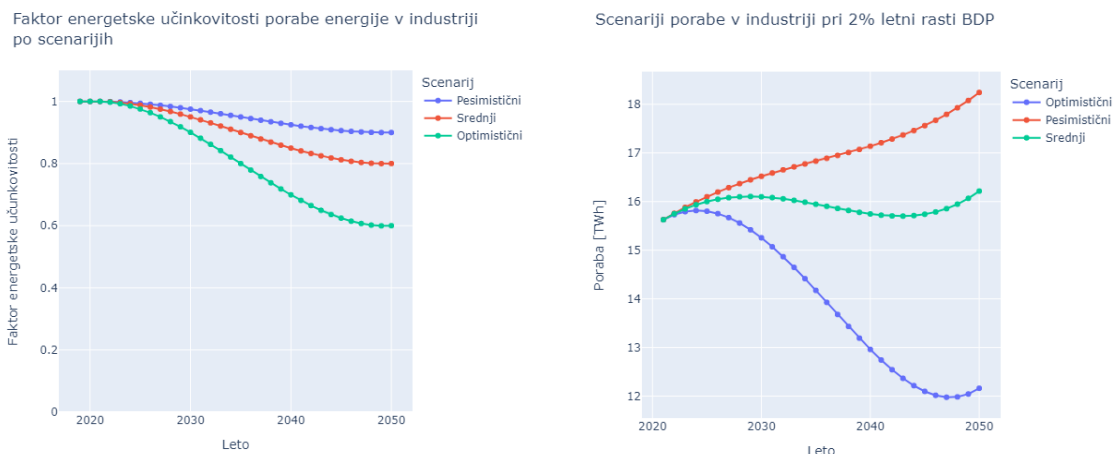
	Koeficient	Standardna napaka	t-statistika	P-vrednost
Konstanta	1,0322	0,245	4,211	0,002
Log BDP	0,4530	0,067	6,716	$0,9 \cdot 10^{-5}$
R^2			0,834	
Popravljeni R^2			0,815	

Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022) ter Eurostat (2023a).

Poleg sprememb v faktorju aktivnosti industrije bo pomembna determinanta končne porabe energije v slovenski industriji do leta 2050 tudi sprememba učinkovitosti porabe energije. To je vidno tudi iz različnih scenarijev *Podnebne poti 2050*. V scenariju *OU* je napovedana končna poraba 18,2 TWh, kar je blizu vrednosti 18,5 TWh, pridobljeni z opisanim regresijskim modelom ob enakih predpostavkah gospodarske rasti. V scenariju *DU* je poraba energije enaka 16,1 TWh, v scenariju *DUA* pa 14,6 TWh. Te končne porabe pomenijo približno 12 % in 20 % zmanjšanje končne porabe zaradi dodatnega izboljšanja energetske učinkovitosti. Končni porabi energije v industriji scenarijev *TYNDP 2022* sta 14,3 TWh in 13,7 TWh. To pomeni 31 % izboljšanje učinkovitosti v scenariju *Porazdeljena energija* v primerjavi s scenarijem *OU* in 33 % izboljšanje v primerjavi z napovedmi regresijskega modela. Za scenarij *Globalni napor* sta ti vrednosti enaki 34 % in 36 %. Čeprav se zdijo ti energetske prihranki visoki, lahko v ambicioznih scenarijih strokovne literature zasledimo tudi energetske prihranke med 32 % in 40 % zaradi povečane energetske učinkovitosti (Grubler in drugi, 2018; IEA, 2017b). Povečanje učinkovitosti do leta 2050 bo v magistrskem delu 10 % za *Pesimistični* scenarij, 20 % za *Srednji* scenarij in 40 % za *Optimistični* scenarij. Vrednosti 10 % in 40 % zamejujejo vrednosti energetskih prihrankov, ki jih je mogoče zaslediti v strokovni literaturi. Vrednost 20 %, privzeta v *Srednjem* scenariju, predstavlja energetske prihranke, ki so privzeti v scenariju *DUA Podnebne poti 2050*. Za delitev na energetske vire bom tudi tu, kot v poglavjih 4.2.3 in 4.2.4, uporabil scenarija *Porazdeljena energija* in *Globalni napor* ter stanje v referenčnem letu 2015.

Faktorji učinkovitosti in končne porabe energije v industriji ob predpostavki 2 % realne gospodarske rasti so prikazani na sliki 31.

Slika 31: Scenariji faktorja energetske učinkovitosti (levo) in končne porabe energije v industriji, ob predpostavki 2 % realne gospodarske rasti (desno)



Vir: lastno delo na podlagi Agence de la transition écologique in drugi (2022), Eurostat (2023a), ENTSOE in ENTSG (2021), Grubler in drugi (2018) in Urbančič in drugi (2020).

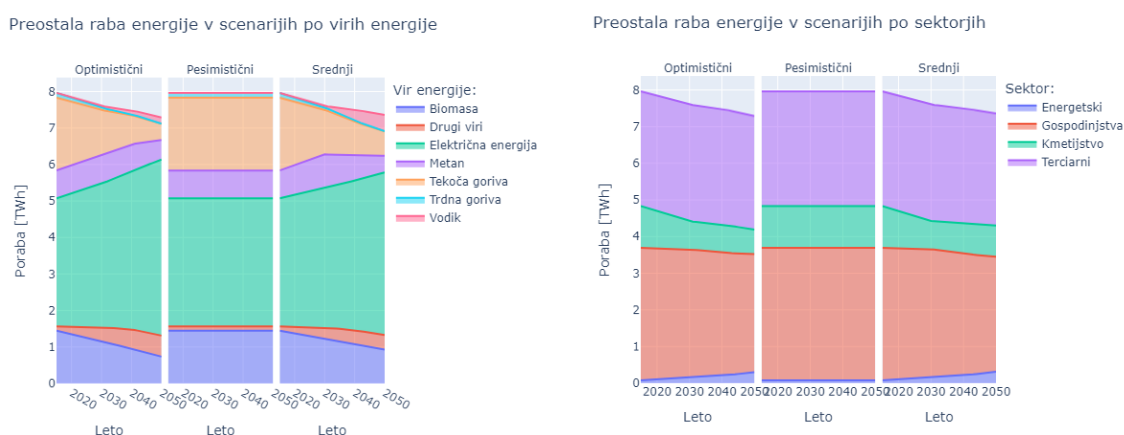
4.5 Preostala končna poraba energije

V poglavjih med 4.1 in 4.4 so predstavljena področja porabe energije, kjer so pričakovane največje spremembe do leta 2050. Vseeno pa predstavljena področja ne pokrivajo celotne porabe energije v Sloveniji. Preostalo porabo energije bom v magistrskem delu obravnaval skupaj, čeprav obsega številna področja. V gospodinjstvih preostala poraba obsega porabo za kuhanje, hlajenje in segrevanje vode. V terciarnem sektorju obsega kuhanje, hlajenje, segrevanje vode in porabo električnih naprav. Dodatno obsega preostala poraba energije še energetske sektor in sektor kmetijstva. Pri tem se bom opiral predvsem na scenarija *TYNDP 2022*, saj so napovedi *Podnebne poti 2050* dane le po sektorjih in energetskih virih in ne ločujejo med različnimi nameni porabe (kot je na primer ogrevanje v sektorju porabe gospodinjstev). Napovedi *Podnebne poti 2050* niso dovolj natančne, da bi lahko pridobil napovedi za skupino preostale porabe energije, kot je definirana v magistrskem delu. Za *Optimistični* scenarij bom v magistrskem delu za preostalo končno porabo energije uporabil podatke iz scenarija *Porazdeljena energija*, za *Srednji scenarij* pa podatke iz *Globalni napor*. Ker so napovedi *TYNDP 2022* ambiciozne in predpostavljajo visoko povečanje energetske učinkovitosti na vseh področjih, bodo v *Pesimističnem* scenariju vzeti podatki iz referenčnega leta scenarijev *TYNDP 2022*, leta 2015.

Scenariji magistrskega dela za dejavnik preostale porabe so prikazani na sliki 32. Večji delež v preostalih dejavnikih predstavljajo poraba energije terciarnega in gospodinjanskega sektorja.

V terciarnem sektorju so predhodni dejavniki pokrivali le področje ogrevanja prostorov, v gospodinjstvih pa dodatno še porabo električnih naprav. S slike je vidno, da so predvidene spremembe na področju preostale energije manjše od sprememb, ki so bile obravnavane v sklopu predhodnih dejavnikov. Zmanjšanje je v *Srednjem* in *Optimističnem* scenariju predvideno predvsem pri kmetijstvu, nekaj pa tudi v porabi gospodinjstev. Spremembe v preostali porabi skupaj predstavljajo približno 10 % zmanjšanje v primerjavi z letom 2015. Absolutno gledano so razlike med posameznimi scenariji manjše od 1 TWh, kar podpira manj podrobno obravnavo teh vidikov končne porabe energije.

Slika 32: Scenariji preostale porabe energije po sektorjih in po energetskih virih



Vir: lastno delo na podlagi ENTSOE in ENTSOG (2021).

4.6 Zunanji dejavniki

V magistrskem delu sem doslej obravnaval predvsem dejavnike, ki imajo neposredno povezavo s spremembami virov energije in izboljšanjem energetske učinkovitosti. Ti dejavniki so imeli s trajnostno preobrazbo energetskega sektorja neposredno povezavo. Na drugi strani je nekaj dejavnikov končne porabe energije takšnih, da je njihova povezava s trajnostno preobrazbo manj neposredna, zato jih bom v magistrskem delu obravnaval kot zunanje dejavnike, ki bodo vplivali na porabo energije preko povezav z že opisanimi sektorji. Takšna dejavnika sta gospodarska rast in demografske spremembe.

Čeprav sta omenjena dejavnika v magistrskem delu obravnavana kot zunanja, to še ne pomeni, da trajnostna preobrazba ne more vplivati na gospodarsko rast in demografske spremembe. Na področju gospodarske rasti Evropska komisija predpostavlja, da lahko Evropski zeleni dogovor spodbudi inovacije v energetske in industrijskem sektorju ter tako pozitivno vpliva ne le na okolje, ampak tudi na gospodarstvo (Evropska komisija, 2023c). Na drugi strani nekateri ekonomisti menijo, da je dolgoročna gospodarska rast nezdržljiva s trajnostno preobrazbo gospodarstva (Hickel in Kallis, 2019). Podobno velja tudi za demografske spremembe, kjer lahko podnebne spremembe povzročijo povečanje svetovnih

migracij in torej pomembno vplivajo na evropsko demografijo (Jakovljevič in drugi, 2018). Možnost različnih razvojev gospodarstva in demografskih trendov potrjuje nujnost scenarijske obravnave teh dejavnikov. Ker so v napovedih *Podnebne poti 2050* ti dejavniki obravnavani deterministično, pri *TYNDP 2022* pa niso eksplicitno obravnavani, lahko natančnejša obravnava pripelje tudi do točnejše ocene razpona končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050.

4.6.1 Gospodarska rast

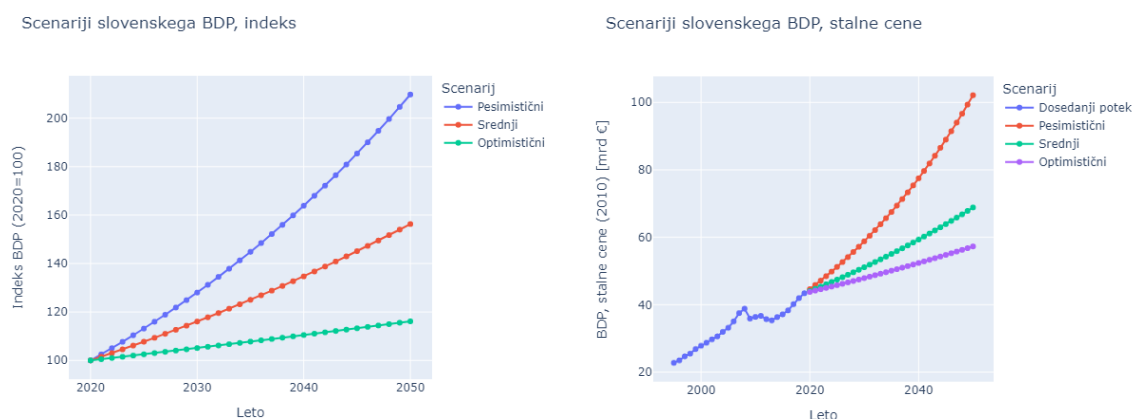
V napovedih *Podnebne poti 2050* je gospodarska rast obravnavana deterministično s povprečno realno letno rastjo slovenskega gospodarstva 1,34 % do leta 2050 (Urbančič in drugi, 2020). Vendar pa je mogoče v strokovni literaturi najti tudi napovedi slovenskih povprečnih gospodarskih rasti do 2 % (OECD, 2014). Ob pogledu na širši evropski prostor se napovedi gospodarskih rasti še bolj razlikujejo. Napovedi gospodarske rasti za evropsko povprečje so večinoma blizu letnim rastem *Podnebne poti 2050* (EIU, 2011), vendar pa so v splošnem gospodarske rasti različne po evropskih državah. Napovedane gospodarske rasti za Nemčijo so v splošnem manjše od evropskega povprečja (okoli 1,25 %,) napovedi za Francijo in Poljsko pa so večinoma višje (okoli 1,6 % in 1,9 %) (PricewaterhouseCoopers, 2017).

Neustreznost determinističnih gospodarskih napovedi stopnjuje dejstvo, da so dolgoročne napovedi BDP nezanesljive, posebej ob negotovosti glede spreminjanja trendov dolgoročne ekonomske rasti (Batchelor, 2007; Morikawa, 2022). Ni torej dovolj opazovati razpona različnih točkovnih gospodarskih napovedi, saj je njihov razpon pogosto preozek. V magistrskem delu se bom torej osredotočil na scenarijske napovedi gospodarske rasti. Projekt *Skupne družbenoekonomske poti* (angl. Shared Socioeconomic Pathways) (Riahi in drugi, 2017) omogoča scenarijsko obravnavo gospodarske rasti, saj opisuje razvoj svetovnega gospodarstva pri različnih predpostavkah migracij, urbanizacije, investicij, pa tudi pri različnih okoljskih predpostavkah. Uporabljen model za napoved gospodarske rasti, *OECD ENV-Growth*, napoveduje za slovensko gospodarstvo do leta 2050 povprečno letno rast 0,93 % v scenariju *Regionalno rivalstvo* (angl. Regional Rivalry), ki predvideva globalno neusklajeno trajnostno preobrazbo, regionalne konflikte in nizke stopnje investicij. V scenariju *Razvoj s fosilnimi gorivi* (angl. Fossil-fueled Development), ki predvideva širšo rabo fosilnih goriv dlje v prihodnost, visoko stopnjo investicij in globalizacije ter naknadno blažitev okoljevarstvenih izzivov, je napoved povprečne letne gospodarske rasti 2,8 %. V preostalih treh scenarijih je napoved gospodarske rasti med 1,8 % in 1,9 % (Dellink in drugi, 2017).

V magistrskem delu so scenarijske napovedi gospodarske rasti izdelane na podlagi omenjenih napovedi. Za *Optimistični* scenarij je privzeta gospodarska rast 0,9 %, za *Srednji* scenarij gospodarska rast 1,5 %, za *Pesimistični* scenarij pa gospodarska rast 2,8 %. Gospodarska rast v *Srednjem* scenariju je nižja od mediane gospodarskih rasti projekta

Skupne družbenoekonomske poti z namenom približevanja preostalim (točkovnim) napovedim dolgoročne gospodarske rasti. Scenariji gibanja indeksa slovenskega BDP in slovenskega BDP v stalnih cenah iz leta 2010 so prikazani na sliki 33. Ponovno velja poudariti, da se poimenovanje scenarijev nanaša le na vpliv zunanjih dejavnikov na končno porabo energije v Sloveniji, kjer je nižja poraba energije obravnavana kot zaželena. Poimenovanje sicer ne označuje zaželenosti nizkih gospodarskih rasti. Zaželenost nizkih ali celo negativnih gospodarskih rasti je pogosto povezana s konceptom odrasti (angl. degrowth), ki se pogosto pojavlja kot ena od možnih rešitev ekoloških problemov (Hickel in Kallis, 2019). Vendar pa je gibanje odrasti povezano s številnimi težavami, tako na politični kot na širši družbeni ravni (Milanović, 2017). Obravnava gibanja odrasti presega namen magistrskega dela.

Slika 33: Gibanje indeksa slovenskega BDP (levo) in slovenskega BDP v stalnih cenah iz leta 2010 (desno) v treh izbranih scenarijih



Vir: lastno delo na podlagi Riahi in drugi (2017) ter Urbančič in drugi (2020).

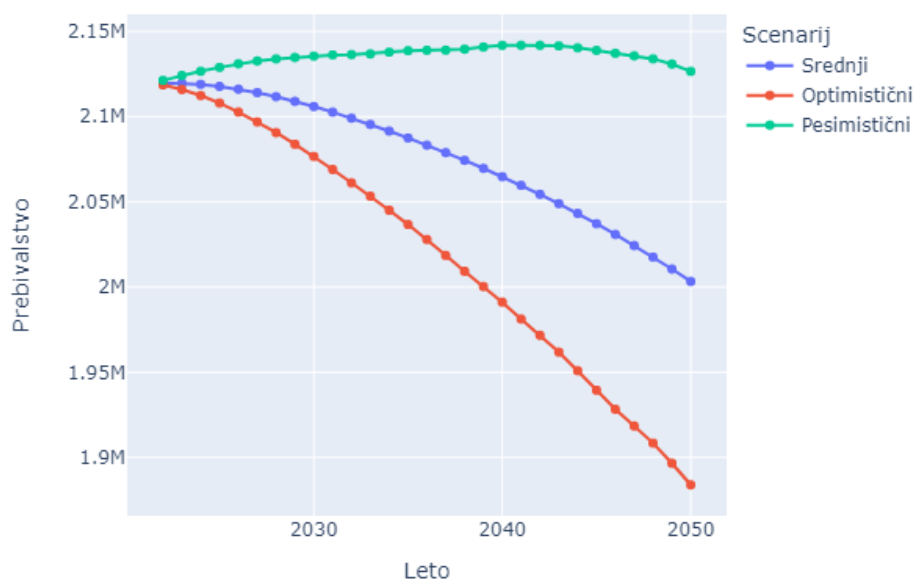
4.6.2 Demografske spremembe

Poleg gospodarske rasti je pomembna tudi scenarijska obravnava demografskih sprememb. Posamezne demografske projekcije za Slovenijo se med seboj razlikujejo. Projekcije Statističnega urada Republike Slovenije (2019) napovedujejo, da bo leta 2050 prebivalcev Slovenije 2,04 milijona. Podobno število prebivalcev napovedujejo osnovne napovedi evropske agencije Eurostat. Vendar pa Eurostat predvideva tudi visoko odvisnost števila prebivalcev od migracij. V scenariju z visokimi migracijami je slovensko število prebivalcev 2,11 milijona, v scenariju brez migracij pa 1,83 milijona (Eurostat, 2023d). Kot je bilo ugotovljeno pri napovedih za BDP, tudi tukaj velja, da so različne točkovne napovedi preveč zgoščene in ne dajejo pravega razpona možnih vrednosti. Demografske napovedi je mogoče obravnavati tudi stohastično, kjer posameznim demografskim razvojem priredimo tudi verjetnosti. Takšne napovedi predvidevajo število prebivalcev med 1,88 in 2,13 milijona v

95 % verjetnostnem intervalu ter 2,00 milijona prebivalcev v mediani (Raftery in drugi, 2014).

Za scenarije demografskega razvoja bom torej privzel napoved 1,88 milijona v *Optimističnem* scenariju, 2,13 milijona v *Pesimističnem* in 2 milijona v *Srednjem* scenariju. Napovedi so prikazane na sliki 34. Podobno kot pri gospodarski rasti se poimenovanje scenarijev tudi tukaj nanaša le na vpliv scenarija na končno porabo energije. *Optimistični* scenarij nizkega števila prebivalcev je namreč lahko dolgoročno povezan s številnimi izzivi zaradi staranja prebivalstva (Jakovljevic in drugi, 2018).

Slika 34: Gibanje števila prebivalcev v Sloveniji do leta 2050 v treh izbranih scenarijih



Vir: lastno delo.

Poleg števila prebivalcev imajo lahko demografske spremembe vpliv na končno porabo energije tudi zaradi spreminjajoče se strukture prebivalstva. Kot je bilo omenjeno v poglavju 2.2, imajo starejše populacije večinoma višjo končno porabo energije (York, 2007). To je mogoče pripisati predvsem večjim bivalnim površinam (Estiri in Zagheni, 2019). Ker so bivalne površine v magistrskem delu eksplicitno obravnavane, staranja prebivalstva v magistrskem delu ne modeliram. To področje vseeno ostaja potencialno zanimivo za prihodnje analize.

5 PRIMERJAVA DEJAVNIKOV KONČNE PORABE ENERGIJE DO LETA 2050

V tem poglavju magistrskega dela bom predstavil način združevanja različnih dejavnikov in ocenil razpon končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050 s pomočjo kombiniranih

scenarijev. V drugem delu tega poglavja bom na podlagi variacije vrednosti posameznih dejavnikov ocenjeval učinke sprememb posameznih dejavnikov na končno porabo energije.

$$E = E_{promet}(D, BDP) + E_{gosp.}(D) + E_{terc} + E_{el. napr.}(D) + E_{ind.}(BDP) + E_{preos.} \quad (6)$$

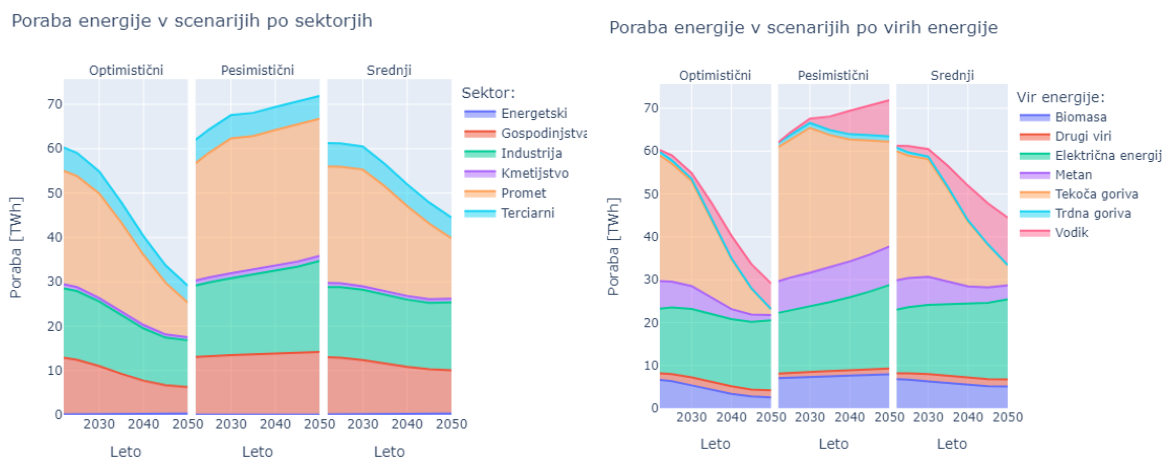
Za združevanje dejavnikov je uporabljena formula (6), kjer E označuje skupno končno porabo energije, E_{promet} končno porabo energije v prometu, $E_{gosp.}$ končno porabo v ogrevanju gospodinjstev, E_{terc} končno porabo v ogrevanju terciarnega sektorja, $E_{el. napr.}$ končno porabo energije električnih naprav gospodinjstev, $E_{ind.}$ končno porabo v industriji, $E_{preos.}$ preostalo končno porabo, D demografske napovedi in BDP napovedi BDP. V formuli so izpostavljene tudi odvisnosti med posameznimi dejavniki. Posamezne domene porabe električne energije so podrobno opisane v poglavju 4. Vsaka od spremenljivk v enačbi omogoča določitev enega scenarija ali nabora scenarijev. V prometu je tako omogočen samostojen izbor scenarija potniške mobilnosti in tovrnega prometa, javnega in železniškega prometa, elektrifikacije in učinka avtonomnih vozil.

Pri določanju razpona končne porabe energije v Sloveniji bom končno porabo energije ocenjeval na podlagi kombiniranih scenarijev, kjer bodo za vse spremenljivke privzeti *Optimistični*, *Srednji* in *Pesimistični* scenarij hkrati. Pri določanju učinka posameznega dejavnika bo pri vseh neobravnanih spremenljivkah uporabljen *Srednji* scenarij kot referenčna vrednost. Učinek dejavnika bo določen na podlagi primerjave končne porabe energije med različnimi scenariji obravnavanega dejavnika.

5.1 Določitev razpona končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050

Rezultati kombiniranih scenarijev končne porabe energije v Sloveniji so vidni na sliki 35. Skupna končna poraba energije je leta 2040 v *Optimističnem* scenariju 40,3 TWh, v *Pesimističnem* scenariju 69,4 TWh in 51,9 TWh v *Srednjem* scenariju. V letu 2050 je ocenjena končna poraba energije 29,1 TWh, 71,9 TWh in 44,5 TWh. V primerjavi s scenariji *TYNDP 2022* in *Podnebne poti 2050* je *Optimistični* scenarij nekoliko nižji od scenarija *Porazdeljena energija*, ki ima med vsemi obstoječimi scenariji najnižjo porabo energije. Na drugi strani je *Pesimistični* scenarij višji tudi od scenarija *OU* v *Podnebni poti 2050*, vendar nižji od scenarija *BU*. V *Srednjem* scenariju so vrednosti nekoliko nižje od scenarija *DU* in nekoliko višje od scenarija *DUA* iz *Podnebne poti 2050*. Da imajo pridobljeni scenariji večji razpon, ni presenetljivo, saj v magistrskem delu scenarijsko obravnavam večje število dejavnikov (dodatno na primer še stopnje gospodarske rasti in števila prebivalcev).

Slika 35: Končna poraba energije v Sloveniji do leta 2050 v kombiniranih scenarijih po sektorjih (levo) in po virih energije (desno)



Vir: lastno delo.

V primerjavi scenarijev po sektorjih so največje dobljene razlike na področju prometa. V *Pesimističnem* scenariju tega sektorja je končna poraba energije leta 2050 kar 30,9 TWh, v *Srednjem* scenariju je ta vrednost enaka 13,6 TWh, v *Optimističnem* scenariju pa le 7,8 TWh. Podrobnejša obravnava učinka posameznih dejavnikov bo obravnava v poglavju 5.2.

V *Pesimističnem* scenariju lahko z obravnavo po virih energije vidimo visoko porabo tekočih goriv, ki vztraja vse do leta 2050. Kot je bilo vidno v obravnavi dejavnikov v poglavju 2.2 in v poglavju 4, se je mogoče *Pesimističnemu* scenariju izogniti s pomočjo ukrepov, ki vodijo k trajnostni preobrazbi energetskega sistema in večji angažiranosti porabnikov energije. Vseeno velja poudariti, da lahko z nepopolno trajnostno preobrazbo, visoko stopnjo mobilnosti, odpravo energetske revščine v ogrevanju ter visoko gospodarsko rastjo dolgoročno pričakujemo zelo visoke končne porabe energije in visoko dolgoročno porabo tekočih goriv.

Scenariji magistrskega dela se med seboj močno razlikujejo tudi po deležu električne energije v končni porabi. Najvišje vrednosti je opaziti v *Optimističnem* scenariju, kjer je leta 2040 delež električne energije 38,9 %, leta 2050 pa 56,1 %. V *Srednjem* scenariju so te vrednosti nekoliko nižje (33,1 % in 41,9 %). Povečanje deleža električne energije je v *Pesimističnem* scenariju mnogo manjše in doseže vrednosti 24,6 % v letu 2040 in 27,1 % v letu 2050. V primerjavi z obstoječimi napovedmi je delež električne energije *Optimističnega* scenarija podoben deležu scenarija *Porazdeljena energija*. Delež električne energije *Srednjega* scenarija je nekoliko nižji od deleža v scenariju *Globalni napor* in nekoliko višji od scenarija *DU Podnebne poti 2050*. V *Pesimističnem* scenariju je delež električne energije primerljiv z deležem iz scenarija *OU*. Sovpadanje večjih deležev električne energije v scenarijih z nižjo končno porabo priča o pomembnosti elektrifikacije pri povečevanju učinkovitosti porabe energije in trajnostni preobrazbi energetskega sistema.

5.2 Primerjava učinkov obravnavanih dejavnikov

V tem poglavju bom opredeljeval učinke posameznih dejavnikov na končno porabo energije. Pri tej analizi bom privzel *Srednji* scenarij za neobravnavane dejavnike in primerjal končne porabe energije med različnimi scenariji obravnavanega dejavnika. Pomembno je poudariti, da so pridobljeni učinki sicer lahko pogojeni z izbiro *Srednjega* scenarija v preostalih dejavnikih. Kljub temu je privzeta metoda koristna za oceno učinka posameznega dejavnika.

5.2.1 Učinki dejavnikov v prometu

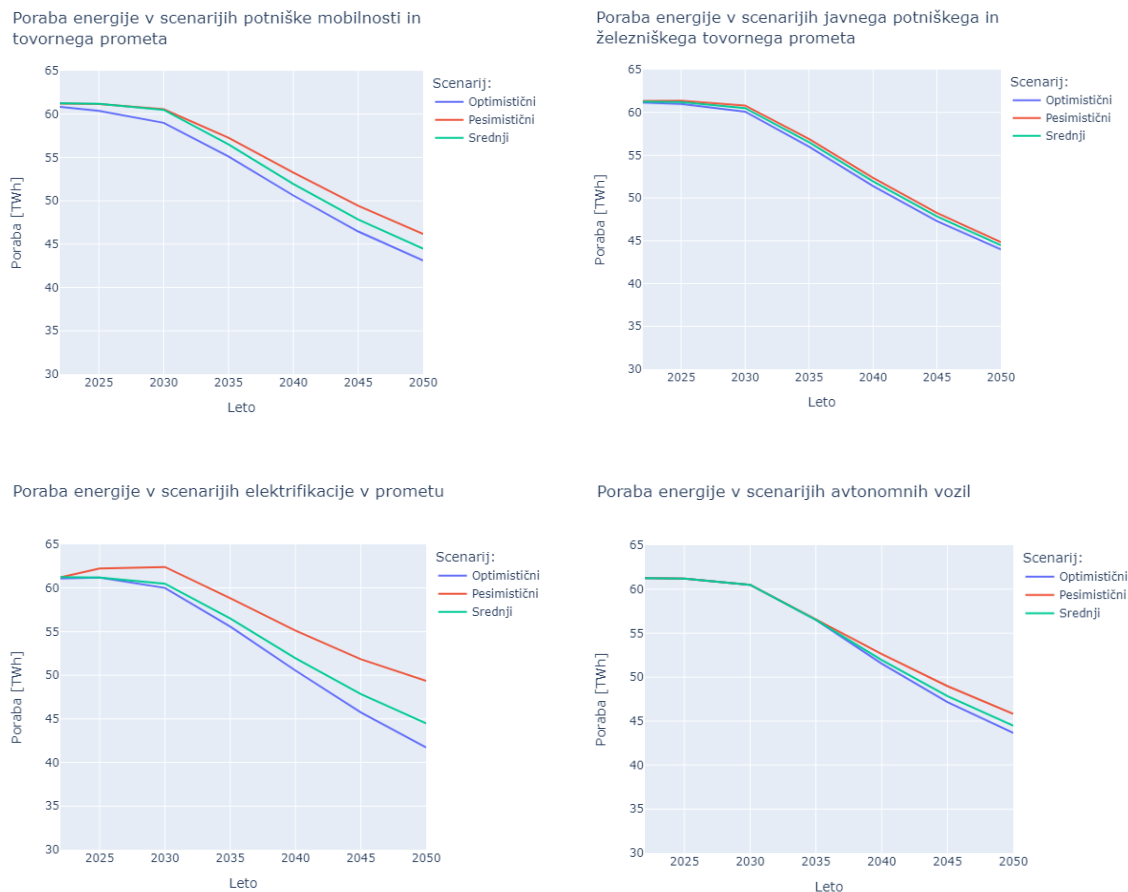
V prometu ločeno obravnavam dejavnike potniške mobilnosti in tovornega prometa (spremembe aktivnosti), javnega potniškega in železniškega tovornega prometa (spremembe prevoznih sredstev), elektrifikacije prometa (spremembe virov energije) in učinka avtonomnih vozil. Rezultati analize so vidni na sliki 36.

Največji učinek med izbranimi dejavniki je videti zaradi spremembe virov energije, kjer je med *Optimističnim* in *Pesimističnim* scenarijem leta 2050 kar 7,6 TWh razlike. V *Pesimističnem* scenariju je končna poraba energije 49,3 TWh, v *Srednjem* scenariju 44,5 TWh (to velja za vse *Srednje* scenarije) in v *Optimističnem* 41,7 TWh. Da sta si *Srednji* in *Optimistični* scenarij med seboj bližja, je razumljivo, saj oba scenarija predvidevata popolno trajnostno preobrazbo v prometu (osnovana sta na scenarijih *TYNDP 2022*). Pri *Pesimističnem* scenariju je ta preobrazba nepopolna, kar povečuje končno porabo energije zaradi manjšega prehoda k učinkovitejšim virom energije v prometu.

Učinek potniške mobilnosti in tovornega prometa je znaten, a manjši v primerjavi s spremembo virov energije. V *Optimističnem* scenariju je končna poraba 43,1 TWh, v *Pesimističnem* 46,2 TWh. Nekoliko manjši razpon velja za učinek avtonomnih vozil v prometu, kjer je v *Optimističnem* scenariju končna poraba 43,7 TWh, v *Pesimističnem* pa 45,8 TWh.

Med dejavniki v prometu ima najmanjši učinek sprememba prevoznih sredstev, kjer je razlika med *Optimističnim* in *Pesimističnim* scenarijem le 0,8 TWh. V *Optimističnem* scenariju je končna poraba leta 2050 44,0 TWh, v *Pesimističnem* pa 44,8 TWh. Za majhen učinek dejavnika so odgovorni predvsem majhni trenutni deleži javnega potniškega prometa, ki tudi pri visokih relativnih spremembah ne dosežejo visokih absolutnih vrednosti. Iz tega vidika je razumljivo, da scenariji spremembe virov energije na primer predstavljajo mnogo večje spremembe.

Slika 36: Učinki dejavnikov spremembe aktivnosti (zgoraj levo), spremembe prevoznih sredstev (zgoraj desno), spremembe virov energije (spodaj levo) in porabe avtonomnih vozil (spodaj desno)

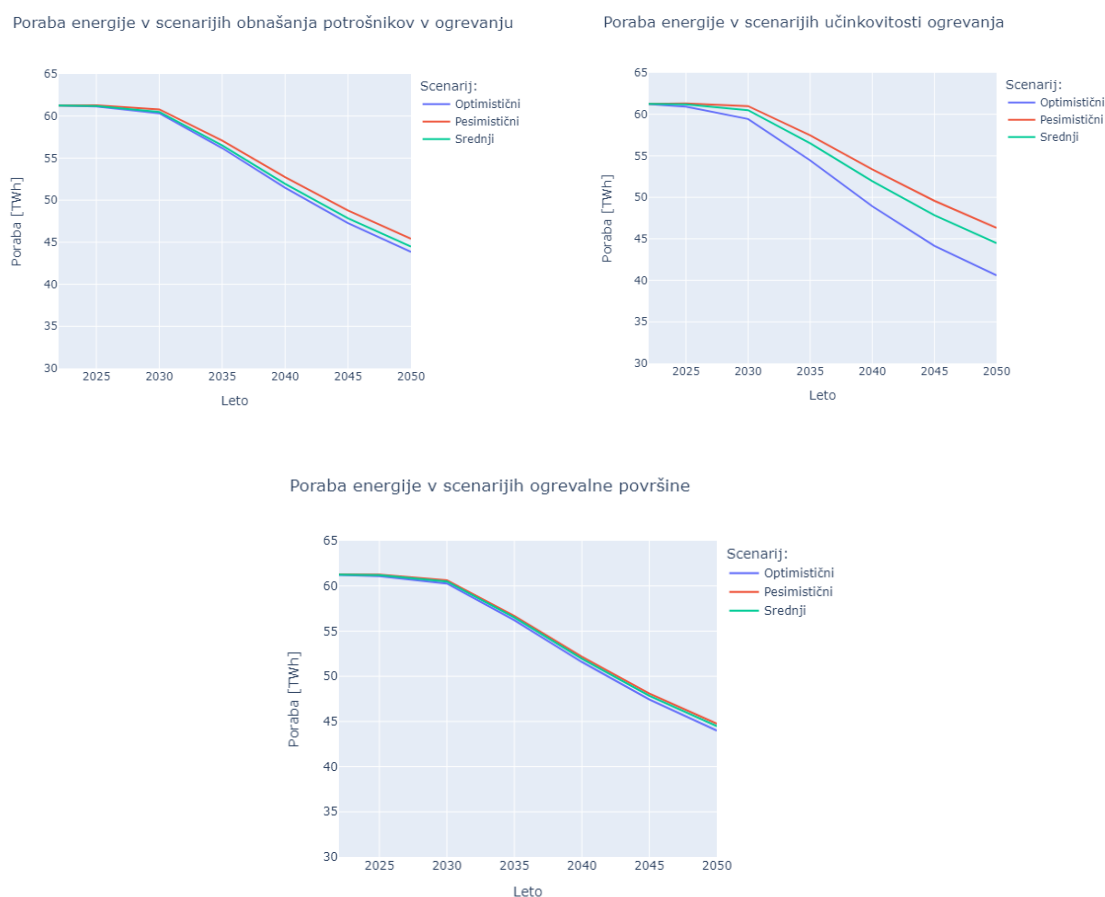


Vir: lastno delo.

5.2.2 Učinek dejavnikov v ogrevanju

V ogrevanju obravnavam dejavnike obnašanja potrošnikov, sprememb učinkovitosti in ogrevalne površine. Rezultati so vidni na sliki 37. Najmanjši učinek med dejavniki v ogrevanju ima ogrevalna površina, kjer je razlika med *Optimističnim* in *Pesimističnim* scenarijem leta 2050 0,8 TWh. V *Optimističnem* scenariju je končna poraba energije 44,0 TWh, v *Pesimističnem* pa 48,7 TWh. Iz rezultatov sledi, da bodo imele spremembe bivalnih površin dolgoročno majhen učinek na končno porabo energije. Nekoliko večji, a vseeno omejen učinek ima obnašanje potrošnikov v ogrevanju. Razlika med *Optimističnim* (43,8 TWh) in *Pesimističnim* (45,4 TWh) scenarijem je tu 1,6 TWh.

Slika 37: Učinki dejavnikov obnašanja potrošnikov v ogrevanju (zgoraj levo), učinkovitosti v ogrevanju (zgoraj desno) in ogrevalne površine (spodaj)



Vir: lastno delo.

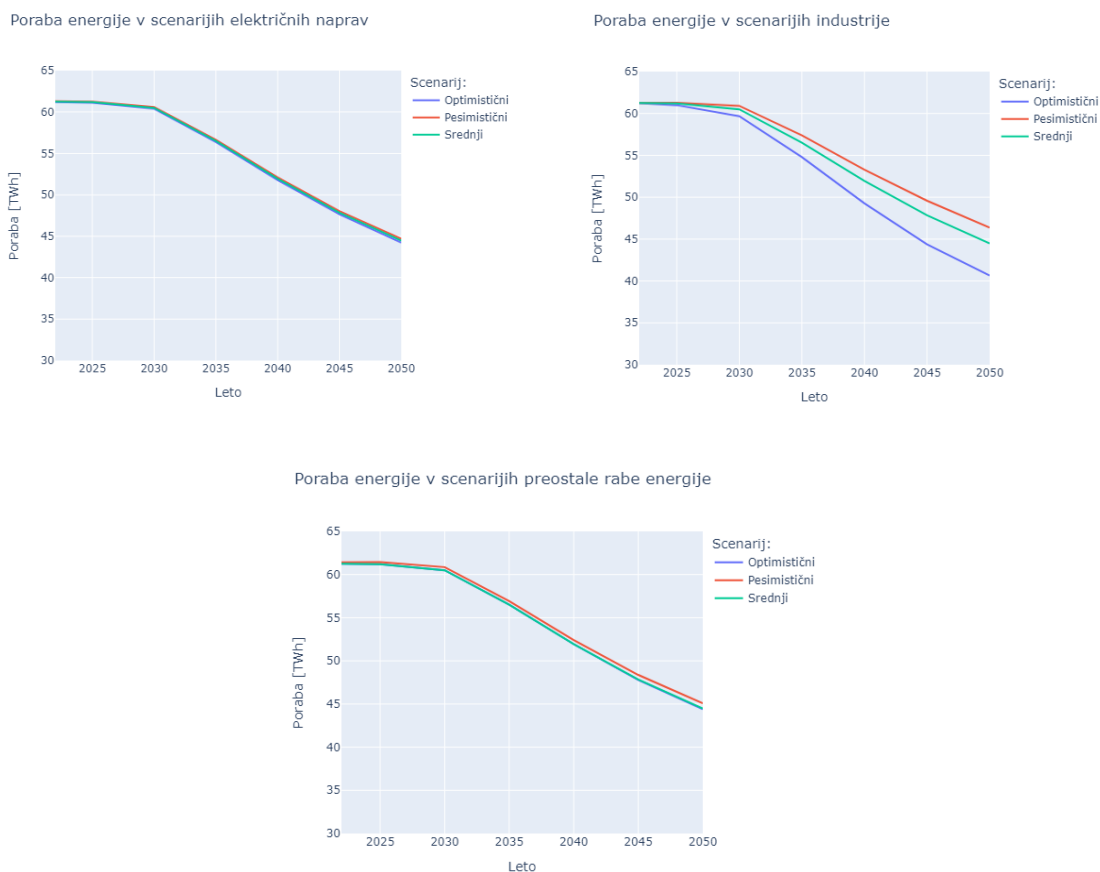
V ogrevanju je največji vpliv mogoče pričakovati zaradi sprememb v učinkovitosti, torej zaradi prenov stavb ter prehoda na sisteme daljinskega ogrevanja in toplotne črpalke. Pri tem dejavniku je razlika med *Optimističnim* in *Pesimističnem* scenarijem 5,7 TWh. V *Optimističnem* scenariju je končna poraba 40,6 TWh, kar pomeni, da lahko v primeru ambicioznih prenov stavb in visoke učinkovitosti ogrevanja pričakujemo zmanjšanje končne porabe energije za 3,9 TWh v primerjavi s *Srednjim* scenarijem. Končna poraba 46,3 TWh *Pesimističnega* scenarija označuje, da lahko zaradi manj ambicioznih izboljšav energetske učinkovitosti in odprave energetske revščine v ogrevanju pričakujemo povečanje končne porabe energije za 1,8 TWh v primerjavi s *Srednjim* scenarijem.

5.2.3 Učinki dejavnikov električnih naprav, industrije in preostale porabe energije

Na sliki 38 so vidni učinki dejavnikov porabe električnih naprav, porabe industrije in preostale porabe. Med temi dejavniki ima omembe vreden učinek le dejavnik industrije, kjer je razlika med *Optimističnim* scenarijem in *Pesimističnim* scenarijem 5,7 TWh. V

Optimističnem scenariju, kjer je predpostavka visokega izboljšanja energetske učinkovitosti v industriji, je končna poraba energije 46,4 TWh, v *Pesimističnem* pa 40,7 TWh.

Slika 38: Učinki dejavnikov porabe električnih naprav (zgoraj levo), porabe industrije (zgoraj desno) in preostale porabe (spodaj)



Vir: lastno delo.

Mnogo manjši pa so učinki na področju električnih naprav in preostale porabe energije. Na področju električnih naprav je razlika med *Optimističnim* in *Pesimističnim* scenarijem le 0,5 TWh. To je predvsem posledica majhnega deleža električnih naprav v končni porabi energije. Na področju preostale porabe je razlika med *Pesimističnim* in *Optimističnim* scenarijem 0,7 TWh. Majhne razlike pri tem dejavniku so predvsem posledica izbire dejavnikov, obravnavanih v poglavjih med 4.1 in 4.4 ter 4.6 (to so dejavniki na področju prometa, ogrevanja, električnih naprav in industrije ter zunanji dejavniki). Pri izbiri dejavnikov so bila namreč zajeta tista področja, kjer je pričakovan večji učinek na končno porabo energije.

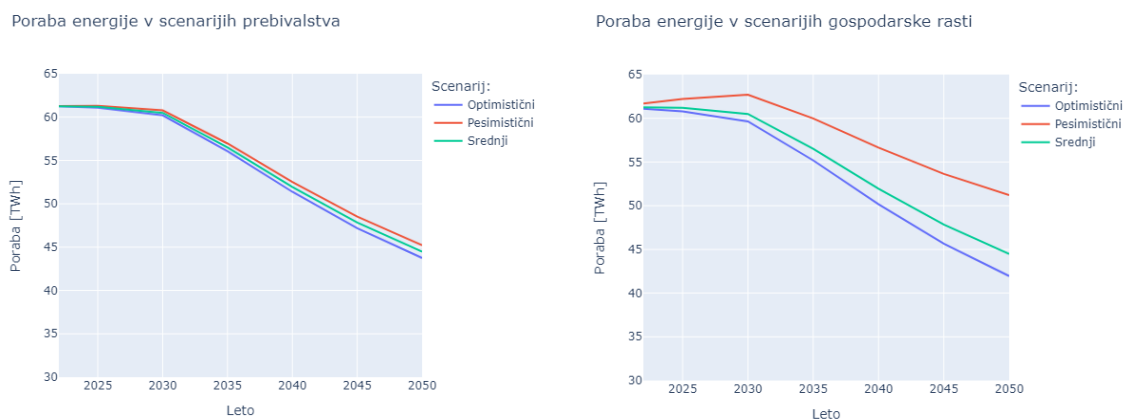
5.2.4 Učinek zunanjih dejavnikov

Zunanja dejavnika v magistrskem delu sta gospodarska rast in število prebivalcev, katerih učinki so prikazani na sliki 39.

Učinek števila prebivalcev na končno porabo energije je majhen, a viden. Razlika med *Optimističnim* in *Pesimističnim* scenarijem znaša 1,4 TWh. V *Optimističnem* scenariju je končna poraba energije 43,8 TWh, v *Pesimističnem* pa 45,2 TWh. To je posledica dejstva, da med različnimi napovedmi števila prebivalcev do leta 2050 ni visoke variabilnosti.

Na drugi strani pa ima dejavnik gospodarske rasti lahko izjemno velik vpliv na končno porabo energije skozi povečan tovorni promet in povečano porabo v industriji. Razlika med *Optimističnim* in *Pesimističnim* scenarijem je tu kar 9,3 TWh. V *Pesimističnem* scenariju je zmanjšanje končne porabe energije med trenutnim stanjem in letom 2050 (51,2 TWh) manjše v primerjavi s preostalimi scenariji magistrskega dela. Mogoče je torej, da pri visokih stopnjah gospodarske rasti povečana aktivnost v industriji in tovrnem prometu izniči del izboljšanja v energetske učinkovitosti. Ob želji po občutnem zmanjšanju končne porabe energije (na primer na ravni iz scenarijev *TYNDP 2022*) so pri visokih stopnjah gospodarske rasti potrebni radikalnejši ukrepi na področju industrije in tovrnega prometa. V *Optimističnem* scenariju je končna poraba energije 42,0 TWh.

Slika 39: Učinki dejavnikov prebivalstva (levo) in gospodarske rasti (desno)



Vir: lastno delo.

5.2.5 Primerjava učinkov

Iz analize v poglavjih od 5.2.1 do 5.2.4 sledi, da imajo največji učinek na končno porabo energije v Sloveniji do leta 2050 lahko dejavniki gospodarske rasti, industrije, učinkovitosti v ogrevanju in spremembe goriv v prometu, za njimi pa še dejavniki razvoja avtonomnih avtomobilov ter potniške mobilnosti in tovrnega prometa.

Iz rezultatov za dejavnik gospodarske rasti in dolgoročne nezanesljivosti dolgoročnih napovedi tega dejavnika je mogoče skleniti, da je scenarijska analiza končne porabe energije na tem področju nujna. Obstoječe napovedi (*Podnebna pot 2050* in *TYNDP 2022*) ta dejavnik obravnavajo pomanjkljivo, saj ga obravnavajo deterministično in imajo lahko že majhne spremembe v gospodarski rasti velik učinek na končno porabo energije.

Dejavnik z drugim največjim izmerjenim učinkom v magistrskem delu je dejavnik spremembe goriv v prometu, kjer prinaša visoka stopnja elektrifikacije tudi visoke stopnje povečanja energetske učinkovitosti. Poleg dejavnika elektrifikacije imata v prometu znaten učinek še dejavnika potniške mobilnosti in tovornega prometa ter razvoja avtonomne vožnje, vendar imata ta dva dejavnika manjše učinke od nekaterih dejavnikov v drugih sektorjih. Izmed dejavnikov v ogrevanju je edini z večjim vplivom na končno porabo energije dejavnik povečanja učinkovitosti. Izboljšanje v energetske učinkovitosti igra pomembno vlogo tudi v industriji.

Ob primerjavi učinkov različnih dejavnikov je mogoče oceniti, da imajo lahko dejavniki, povezani z izboljšanjem energetske učinkovitosti, največjo vlogo tako v prometu kot v ogrevanju in industriji. Izboljšanje energetske učinkovitosti ima torej večji vpliv od obnašanja potrošnikov in sprememb aktivnosti na obravnavanih področjih.

6 SKLEP

Potreba po trajnostni preobrazbi energetskega sistema ima lahko bistvene posledice za področje napovedovanja končne porabe energije v Sloveniji in v širšem evropskem prostoru. Na podlagi obstoječih napovedi končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050, strokovne literature, primerjave s preostalimi evropskimi državami in s pregledom glavnih evropskih direktiv so v magistrskem delu opredeljeni najpomembnejši dejavniki napovedovanja končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050. Obstoječe napovedi končne porabe energije za Slovenijo do leta 2050 *Podnebna pot 2050* in *TYNDP 2022*, na katerih temeljijo tudi napovedi magistrskega dela, so tudi podrobneje predstavljene.

Opazovani dejavniki na področju prometa obsegajo spremembe v potniški mobilnosti, tovornem prometu, rabi javnega potniškega in železniškega tovornega prometa, spremembe v virih energije v prometu (kjer je nepomembnejša elektrifikacija) in možnostih razvoja avtonomnih vozil. Na področju ogrevanja obsegajo spremembe v ogrevalni površini, obnašanju potrošnikov in učinkovitosti. Poleg omenjenih so podrobneje obravnavani še dejavniki električnih naprav, industrije, preostale porabe, gospodarske rasti in demografskih sprememb.

Scenariji magistrskega dela opredeljujejo razpon končne porabe energije v Sloveniji leta 2050 med 29,1 TWh in 71,9 TWh. *Srednji* scenarij magistrskega dela predpostavlja končno porabo 44,5 TWh.

Med obravnavanimi dejavniki imajo na končno porabo energije v Sloveniji do leta 2050 na podlagi vzpostavljene metodologije največji vpliv dejavniki gospodarske rasti (z razponom 9,3 TWh med *Optimističnim* in *Pesimističnim* scenarijem), porabe industrije (5,7 TWh), učinkovitosti v ogrevanju (5,7 TWh), spremembe goriv v prometu (7,6 TWh), razvoja avtonomnih avtomobilov (2,1 TWh) ter potniške mobilnosti in tovornega prometa (3,1 TWh).

Pomembnost dejavnika gospodarske rasti izpostavlja pomanjkljivost obstoječih scenarijskih napovedi, saj je v njih gospodarska rast obravnavana deterministično. V scenarijih z visoko gospodarsko rastjo bodo za občutno zmanjšanje končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050 potrebni ambicioznejši ukrepi od opisanih v *Srednjih* scenarijih magistrskega dela.

Na področjih prometa, ogrevanja in industrije ima veliko vlogo predvsem povečevanje energetske učinkovitosti. Potencial je največji na področju elektrifikacije prometa, posebej zaradi visoke učinkovitosti električnih avtomobilov v primerjavi z avtomobili na notranje izgorevanje.

Ob predstavljenih rezultatih je potrebno ponovno poudariti, da so pridobljene ocene odvisne od opredelitve opazovanih dejavnikov in opredeljenih scenarijev. Drugačna analiza bi lahko, na primer, drugače obravnavala vpliv digitalizacije in razvoj ekonomskih modelov porabe namesto ekonomskih modelov lastništva. Številni potencialni dejavniki so v magistrskem delu obravnavani posredno – predvsem skozi izboljšanje v energetske učinkovitosti na posameznih področjih. Kompleksnejši dejavniki bi lahko na drugi strani učinkovali na več področjih hkrati.

Med omejitve magistrskega dela štejem tudi opiranje na dvoje napovedi pri izdelavi scenarijev mogočega razvoja. Natančnejša obravnava dejavnikov bi lahko odvisnost od obstoječih napovedi omilila. Prav tako bi bilo magistrsko delo mogoče osnovati na širšem naboru napovedi. Sistemski operater slovenskega prenosnega elektroenergetskega omrežja, ELES, izdeluje v okviru razvojnih načrtov desetletne napovedi, ki bi bile lahko koristne pri točnejši napovedi do leta 2030 (ELES, 2021).

V magistrskem delu so nekateri viri porabe energije obravnavani združeno in manj podrobno. To so viri porabe iz poglavja 4.5, ki nosi naslov Preostala končna poraba energije. Čeprav so pričakovane spremembe na združenih virih porabe manjše od tistih na podrobneje obravnavanih virih, je takšna obravnava nepopolna, kar ima lahko vpliv tudi na končne rezultate magistrskega dela.

Vir netočnosti v rezultatih magistrskega dela so lahko tudi poenostavitve pri obravnavi dejavnikov. Pri tovornem prometu in pri aktivnosti v industriji napovedi temeljijo na linearnih regresijah s samo eno pojasnjevalno spremenljivko. Smiselnost poenostavitev sicer potrjujejo visoki determinacijski koeficienti regresij, vendar so kljub temu v določeni meri zanemarjeni vplivi drugih spremenljivk.

Kljub omejitvam, so v magistrskem delu predstavljeni številni kombinirani scenariji razvoja slovenskega energetskega sistema do leta 2050. Med opredeljenimi dejavniki je mogoče najti tudi takšne, ki imajo lahko sami po sebi velik vpliv na končno porabo energije (gospodarska rast, elektrifikacija v prometu itn.) in katerih razvoj je pomemben za napovedovanje dolgoročne končne porabe energije. Osredotočenost na vpliv posameznih dejavnikov poleg skupnega učinka je lahko pomembna tudi pri določanju ukrepov za doseganje cilja zmanjšanja končne porabe energije. Politična volja za spremembe je lahko v okviru trajnostne politike omejena, zato je pomembno, da odločevalci izmed možnih ukrepov dajo prednost tistim, ki imajo največje učinke pri najmanjših negativnih posledicah na preostale vidike družbenega življenja in ekonomskega razvoja. Iz rezultatov magistrskega dela sledi, da so ta področja predvsem povezana z izboljšanjem energetske učinkovitosti v industriji, ogrevanju in prometu (kjer je najpomembnejša elektrifikacija). To področje magistrskega dela torej osvetljuje pomemben vidik napovedovanja končne porabe energije v Sloveniji do leta 2050, preverja ustreznost napovedi in s scenarijsko analizo zunanjih dejavnikov nadgrajuje obstoječe napovedi.

LITERATURA IN VIRI

1. Agence de la transition écologique, Enerdata, Fraunhofer ISI, European Climate Infrastructure and Environment Executive Agency in European Energy Network. (2022). *Odyssey database* [Podatkovna baza]. Pridobljeno 1. februarja 2023 s <https://odyssey.enerdata.net/database/>
2. Armoogum, J., Garcia, C., Borgato, S., Fiorello, D., Mafii, S., Mars, K.-J., Popovska, T., Schlemmer, L., Vincent, V., Bogaert, M. in Gayda, S. (2022). *Study on new mobility patterns in European cities: Final report. Task A, EU wide passenger mobility survey*. Evropska komisija.
3. Batchelor, R. (2007). Bias in macroeconomic forecasts. *International Journal of Forecasting*, 23(2), 189–203.
4. Brand, C., Cluzel, C. in Anable, J. (2017). Modeling the uptake of plug-in vehicles in a heterogeneous car market using a consumer segmentation approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 97, 121–136.
5. Brugger, H., Eichhammer, W., Mikova, N. in Dönitz, E. (2021). Energy Efficiency Vision 2050: How will new societal trends influence future energy demand in the European countries? *Energy Policy*, 152, 112216.
6. CAN Europe. (2020, 30. junij). *Building a Paris Agreement Compatible (PAC) energy scenario*. <https://caneurope.org/building-a-paris-agreement-compatible-pac-energy-scenario/>
7. Chiou-Wei, S. Z., Chen, C.-F. in Zhu, Z. (2008). Economic growth and energy consumption revisited—Evidence from linear and nonlinear Granger causality. *Energy Economics*, 30(6), 3063–3076.
8. Dachs, B., Kinkel, S., Jäger, A. in Palčič, I. (2019). Backshoring of production activities in European manufacturing. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25(3), 100531.

9. Dai, L., Jia, R. in Wang, X. (2022). Relationship between Economic Growth and Energy Consumption from the Perspective of Sustainable Development. *Journal of Environmental and Public Health*, 2022, 1–10.
10. Dellink, R., Chateau, J., Lanzi, E. in Magné, B. (2017). Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environmental Change*, 42, 200–214.
11. DNV. (2022). *Energy Transition Outlook 2022*. DNV. Pridobljeno 12. maja 2023 s <https://www.dnv.com/Default>
12. EIU. (2011). *Long Term Macroeconomic Forecasts, Key Trends to 2050*. The Economist Intelligence Unit. Pridobljeno 16. maja 2023 s https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/sites/default/files/generated/document/en/Long-termMacroeconomicForecasts_KeyTrends.pdf
13. ELES. (2021). *Razvojni načrt prenosnega sistema Republike Slovenije za obdobje 2021–2030*. ELES, d. o. o.
14. ENTSOE in ENTSG. (2021). *TYNDP 2022 Scenario Report*. Pridobljeno 20. 1. 2023 s <https://2022.entsos-tyndp-scenarios.eu/download/>.
15. ENTSOE in ENTSG. (2023, maj 25). *Discover the TYNDP 2022 scenarios*. Pridobljeno 20. maja 2023 s <https://tyndp.entsoe.eu/>.
16. Estiri, H. in Zagheni, E. (2019). Age matters: Ageing and household energy demand in the United States. *Energy Research in Social Science*, 55, 62–70.
17. Eurostat. (2022). *Road freight transport by vehicle characteristics* (ROAD_GO_TA_MPLW) [Podatkovna baza]. Pridobljeno 12. februarja 2023 s https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_vehicle_characteristics
18. Eurostat. (2023a). *Energy imports dependency* (NRG_IND_ID) [Podatkovna baza]. Pridobljeno 29. junija 2023 s https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_id/default/table?lang=en
19. Eurostat. (2023b). *GDP and main components (output, expenditure and income)* (NAMA_10_GDP) [Podatkovna baza]. Pridobljeno 5. maja 2023 s https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NAMA_10_GDP__custom_6094132/default/table?lang=en
20. Eurostat. (2023c). *Greenhouse gas emissions by source sector* (ENV_AIR_GGE) [Podatkovna baza]. Pridobljeno 25. maja 2023 s https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AIR_GGE__custom_1300599/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=e8f18fa5-e8ae-4a93-a708-b1d10a9988e7
21. Eurostat. (2023d). *Population on 1st January by age, sex and type of projection* (PROJ_18NP) [Podatkovna baza]. Pridobljeno 16. januarja 2023 s <https://data.europa.eu/data/datasets/asjou14so6nroi1emyida?locale=en>
22. Evropska komisija. (2018). *2050 long-term strategy*. Pridobljeno 16. januarja 2023 s https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en
23. Evropska komisija. (2021, 14. junij). *A European Green Deal*. Pridobljeno 22. maja 2023 s https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
24. Evropska komisija. (2022a, 12). *REPowerEU: Affordable, secure and sustainable energy for Europe*. Evropska Komisija. Pridobljeno 23. maja 2023 s

- https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en
25. Evropska komisija. (2022b, 8. april). *Energy and the Green Deal*. Evropska Komisija. Pridobljeno 23. maja 2023 s https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_en
 26. Evropska komisija. (2023a). *The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)—EPB Standards*. Evropska komisija. Pridobljeno 10. julija 2023 s <https://epb.center/epb-standards/energy-performance-buildings-directive-epbd/>
 27. Evropska komisija. (2023b, 10. maj). *Carbon Border Adjustment Mechanism*. Pridobljeno 23. maja 2023 s https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en
 28. Evropska komisija. (2023c, 20. maj). *Delivering the European Green Deal*. Pridobljeno 23. maja 2023 s https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en
 29. Evropski svet. (2023, 27. april). *Fit for 55*. Pridobljeno 23. maja 2023 s <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
 30. Eyre, N. (2021). From using heat to using work: Reconceptualising the zero carbon energy transition. *Energy Efficiency*, 14(7), 77.
 31. Fluchs, S. (2020). The diffusion of electric mobility in the European Union and beyond. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102462.
 32. Frenken, K. in Schor, J. (2019). Putting the sharing economy into perspective. V *A Research Agenda for Sustainable Consumption Governance*. Elgar Online. <https://www.elgaronline.com/display/book/9781788117814/book-part-9781788117814-17.xml>
 33. Ghods, L. in Kalantar, M. (2011). Different Methods of Long-Term Electric Load Demand Forecasting a Comprehensive Review. *Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 7, 249–259.
 34. Golobič, dr. M., Penko Seidl, dr. N., Cof, mag. A., Pretnar, mag. G. in Rikato Ružič, L. (2018). *Model prostorskega razvoja Slovenije 2050*. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za krajinsko arhitekturo.
 35. González-Torres, M., Pérez-Lombard, L., Coronel, J. F., Maestre, I. R. in Yan, D. (2022). A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers. *Energy Reports*, 8, 626–637.
 36. Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., McCollum, D. L., Rao, N. D., Riahi, K., Rogelj, J., De Stercke, S., Cullen, J., Frank, S., Fricko, O., Guo, F., Gidden, M., Havlík, P., Huppmann, D., Kiesewetter, G., Rafaj, P., ... Valin, H. (2018). A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nature Energy*, 3(6), Article 6.
 37. Hagos, D. A. in Ahlgren, E. O. (2018). Well-to-wheel assessment of natural gas vehicles and their fuel supply infrastructures – Perspectives on gas in transport in Denmark. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 14–35.
 38. Harrison, G. in Thiel, C. (2017). An exploratory policy analysis of electric vehicle sales competition and sensitivity to infrastructure in Europe. *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 165–178.

39. Hickel, J. in Kallis, G. (2019). Is Green Growth Possible? *New Political Economy*, 25, 1–18.
40. IEA. (2017a). *Digitalization and Energy – Analysis*. Pridobljeno 13. decembra 2022 s <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>
41. IEA. (2017b). *Energy Technology Perspectives 2017 – Analysis*. Pridobljeno 15. maja 2023 s <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>
42. IEA. (2022a). *Heating – Analysis*. Pridobljeno 24. maja 2023 s IEA. <https://www.iea.org/reports/heating>
43. IEA. (2022b). *Transport*. IEA. Pridobljeno 25. maja 2023 s <https://www.iea.org/topics/transport>
44. Institut Jožef Štefan. (2021a, 14. december). *Podnebna pot 2050: O projektu*. <http://podnebnapot2050.si/o-projektu/>
45. Institut Jožef Štefan. (2021b, 14. december). *Podnebna pot 2050: Partnerji*. <http://podnebnapot2050.si/o-projektu/partnerji/>
46. Institut Jožef Štefan. (2021c, 14. december). *Podnebna pot 2050: Rezultati Slovenije*. <http://podnebnapot2050.si/rezultati-slovenije/podnebna-pot-2050/>
47. Jakovljevic, M. M., Netz, Y., Buttigieg, S. C., Adany, R., Laaser, U. in Varjacic, M. (2018). Population aging and migration – history and UN forecasts in the EU-28 and its east and south near neighborhood – one century perspective 1950–2050. *Globalization and Health*, 14(1), 30.
48. Johansson, T. B., Patwardhan, A., Nakićenović, N., Gómez Echeverri, L. F. in International Institute for Applied Systems Analysis (Ur.). (2012). *Global energy assessment (GEA)*. International Institute for Applied Systems Analysis.
49. Kvarnström, O. (2019, 28. junij). District Heating: Heat-as-a-service and sector coupling. *Energy Post*. <https://energypost.eu/district-heating-heat-as-a-service-and-sector-coupling/>
50. Lambert, K. (2023, 27. april). *8 Reasons to Consider Community Heating*. Pridobljeno 27. aprila 2023 s <https://blog.switch2.co.uk/blog/8-reasons-to-consider-community-heating>
51. Lange, S., Pohl, J. in Santarius, T. (2020). Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? *Ecological Economics*, 176, 106760.
52. Milanović, B. (2017, 18. november). The illusion of “degrowth” in a poor and unequal world. *globalinequality*. <http://glineq.blogspot.com/2017/11/the-illusion-of-degrowth-in-poor-and.html>
53. Mills, R. (2023, 30. januar). *Cryptocurrency’s Energy Consumption Problem*. RMI. <https://rmi.org/cryptocurrencys-energy-consumption-problem/>.
54. Morikawa, M. (2022). Uncertainty in long-term macroeconomic forecasts: Ex post evaluation of forecasts by economics researchers. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 85, 8–15.
55. Nielsen, L. in Jørgensen, K. (2023). Electric vehicles and renewable energy in the transport sector - energy system consequences Main focus: Battery electric vehicles and hydrogen based fuel cell vehicles. *Risø National Laboratory*.
56. OECD. (2014). *Long-term baseline projections, No. 95 (Edition 2014)*.
57. Plötz, P., Link, S., Ringelschwender, H., Keller, M., Moll, C., Bieker, G., Dornoff, J. in Mock, P. (2022, 8. junij). Real-world usage of plug-in hybrid vehicles in Europe: A 2022 update on fuel consumption, electric driving, and CO2 emissions. *International Council on Clean Transportation*.

58. PricewaterhouseCoopers. (2017, februar). *The World in 2050*. PwC. Pridobljeno 16. maja 2023 s <https://www.pwc.com/gx/en/research-insights/economy/the-world-in-2050.html>
59. Raftery, A. E., Alkema, L. in Gerland, P. (2014). Bayesian Population Projections for the United Nations. *Statistical science : a review journal of the Institute of Mathematical Statistics*, 29(1), 58–68.
60. Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153–168.
61. Salari, M., Javid, R. J. in Noghanibehambari, H. (2021). The nexus between CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in the U.S. *Economic Analysis and Policy*, 69, 182–194.
62. Schweiker, M. in Shukuya, M. (2010). Comparative effects of building envelope improvements and occupant behavioural changes on the exergy consumption for heating and cooling. *Energy Policy*, 38(6), 2976–2986.
63. Stancil, B. in Dadush, U. (2009, november). *The G20 in 2050*. Carnegie Endowment for International Peace. Pridobljeno 16. maja 2023 s <https://carnegieendowment.org/2009/11/19/g20-in-2050-pub-24195>
64. Statistični urad Republike Slovenije. (2019). *Projekcije prebivalstva EUROPOP2019 po: MERITVE, LETO* [Podatkovna baza]. Pridobljeno 16. januarja 2023 s <https://pxweb.stat.si:443/SiStatDataSiStatData/pxweb/sl/Data/-/05U3015S.px/>
65. Statistični urad Republike Slovenije. (2022a). *Izbrani kazalniki stanovanjskega standarda po: OBČINE, LETO, STANOVANJSKI STANDARDI* (Št. 0861101S) [Podatkovna baza]. Pridobljeno 3. maja 2023 s <https://pxweb.stat.si:443/SiStatDataSiStatData/pxweb/sl/Data/Data/0861101S.px/>
66. Statistični urad Republike Slovenije. (2022b). *Stanovanja po: TIP NASELJA, NASELJENOST, UPORABNA POVRŠINA, LETO, MERITVE* (Št. 0861030S) [Podatkovna baza]. Pridobljeno 2. maja 2023 s <https://pxweb.stat.si:443/SiStatDataSiStatData/pxweb/sl/Data/-/0861030S.px/>
67. Statistični urad Republike Slovenije. (2023). *Cestni blagovni prevoz, Slovenija, četrletno* [Podatkovna baza]. Pridobljeno 22. januarja 2023 s <https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/2207701S.px/>
68. Stephens, T. S., Gonder, J., Chen, Y., Lin, Z., Liu, C. in Gohlke, D. (2016). *Estimated Bounds and Important Factors for Fuel Use and Consumer Costs of Connected and Automated Vehicles* (NREL/TP-5400-67216). National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States).
69. Stern, D. I. (2017). The environmental Kuznets curve after 25 years. *Journal of Bioeconomics*, 19(1), 7–28.
70. Talebian, A. in Mishra, S. (2018). Predicting the adoption of connected autonomous vehicles: A new approach based on the theory of diffusion of innovations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 363–380.
71. United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. United Nations.
72. Urbančič, A., Česen, M., Stegnar, G., Matevž, P., Janša, T., Kovač M., Merše S., Sučić B., Đorić M., Trstenjak K., Košnjek Z., Majcen B., Pretnar G., Verbič J., Mali B., Slabe Erker

- R., Dominiko M., Primc K. in Bayar A. (2020). *Povzetek analize scenarijev za odločanje o dolgoročni podnebni strategiji Slovenije do leta 2050*. Institut Jožef Štefan.
73. Verstraeten, T. (2023, 11. april). *Reform of the EU electricity market*. KPMG. <https://kpmg.com/be/en/home/insights/2023/04/eng-reform-of-the-eu-electricity-market.html>
74. York, R. (2007). Demographic trends and energy consumption in European Union Nations, 1960–2025. *Social Science Research*, 36(3), 855–872.
75. Zanne, M., Twrdy, E. in Batista, M. (2022, 26. maj). *Road freight transport sector in slovenia and its contribution to the macroeconomic indicators as compared to eu averages*. 5th Logistics International Conference, Belgrade.