

Poročilo C1.1, Zvezek 4:

Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in
srednjeročni izzivi

Industrija

Končno poročilo

LIFE ClimatePath2050 (LIFE16 GIC/SI/000043)

Poročilo *Industrija* je četrti zvezek poročila *Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in srednjeročni izzivi*, pripravljenega v okviru projekta *LIFE Podnebna pot 2050, Slovenska podnebna pot do sredine stoletja* (LIFE ClimatePath2050 »*Slovenian Path Towards the Mid-Century Climate Target*«, LIFE16 GIC/SI/000043). Projekt izvaja konzorcij, ki ga vodi Institut »Jožef Stefan« (IJS), s partnerji: ELEK, načrtovanje, projektiranje in inženiring, d. o. o., Gradbeni Inštitut ZRMK (GI ZRMK), d. o. o., Inštitut za ekonomska raziskovanja (IER), Kmetijski inštitut Slovenije (KIS), PNZ svetovanje projektiranje, d. o. o., Gozdarski inštitut Slovenije (GIS) in zunanjimi izvajalci.

ŠT. POROČILA/REPORT N.:

Poročilo C1.1, Zvezek 4, ver. 2.0

DATUM/DATE:

31. maj 2018
(14. december 2022, končna, urejena verzija)

AVTORJI/AUTHORS:

dr. Matevž Pušnik,
mag. Stane Merše
mag. Damir Staničič
Marko Pečkaj, *univ. dipl. inž. str.*
dr. Marko Matkovič
dr. Robert Kocjančič, vsi IJS
mag. Zvone Košnjek
dr. Miro Bugeza
dr. Damijan Kopše, vsi ELEK

REPORT TITLE/NASLOV POROČILA:

Deliverable C1.1: Climate Mitigation 2050 Potentials and Mid-term Challenges, Part 4: GHG emission reduction potential in industry, including resource efficiency options

Poročilo projekta C1.1: Potenciali za zmanjšanje emisij TGP do leta 2050 in srednjeročni izzivi, Zvezek 4: Industrija

Vsebina

UVOD	6
INTRODUCTION	9
1 PREGLED SEDANJEGA STANJA V INDUSTRIJI	12
1.1 SPLOŠNO	12
1.2 POUČENJE ENERGETSKO INTENZIVNIH DEJAVNOSTIH	15
1.2.1 PROIZVODNJA KOVIN	15
1.2.2 PROIZVODNJA PAPIRJA IN IZDELKOV IZ PAPIRJA	17
1.2.3 PROIZVODNJA NEKOVINSKIH MINERALNIH IZDELKOV	18
1.2.4 PROIZVODNJA KEMIČNIH IZDELKOV	20
1.2.5 OSTALE INDUSTRIJSKE PANOGI	21
1.3 POUČENJE OVE	23
1.4 PROCESNE EMISIJE	23
1.5 DRUGO	25
2 PREGLED TEHNOLOGIJ IN REŠITEV ZA ZMANJŠANJE EMISIJ TGP	26
2.1 KLJUČNE TEHNOLOGIJE PO PANOGAH	26
2.1.1 PROIZVODNJA KOVIN	26
2.1.2 PROIZVODNJA PAPIRJA IN IZDELKOV IZ PAPIRJA	29
2.1.3 PROIZVODNJA NEKOVINSKIH MINERALNIH IZDELKOV	31
2.1.4 OSTALE INDUSTRIJSKE PANOGI	34
2.2 IZKORŠČANJE ODVEČNE TOPLOTE	34
2.2.1 STIRLINGOV MOTOR	36
2.2.2 PREDGRETJE ZGOREVALNEGA ZRAKA	37
2.2.3 SUŠENJE IN PREDGRETJE	37
2.2.4 RANKINOV PARNI KROŽNI PROCES Z UPORABO ORGANSKIH SPOJIN (ORC)	37
2.2.5 PARNI STROJ	38
2.2.6 TOPLOTNE ČRPALKE	38
2.2.7 SORPCIJSKO HLAJENJE	38
2.2.8 OGREVANJE	38
2.3 IZKORIŠČANJE OBNOVLJIVIH VIROV ENERGIJE	39
2.3.1 HIDRO ENERGIJA	39
2.3.2 LES IN DRUGA TRDNA BIOMASA	40
2.3.3 BIOPLINI	41

2.3.4	FOTOVOLTAIKA.....	41
2.3.5	SOLARNA TERMIČNA	41
2.3.6	VETRNA ENERGIJA.....	41
2.3.7	GEOTERMALNA ENERGIJA IN TOPLOTA IZ OKOLICE	43
2.3.8	TEKOČA BIOGORIVA.....	45
2.4	DRUGE HORIZONTALNE TEHNOLOGIJE.....	45
2.4.1	UČINKOVITI MOTORSKI POGONI.....	45
2.4.2	KOGENERACIJA	47
2.4.3	KOMPRIMIRAN ZRAK.....	48
2.4.4	RAZSVETLJAVA.....	49
3	ANKETA O PORABI ENERGIJE V INDUSTRIJI	50
3.1	ZASNOVA ANKETE.....	50
3.2	REZULTATI ANKETE.....	51
3.2.1	DELEŽI V RABI ENERGIJE PO NAMENIH RABE	51
3.2.2	UČINKOVITI ELEKTROMOTORNI POGONI	53
3.2.3	UČINKOVITA RAZSVETLJAVA	53
3.2.4	UČINKOVITI KOTLI IN IZVEDENI UKREPI.....	53
3.3	DISKUSIJA REZULTATOV	57
4	TEHNIČNI POTENCIAL	61
4.1	ZMANJŠEVANJE EMISIJ TGP V ENERGETSKO INTENZIVNIH DEJAVNOSTIH	61
4.1.1	PROIZVODNJA KOVIN	61
4.1.2	PROIZVODNJA PAPIRJA IN IZDELKOV IZ PAPIRJA	62
4.1.3	PROIZVODNJA NEKOVINSKIH MINERALNIH IZDELKOV	63
4.2	DRUGE HORIZONTALNE TEHNOLOGIJE.....	65
4.2.1	TEHNIČNI POTENCIAL UČINKOVITIH MOTORSKIH POGONOV.....	65
4.2.2	TEHNIČNI POTENCIAL TEHNOLOGIJ SOPROIZVODNJE ELEKTRIKE IN TOPLOTE (SPTE)	65
4.2.3	TEHNIČNI POTENCIAL TEHNOLOGIJ KOMPRIMIRANEGA ZRAKA.....	65
4.2.4	TEHNIČNI POTENCIAL TEHNOLOGIJ RAZSVETLJAVE.....	66
5	SNOVNA UČINKOVITOST IN ZMANJŠANJE EMISIJ TGP 10 STRANI	68
5.1.1	C17 PROIZVODNJA PAPIRJA	69
5.1.2	C20 PROIZVODNJA KEMIKALIJ, KEMIČNIH IZDELKOV	69
5.1.3	C23 PROIZVODNJA NEKOVINSKIH MINERALNIH IZDELKOV	70
5.1.4	C24 PROIZVODNJA KOVIN	70
6	SEZNAMI	73
6.1	SEZNAM OZNAK IN KRATIC	73

6.2	SEZNAM SLIK.....	74
6.3	SEZNAM TABEL.....	76
6.4	VIRI IN LITERATURA.....	76
PRILOGA 1: ZMANJŠEVANJE EMISIJ TGP V INDUSTRIJI – ANKETNI VPRAŠALNIK		79

Uvod

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

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

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

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

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

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

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

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

- **Zvezek 5, Transformacije**, ki vključuje celovit prikaz potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju transformacij. Zvezek obravnava tehnične in ekonomske potencialne za hidroelektrarne, sončne elektrarne, jedrske elektrarne tehnološki in gorivni prehod (*technology switch*), zajem in shranjevanje ogljika, sproizvodnjo toplote in električne energije, male hidroelektrarne, fleksibilne tehnologije (*smart flex technology*), vetrne elektrarne na kopnem, napredna (pametna) omrežja, geotermalne elektrarne in koncentratorske sončne elektrarne. Shranjevanje električne energije, je v celoti, vključno s potenciali za prodor zrelih tehnologij, obravnavano v Zvezku 1;
 - **Zvezek 5a, Analiza potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050**, ki vključuje ekonomske vidike izkoriščanja geotermalne energije, dejavnike in omejitve njenega izkoriščanja, pripravo koncepta in modela za izračun potenciala, izračun na primeru Maribora in analizo potenciala za gosto poseljena območja za celotno Slovenijo;
 - **Zvezek 5b, Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050**, celovit prikaz potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP s pridobivanjem električne energije v Sloveniji iz strešnih elektrarn in samostojnih elektrarn na degradiranih območjih. Analiza vključuje podatke o osončenju, površinah, klimatskih pogojih, degradaciji tehnologije z leti, razvoj tehnologij, možnih izkoristkih površin, ovirah, glede omrežja in povpraševanja oz. možnosti shranjevanja energije, ekonomske parametre za ocen potenciala, ter oceno tehničnega in ekonomskega potenciala.
 - **Zvezek 5c, Študija orientacij streh obstoječega stavbnega fonda v Sloveniji**, ki pomeni nadgradnjo analize potenciala sončnih elektrarn z natančnejšo analizo orientacije streh v Sloveniji na podlagi katastra stavb in aerolaserskega skeniranja, izračune ter rezultate izračunanih segmentov po razredih nagibov in orientacije streh;
- **Zvezek 6, Ostali sektorji - LULUCF**, kjer je celovito prikazano stanje na področju zmanjševanja emisij TGP in povečevanja ponorov v sektorju rabe zemljišč, spremembe rabe zemljišč in gozdarstvo (LULUCF), kjer so podani ukrepi in tehnični potencial na gozdnih, kmetijskih in drugih zemljiščih. Podana so tudi izhodišča za; vrednotenje ekonomskega potenciala;
- **Zvezek 7, Analiza - razsvetljava v Sloveniji do leta 2050**, v kateri so predstavljene perspektive na področju razvoja tehnologij in njihove uporabe v gospodinjstvih, industriji in stavbah storitvenega sektorja ter zunanje razsvetljave, vključno z novimi tehnologijami;
- **Zvezek 8, Analiza dejavnikov, povezanih s finančnimi sposobnostmi gospodinjstev, ki vplivajo na odločanje o investicijah za učinkovito rabo energije**, ki podaja in dokumentira analizo v celoti. Predstavljeni rezultati vključujejo: značilnosti gospodinjstev, ki so izvedla posamezne investicije za učinkovito rabo energije, ki so uporabila spodbude Eko sklada, glede njihove opremljenosti in glede na sposobnosti za financiranje potrebnega obsega investicij;
- **Part 9. Financiranje prehoda v nizkoogljično družbo v Sloveniji – ključni izzivi in strateške usmeritve**, naslavlja naslednje vsebine in izzive: trenutno strukturo javnega

financiranja, ki je pomembna za podnebje, naložbe v nizkoogljične možnosti, institucionalna ureditev, povezana z upravljanjem javnih podnebnih financ, ureditev finančnega sektorja, vprašanja distribucije in sprejemljivosti;

- **Zvezek 10: Metodologija**, v katerem so podana izbrana poglavja o metodologijah za ocene potencialov: okvir za oceno tehničnega in ekonomskega potenciala za izkoriščanje plitve geotermalne energije, ocena potenciala sončne energije, analiza dejavnikov povezanih s finančnimi sposobnostmi gospodinjstev za izvedbo ukrepov URE in OVE ter ocena potenciala za izkoriščanje odvečne toplote v industriji. V tem poročilu so izpostavljene izbrane metodologije, opisi ostalih uporabljenih metodologij so podani v posameznem zvezku;
- **Dodatek 1: Povzetek rezultatov in gradiva tehničnih delavnic**, obsega Poročilo o delavnici, program delavnice in predstavitev z delavnic: *Izkoriščanje trde biomase v energetske namene in potenciali do leta 2050, poroči in Prihodnost zemeljskega plina in razvoj niskoogljičnih nadomestnih goriv* obsega. Za gradiva z ostalih delavnic na področjih analize potencialov glej spletno stran projekta (*Poročilo 5.3. Gradiva objavljena na spletni strani projekta - sinteza delavnic analize scenarijev*).

Introduction

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

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

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

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

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

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

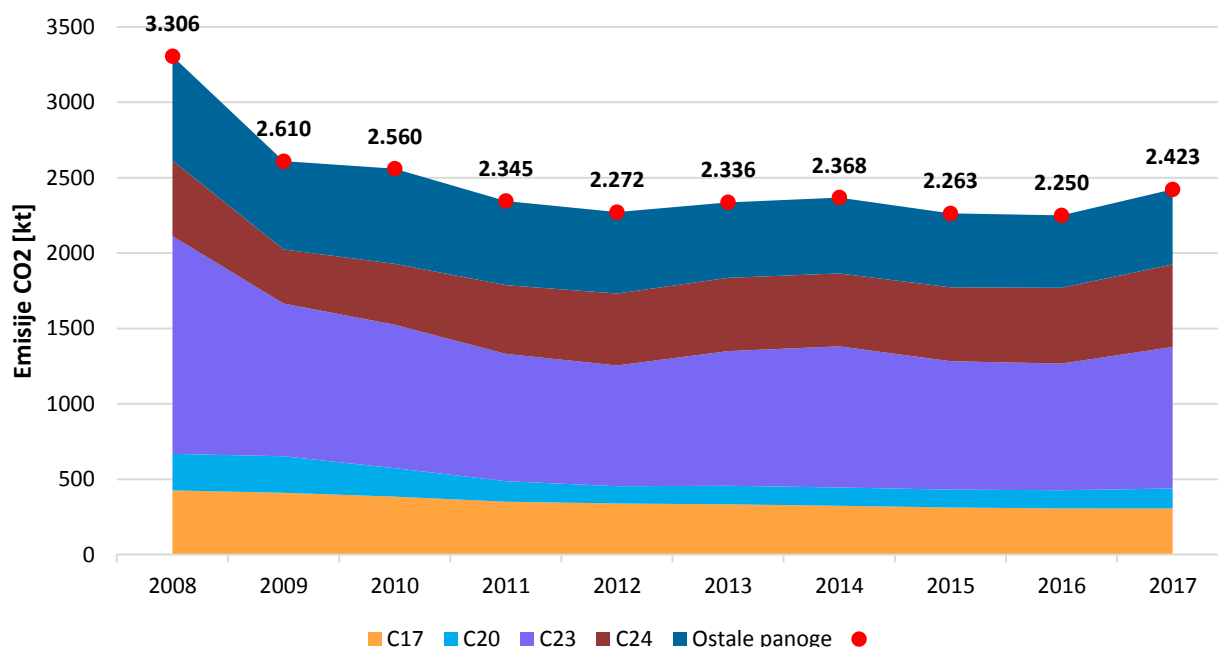
- **Part 4, Industry**, includes overview of potentials for GHG reduction in the industrial sector. The overview of technologies includes technologies used in energy intensive branches by branch, waste heat use and horizontal technologies including energy efficient electric motors, compressed air, lighting,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

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

1 Pregled sedanjega stanja v industriji

1.1 Splošno

V predelovalnih dejavnostih v Sloveniji smo v 2017 emitirali 2423 kt emisij CO₂. Če si ogledamo emisije po industrijskih panogah, lahko ugotovimo, da največ emisij v predelovalnih dejavnostih (emisije goriv in procesne emisije) pripisujemo panogi nekovinskih mineralnih izdelkov C23 (39 %), sledijo proizvodnja kovin z 22 %, proizvodnja papirja s 13 % in proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov s 5 %, ostale panoge skupaj emitirajo 21 % emisij CO₂ v predelovalnih dejavnostih. V primerjavi z letom 2008 so se emisije CO₂ v predelovalnih dejavnostih znižale za 27 %, v zadnjem letu pa je opazen trend ponovne rasti, predvsem zaradi proizvodnje (Slika 1). Emisije so se v letu 2017 povečale za skoraj 8 % v primerjavi z letom 2016, pri čemer se je raba energije v predelovalnih dejavnostih povečala za okoli 4 %.

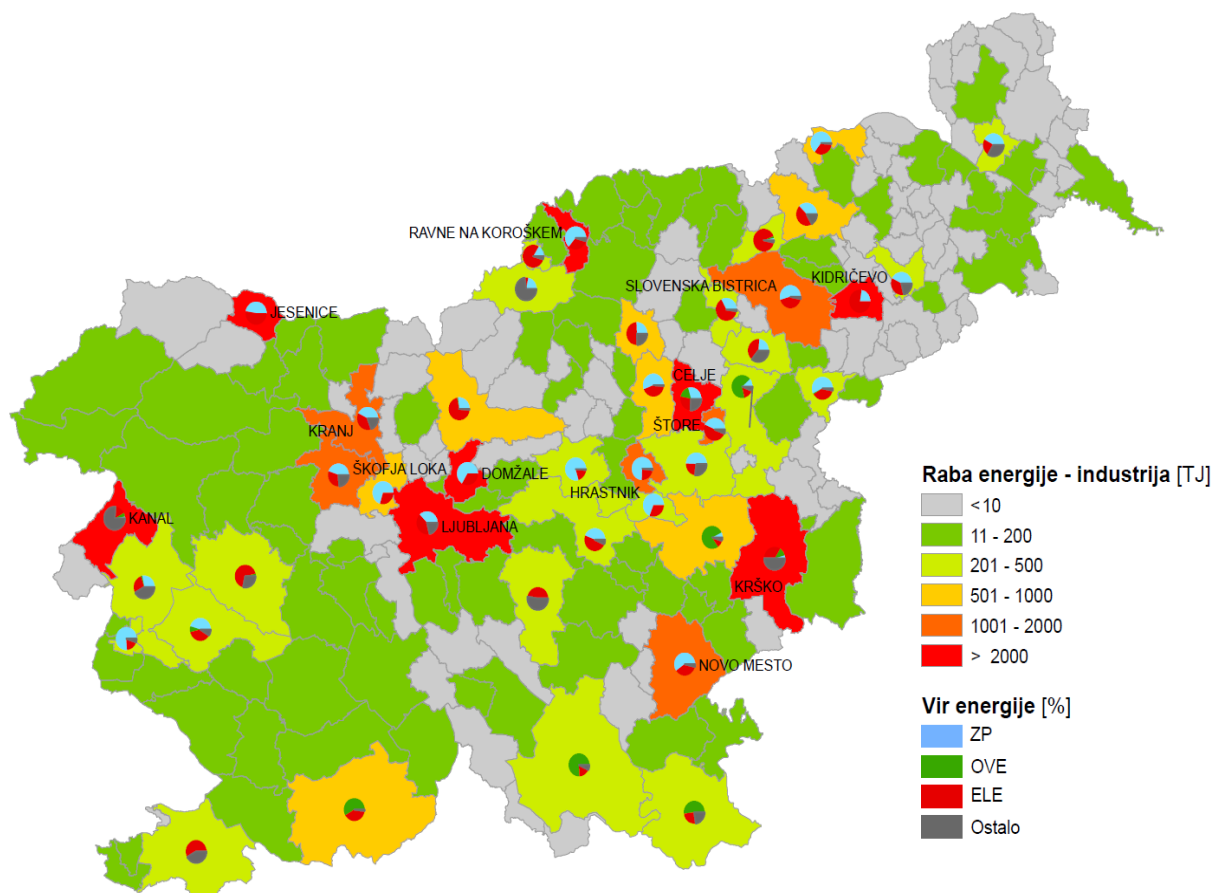


Slika 1: Emisije CO₂ v predelovalnih dejavnostih po panogah (vir: UNFCCC: NIR, 2019)

V letu 2017 je bilo v slovenski industriji skupaj porabljenih okoli 50 PJ⁸ vse energije. Slika 2 prikazuje rabo energije v industrijskih panogah po občinah. Lepo so vidni predstavniki energetsko intenzivnih panog v občinah: Kanal (proizvodnja apna in cementa), Jesenice (železarna), Kranj (proizvodnja gum), Škofja loka (izolacijski material), Ljubljana (farmacevtska, papirna, kovinska industrija), Domžale (proizvodnja kartona, proizvodnja barv), Ravne na koroškem (železarna), Hrastnik (steklarna), Novo mesto (farmacevtska industrija), Celje (kemijsko-predelovalno dejavnost), Štore (železarna), Slovenska Bistrica (aluminij), Kidričevo (aluminij). Iz slike je lepo razvidna tudi struktura rabe energentov, kjer na območjih s plinovodnim omrežjem razen zemeljskega plina in električne energije ni veliko drugih energentov. Precej drugačna je slika na območjih brez plinovodnega omrežja, kjer pa se v precej večji meri že uporabljajo obnovljivi viri

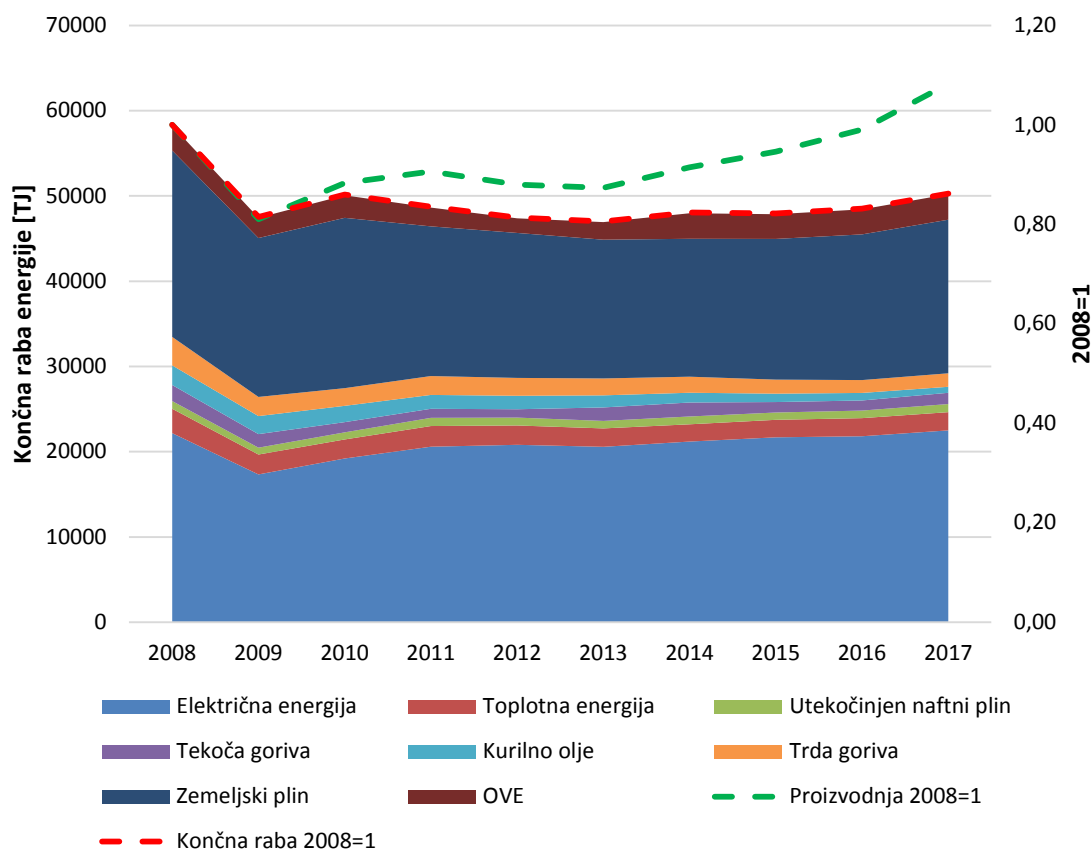
⁸ Končna energija, poraba goriv za transformacijo ni vključena. Pri porabi goriv ni zajeta poraba goriv za proizvodnjo električne energije pri samoproizvajalcih.

energije. V skupni porabi energije v industriji danes tekoča in trdna goriva predstavljajo le 9 % delež, 45 % predstavlja delež električne energije, 36 % delež zemeljskega plina, 6 % delež OVE in 4 % delež toplotne energije.



Slika 2: Raba energije v predelovalnih dejavnostih po občinah in struktura goriv v 2017

Z nastopom gospodarske krize se je raba energije opazno znižala (leta 2017 je bila skupna raba za 14 % nižja kot v letu 2008), po letu 2013 pa je ponovno opazen trend rasti, ki pa je precej različen po panogah. Slika 3 prikazuje gibanje proizvodnje in strukturo rabe energije v predelovalnih dejavnostih. Raba energije v proizvodnji kovin se povečuje že vse od leta 2009 in je v letu 2016 že dosegla raven rabe iz leta 2008, kar velja tudi za proizvodnjo kemikalij in kemičnih izdelkov. Manjša skupna rast rabe končne energije v industriji je predvsem posledica večjega znižanje rabe energije v proizvodnji nekovinskih mineralnih izdelkov (42 % znižanje) in papirni industriji (11 % znižanje), raba energije v ostalih panogah pa je bila v letu 2017 v primerjavi z letom 2008, kljub ponovni rasti po letu 2013, nižja za 17 %.



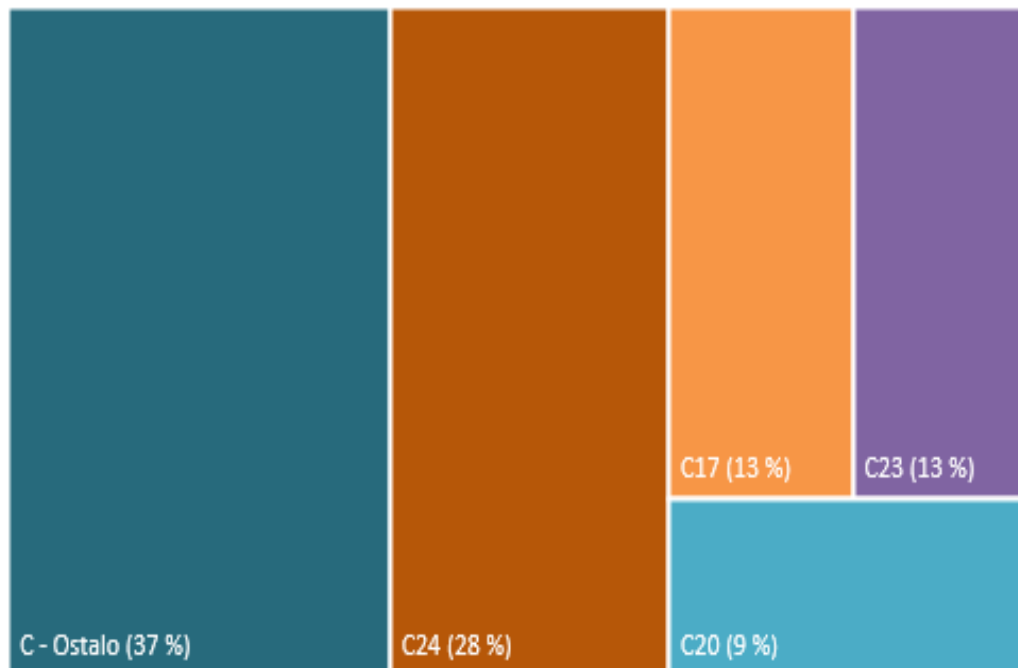
Slika 3: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v predelovalnih dejavnostih (vir: SURS, 2019)

Vlogo in prispevek energetsko intenzivnih panog, ki v skupni končni rabi energije v industriji dosegajo skoraj 2/3 (63 %), lepo ilustrira Slika 4, ki prikazuje deleže posameznih panog predelovalnih dejavnostih v končni energiji za leto 2017, pri čemer velikost pravokotnika predstavlja delež in prispevek posamezne panoge.

Če si ogleđamo končno rabo energije v predelovalnih dejavnostih v letu 2017, lahko opazimo, da se največ energije porabi v panogi C24 - proizvodnja kovin (28 %), sledijo proizvodnja papirja s 13 %, proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov prav tako s 13 % in proizvodnja kemikalij z 9 %. V ostalih panogah se porabi 37 % celotne končne rabe energije v predelovalnih dejavnostih.

Zanimiva specifična energetsko intenzivnih panog je tudi dejstvo, da skupaj predstavljajo le slabih 13 % celotne dodane vrednosti⁹ v industriji (podatki za leto 2017). Energetsko intenzivne panoge prispevajo v povprečju le 3 % vsaka, pri čemer prispeva C20 - proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov 4 %, proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov 3 %, proizvodnja kovin 4 % in proizvodnja papirja 2 %.

⁹ Dodana vrednost v stalnih cenah je enaka proizvodnji v stalnih cenah, zmanjšani za vmesno potrošnjo v cenah kupcev. Dodana vrednost v stalnih cenah je tudi enaka vsoti sredstev za zaposlene, plačanim drugim davkom na proizvodnjo, zmanjšanim za prejete druge subvencije za proizvodnjo, ter vsoti bruto poslovnega presežka in bruto raznovrstnega dohodka.



Slika 4: Struktura rabe energije v predelovalnih dejavnostih v letu 2017 (vir: SURS, 2019)

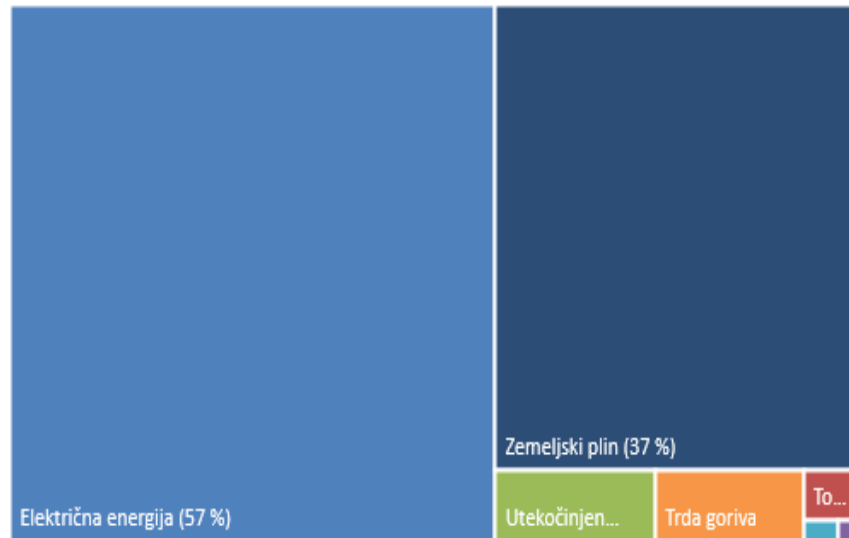
1.2 Poudarki energetske intenzivnih dejavnosti

1.2.1 Proizvodnja kovin

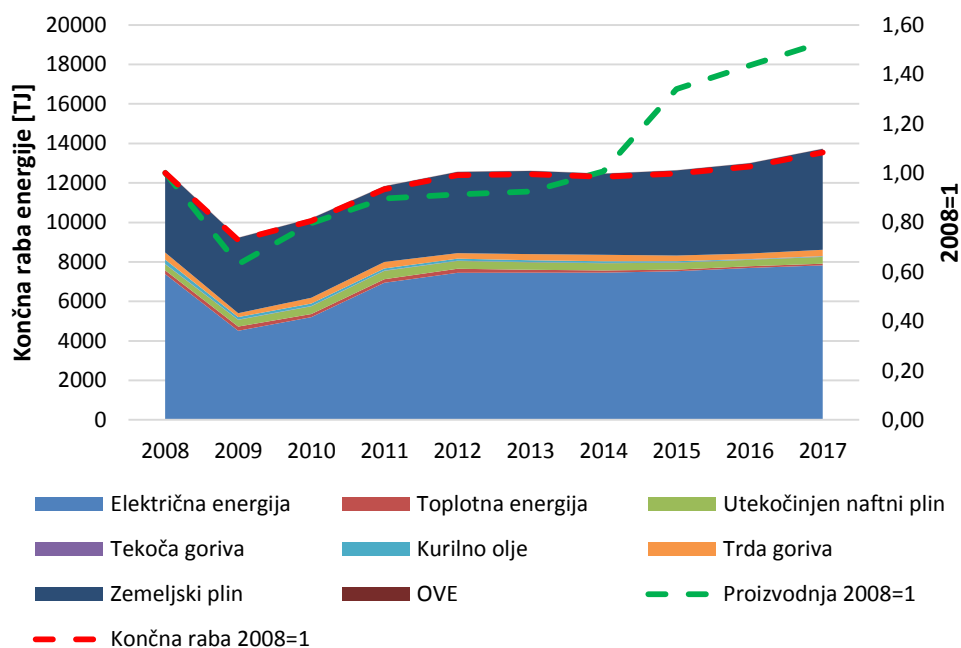
Proizvodnja kovin predstavlja več kot četrtno porabe energije v slovenski industriji. Po standardni klasifikaciji dejavnosti panogo predstavljajo C24.1 proizvodnja surovega železa, jekla in ferolitina, C24.2 proizvodnja jeklenih cevi, votlih profilov in fittingov, C24.3 druga primarna predelava železa in jekla (jeklarne) ter C24.4 proizvodnja plemenitih in drugih neželeznih kovin (proizvodnja aluminija). V letu 2017 se je v panogi C24 porabilo 13,7 PJ energije (28 % rabe energije v predelovalnih dejavnostih), pri čemer predstavlja zemeljski plin s 5,1 PJ okoli 28 % rabe energije panoge. Električna energija predstavlja glavno - skoraj 60 % rabe energije panoge, manjšo vlogo pa imajo utekočinjen naftni plin (3 %), trda goriva - predvsem koks in črni premog (2 %) ter toplotna energija (0,6 %) in kurilno olje (0,2 %), kot prikazuje Slika 5.

Kot ključna energenta panoge lahko izpostavimo električno energijo (57 %) in zemeljski plin (37 %). Raba zemeljskega plina se povečuje, v primerjavi z letom 2008 je leta 2017 višja za 22 %, podobno velja tudi za ostale energente, z izjemo kurilnega olja (-90 %), trdih goriv (-11 %) in daljinske toplote (-56 %), kjer se je raba izrazito zmanjšala.

Proizvodnja¹⁰ v letu 2017 je bila za kar 53 % višja od proizvodnje v letu 2008. V letu 2009 lahko opazimo močan vpliv ekonomsko finančne krize, ko se je proizvodnja zmanjšala kar za 37 %, v letu 2014 pa je proizvodnja ponovno dosegla raven iz leta 2008 (Slika 6).



Slika 5: Struktura rabe energije v panogi C24 - proizvodnja kovin v letu 2017 (SiStat - Baza Statističnega urada Slovenije, 2019)



Slika 6: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v panogi C24 - proizvodnja kovin (vir: SURS, 2019)

¹⁰ Izražena vrednostno, po podatkih SURS ter normirana glede na leto 2008.

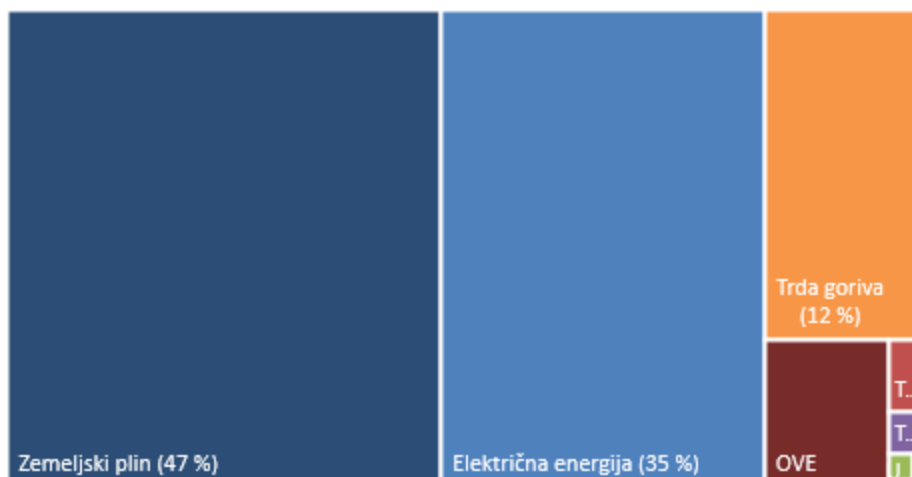
Ključne tehnologije: električne obločne peči (elektrika, zemeljski plin, manjši delež) in peči za taljenje in obdelavo (zemeljski plin, elektrika), elektroliza.

1.2.2 Proizvodnja papirja in izdelkov iz papirja

Raba energije v tej industrijski panogi predstavlja 13 % celotne rabe energije v predelovalnih dejavnostih. Končna raba energije v tej industrijski panogi je v letu 2017 znašala 6,6 PJ. Raba zemeljskega plina v tej panogi predstavlja 3,1 PJ, kar predstavlja skoraj polovico (47 %) celotne rabe energije v panogi. Kot pomembnejše energente lahko izpostavimo zemeljski plin (47 %), električno energijo (35 %) in trda goriva (12 %), predvsem rjavi premog in lignit. Manjšo vlogo pa imajo les in lesni odpadki (4 %), toplotna energija (0,6 %), tekoča goriva (0,3 %), kurilno olje (0,1 %) in utekočinjen naftni plin (0,2 %), ki skupaj predstavljajo okoli 5 % končne rabe energije v tej industrijski panogi. Slika 7 prikazuje strukturo rabe energije v panogi C17 - proizvodnja papirja in izdelkov iz papirja v letu 2017, pri čemer predstavlja velikost posameznega pravokotnika sorazmerni delež rabe določenega energenta v obravnavani panogi. Raba zemeljskega plina se zmanjšuje, v primerjavi z letom 2008 je manjša za 26 %, kar je predvsem posledica prenehanja proizvodnje celuloze in ustavitve nekaterih SPTE zaradi starosti in neupravičenosti do prejemanja podpor iz podporne sheme.

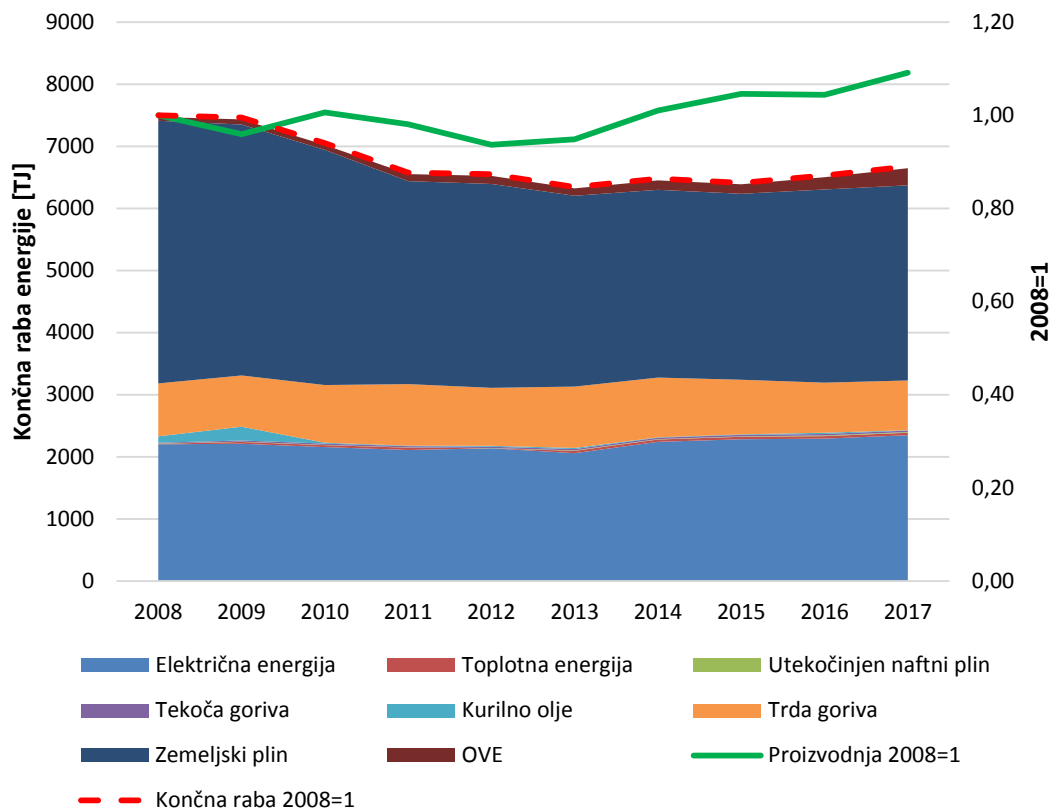
Proizvodnja¹¹ obravnavane panoge je v letu 2017 predstavljala 9 % višjo proizvodnjo, kot leta 2008. V primerjavi z letom 2014, ko je proizvodnja nekako dosegla raven iz leta 2008, se je proizvodnja povečala za 8 % (Slika 8). V letu 2009 lahko opazimo vpliv ekonomsko finančne krize, po letu 2010 pa je zaznati znižanje proizvodnje, kar je predvsem posledica prenehanja proizvodnje celuloze (okoljske zahteve).

Ključne tehnologije: kotli za pripravo pare ter kotli za pripravo kemikalij za kuhanje in beljenje (zemeljski plin, trda goriva, les in lesni odpadki); peči za sušenje in procesno obdelavo (elektrika, zemeljski plin enote SPTE (zemeljski plin, les in lesni odpadki)).



Slika 7: Struktura rabe energije v panogi C17 - proizvodnja papirja in izdelkov iz papirja v letu 2017 (vir: SURS, 2019)

¹¹ Izražena vrednostno, po podatkih SURS ter normirana glede na leto 2008.



Slika 8: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v panogi C17 - proizvodnja papirja in izdelkov iz papirja (vir: SURS, 2019)

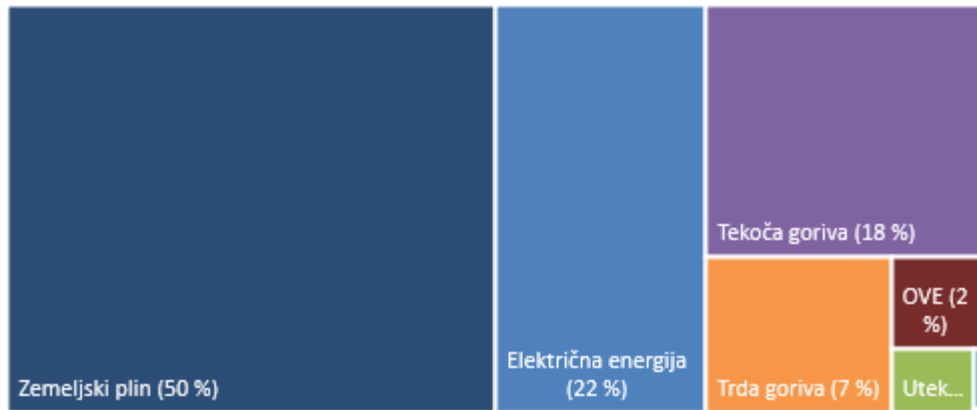
1.2.3 Proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov

Raba energije v tej industrijski panogi predstavlja 13 % celotne rabe energije v predelovalnih dejavnostih. Končna raba energije v tej industrijski panogi je v letu 2017 znašala 6,4 PJ. Raba zemeljskega plina v tej panogi predstavlja 3,1 PJ, kar tudi v tej panogi, podobno kot pri proizvodnji papirja, predstavlja skoraj polovico (50 %) celotne rabe energije v panogi. Kot pomembnejše energente lahko izpostavimo zemeljski plin (50 %), električno energijo (22 %), tekoča goriva, predvsem petrol koks (skupaj 19 %), trda goriva predstavljajo 7 %, manjšo vlogo imajo toplotna energija, les in lesni odpadki ter odpadna olja, ki skupaj predstavljajo okoli 2 % končne rabe energije v tej industrijski panogi (Slika 9). Raba zemeljskega plina se v panogi C23 - proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov zmanjšuje, v primerjavi z letom 2008 je manjša za 32 %, kar je predvsem posledica krize gradbene industrije ter posledično znižanja proizvodnje in zaustavitve nekaterih obratov, svoje dodajo še ukrepi učinkovite rabe energije ter vpeljevanje alternativnih virov energije.

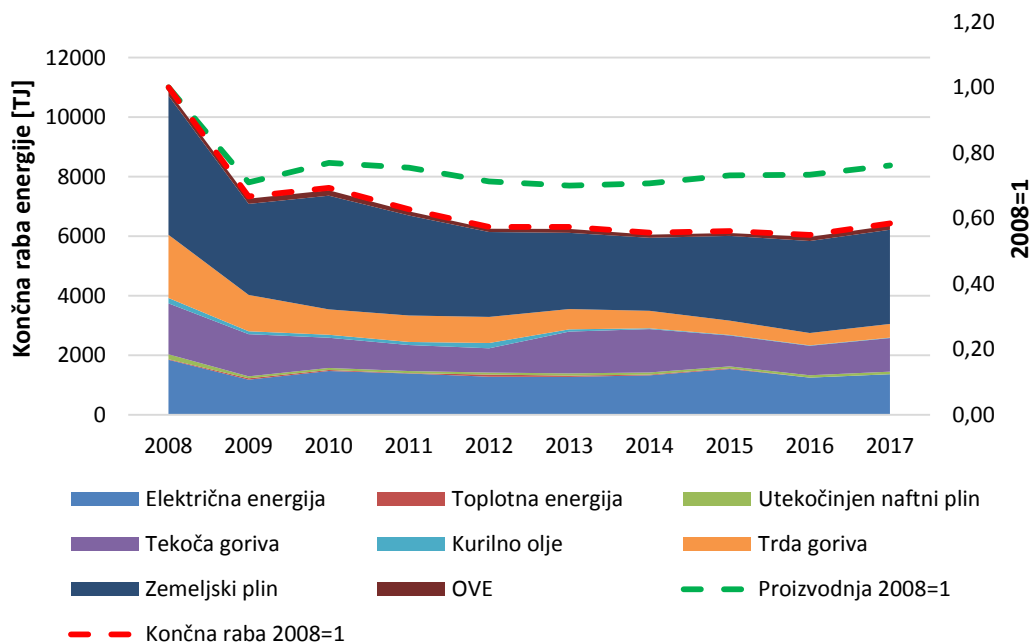
Proizvodnja¹² je v letu 2017 predstavljala le 76 % proizvodnje iz leta 2008. Po letu 2009 se je proizvodnja giblje okoli 73 % proizvodnje iz obdobja pred ekonomsko finančno krizo (Slika 10).

¹² Izražena vrednostno, po podatkih SURS ter normirana glede na leto 2008.

Ključne tehnologije: rotacijske peči za proizvodnjo klinkerja (zemeljski plin, alternativna goriva (odpadne pnevmatike, 2D in 3D goriva¹³, mulj iz čistilnih naprav, odpadno olje,...), električna), peči za taljenje in obdelavo stekla (zemeljski plin, kurilno olje); peči za sušenje in procesno obdelavo (električna, zemeljski plin), kotli za pripravo pare (zemeljski plin, kurilno olje, les in lesni odpadki).



Slika 9: Struktura rabe energije v panogi C23 - proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov v letu 2017 (vir: SURS, 2019)



Slika 10: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v panogi C23 - proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov (vir: SURS, 2019)

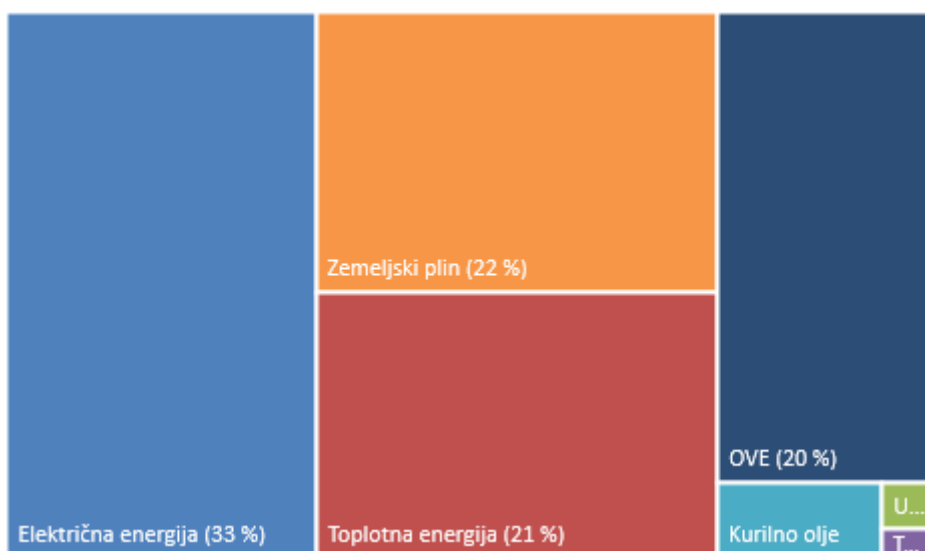
¹³ 2D gorivo je pred pripravljeno stisnjeno gorivo iz posameznih ločeno zbranih frakcij trdnih nenevarnih odpadkov, pri katerih prevladuje plastika, možni pa so še dodatki npr. tekstila, papirja, lesa, itd. Nenevarni odpadki so tudi tako imenovana 3D goriva, ki so trdno gorivo večjega premera pripravljeno iz nenevarnih odpadkov

1.2.4 Proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov

Raba energije v tej industrijski panogi predstavlja 9 % celotne rabe energije v predelovalnih dejavnostih. Končna raba energije v tej industrijski panogi je v letu 2017 znašala 4,7 PJ. Raba zemeljskega plina v tej panogi predstavlja 1 PJ, kar predstavlja skoraj četrtino (22 %) celotne rabe energije v branži. Kot pomembnejše energente lahko izpostavimo električno energijo (33 %), zemeljski plin (22 %), toplotno energijo (21 %) in les in lesne odpadke (20 %). Manjšo vlogo imajo utekočinjen naftni plin (0,5 %), kurilno olje (3 %) in dizelsko gorivo (0,3 %), ki skupaj predstavljajo okoli 4 % končne rabe energije v tej industrijski panogi (Slika 11).

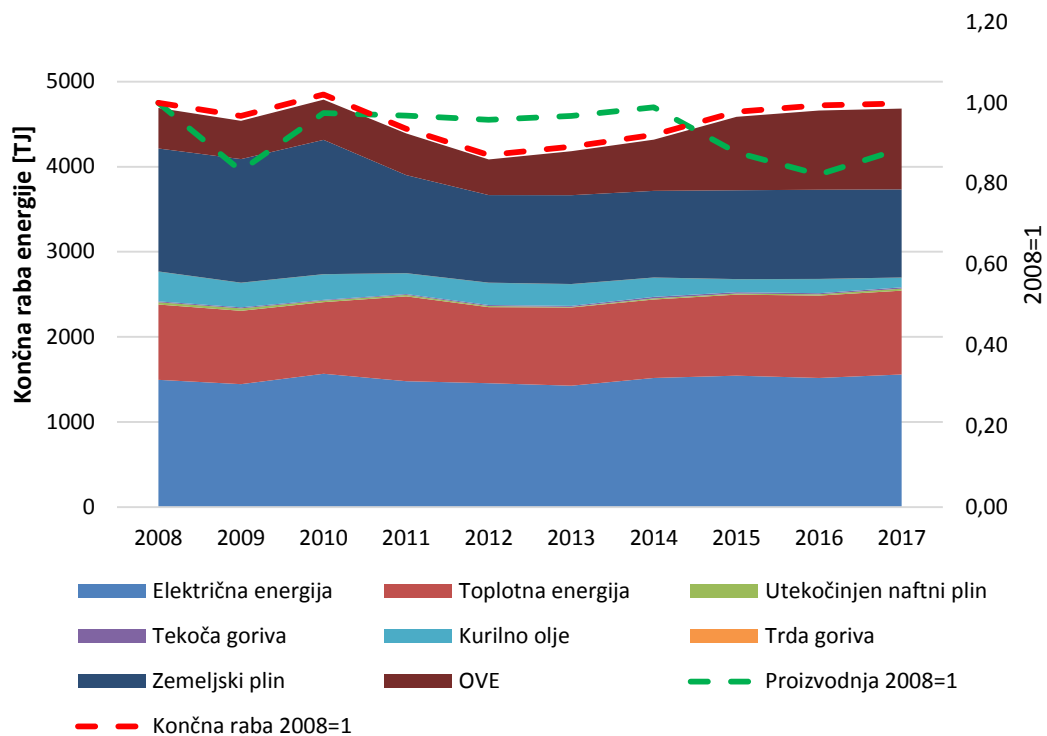
Proizvodnja¹⁴ je v letu 2017 predstavljala 89 % proizvodnje iz leta 2008. V letu 2009 lahko opazimo vpliv ekonomsko finančne krize, zaradi katere se je proizvodnja zmanjšala za 17 %, po letu 2010 pa se je proizvodnja gibala okoli vrednosti 92 % proizvodnje iz leta 2008 (Slika 12).

Ključne tehnologije: peči za doseganje temperatur potrebnih za specifične kemične procese, peči za sušenje (elektrika, zemeljski plin), kotli za pripravo pare v parnih sistemih (zemeljski plin, toplotna energija, les in lesni odpadki), enote SPTE (zemeljski plin, les in lesni odpadki).



Slika 11: Struktura rabe energije v panogi C20 - proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov v letu 2017 (vir: SURS, 2019)

¹⁴ Izražena vrednostno, po podatkih SURS ter normirana glede na leto 2008.



Slika 12: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v panogi C20 - proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov (vir: SURS, 2019)

Ključne tehnologije: peči za doseganje temperatur potrebnih za specifične kemične procese, peči za sušenje (elektrika, zemeljski plin), kotli za pripravo pare v parnih sistemih (zemeljski plin, toplotna energija, les in lesni odpadki), enote SPTE (zemeljski plin, les in lesni odpadki).

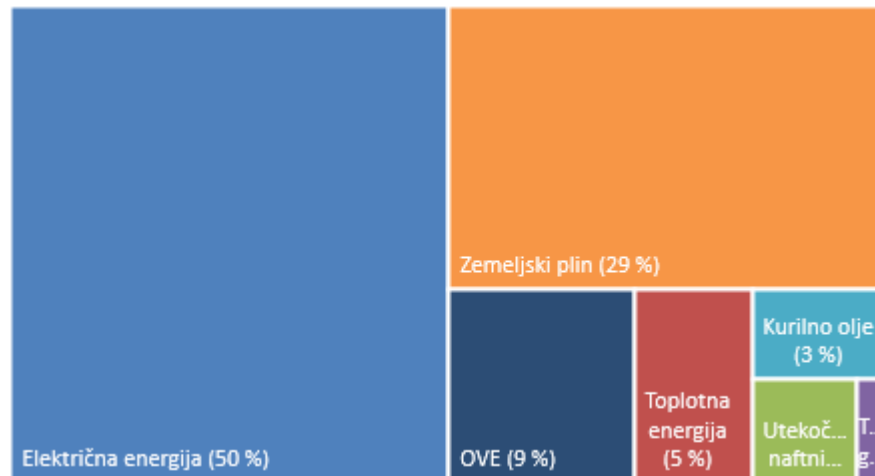
Nekatera strokovna literatura obravnava panogi C20 proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov in C21 proizvodnja farmacevtskih surovin in preparatov agregirano in sicer, kot proizvodnja kemikalij in farmacevtskih izdelkov. Za potrebe ločene obravnave energetske intenzivnih industrijskih panog smo panogo C21 proizvodnja farmacevtskih surovin in preparatov, vključili med ostale industrijske panoge.

1.2.5 Ostale industrijske panoge

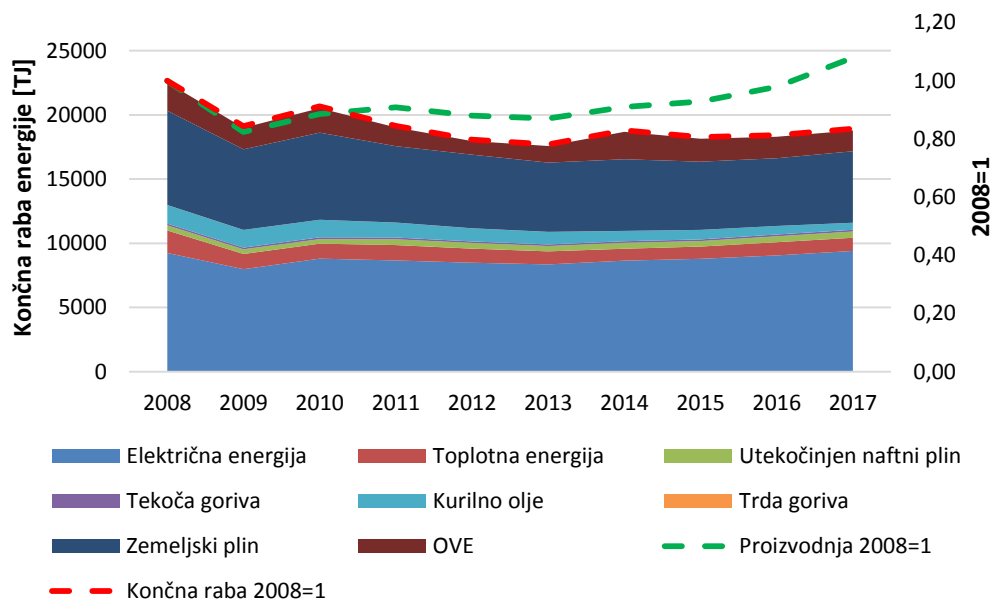
Raba energije v ostalih industrijskih panogah predstavlja 37 % celotne rabe energije v predelovalnih dejavnostih. Končna raba energije v ostalih industrijskih panogah je v letu 2017 znašala 18,8 PJ. Raba zemeljskega plina v tej panogi predstavlja 5,5 PJ, kar predstavlja skoraj 30 % celotne rabe energije v sektorju ostalih industrijskih panog. Kot pomembnejše energente lahko izpostavimo električno energijo (50 %), zemeljski plin (29 %), les in lesni odpadki (9 %), toplotna energija (5 %), kurilno olje (3 %) in utekočinjen naftni plin (3 %) in dizelsko gorivo z 1 %, kar prikazuje Slika 13.

Proizvodnja¹⁵ je v letu 2017 predstavljala 108 % proizvodnje iz leta 2008. Po letu 2009 se je proizvodnja gibala med 82 % in 94 % proizvodnje obdobja pred ekonomsko finančno krizo. V letu 2009 lahko opazimo vpliv ekonomsko finančne krize, po letu 2013 pa lahko zaznamo ponovno rast proizvodnje in sicer za 21 odstotnih točk do leta 2017, kar prikazuje Slika 14.

Ključne tehnologije: peči za ogrevanje in sušenje (zemeljski plin, električna), peči za taljenje, kuhanje in procesno obdelavo (zemeljski plin), kotli za pripravo pare (zemeljski plin, kurilno olje, les in lesni odpadki), enote SPTE (zemeljski plin, les in lesni odpadki).



Slika 13: Struktura rabe energije v ostalih ind. panogah v letu 2017 (vir: SURS, 2019)



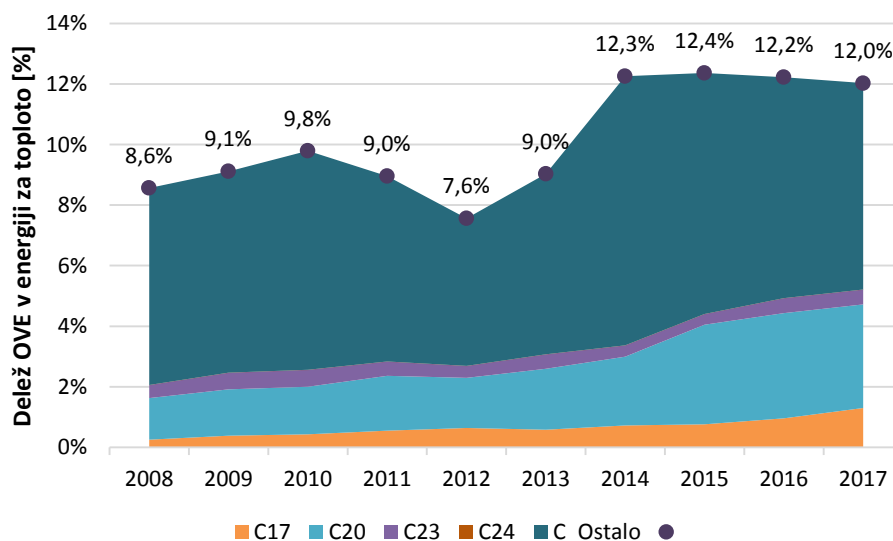
Slika 14: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v ostalih industrijskih panogah (vir: SURS, 2019)

¹⁵ Izražena vrednostno, po podatkih SURS ter normirana glede na leto 2008.

1.3 Poudarki OVE

Obnovljivi viri energije v industriji predstavljajo relativno majhen delež. V letu 2017 je delež obnovljivih virov energije v rabi energije (skupaj s transformacijami) znašal 6,7 %. Ključni energent so les in lesni odpadki, ki predstavljajo 96 % obnovljivih virov energije v predelovalnih dejavnostih, v panogi nekovinskih mineralnih izdelkov pa zaznamo tudi rabo odpadnih olj, ki predstavlja 4 % rabe obnovljivih virov energije v predelovalnih dejavnostih. Raba obnovljivih virov energije v predelovalnih dejavnostih je v letu 2017 znašala 3,5 PJ, od tega pripisujemo lesu in lesnim odpadkom 3,4 PJ in 0,1 PJ odpadnim oljem.

Če si ogledamo še zastopanost obnovljivih virov po panogah v letu 2017, lahko ugotovimo, da se je v panogi proizvodnja kemikalij in kemičnih izdelkov porabilo največ obnovljivih virov energije, raba OVE v tej panogi predstavlja 1,9 % rabe energije v predelovalnih dejavnostih, sledijo proizvodnja papirja z 0,7 %, proizvodnja nekovinski mineralnih izdelkov z 0,3 %, v proizvodnji kovin po statistiki ni porabe obnovljivih virov energije, v ostalih panogah pa raba OVE predstavlja 3,8 % obnovljivih virov energije v predelovalnih dejavnostih. Slika 15 prikazuje gibanje deleža OVE v energiji potrebni za toploto v obdobju od 2008 do 2017 za posamezne industrijske panoge. Opazimo lahko, da se delež povečuje in je znašal 12 % v letu 2017, kar je 3,4 odstotne točke več kot leta 2008, pri čemer se je raba obnovljivih virov energije v predelovalnih dejavnostih povečala za 8 %.

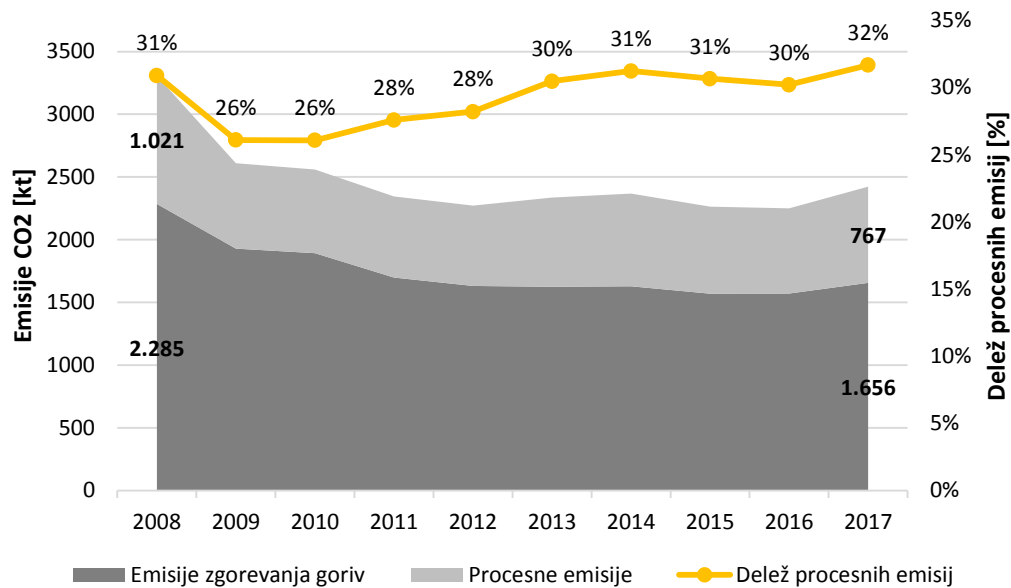


Slika 15: Gibanje deleža OVE v energiji za toploto po panogah (vir: SURS, 2019)

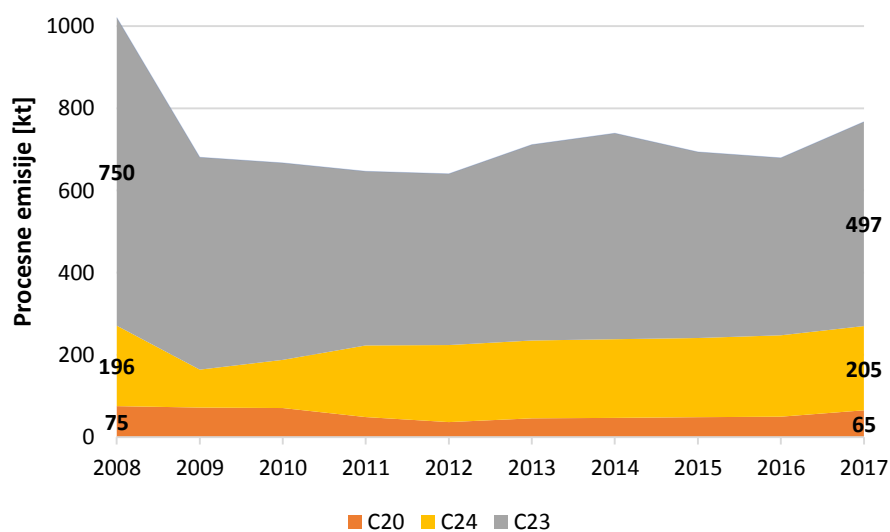
1.4 Procesne emisije

Procesne emisije nastajajo v proizvodnih procesih, kot posledica sproščanja CO₂ zaradi kemičnih reakcij. Industrijske panoge, ki emitirajo poleg emisij zaradi zgorevanja goriv tudi procesne emisije so: proizvodnja kemikalij in kemičnih izdelkov, proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov in proizvodnja kovin. V letu 2017 je v predelovalnih dejavnostih nastalo 767

kt procesnih emisij CO₂ (Slika 16). Največ procesnih emisij emitirajo v proizvodnji nekovinskih mineralnih izdelkov, predvsem kot posledica proizvodnje klinkerja (65 %), sledi proizvodnje kovin z 27 % (procesne emisije so predvsem posledica proizvodnje primarnega aluminija) in proizvodnja kemikalij in kemičnih izdelkov z 8 %. Delež procesnih emisij v skupnih emisijah se je od leta 2009 povečeval in je v letu 2014 dosegel delež iz leta 2008, ki je znašal 31 %. V letu 2017 je ta delež znašal 32 % (UNFCCC, 2019). Slika 17 prikazuje procesne emisije po panogah.



Slika 16: Emisije CO₂ v predelovalnih dejavnostih in delež procesnih emisij (vir: UNFCCC: NIR, 2019)



Slika 17: Procesne emisije po panogah (vir: UNFCCC: NIR, 2019)

Procesne emisije so se v primerjavi z letom 2008 znatno zmanjšale (za 25 %), največ so se zmanjšale v proizvodnji nekovinskih mineralnih izdelkov (za 34 %), sledi proizvodnja kemikalij in kemičnih izdelkov s 14 %, v panogi proizvodnja kovin pa so se procesne emisije povečale za 5 %. V zadnjem letu 2017 pa je opaziti trend povečevanja procesnih emisij, saj so se v primerjavi z letom 2016 povečale za 13 %. Največ so se povečale v panogi proizvodnje kemikalij in kemičnih izdelkov, sledi proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov (15 %) in proizvodnja kovin (4 %).

1.5 Drugo

Podatkovni viri:

Podatki o porabi goriv so dostopni na SURS: <https://www.stat.si/statweb>

Podatkovna baza SiStat → Okolje in naravni viri → Energetika → Poraba energentov in zaloge v rudarstvu, predelovalnih dejavnostih in gradbeništvu → Energetska poraba goriv, električne energije in toplotne energije po dejavnosti (SKD 2008)

Podatki o proizvodnji so dostopni na SURS: <https://www.stat.si/statweb>

Podatkovna baza SiStat → Ekonomsko področje → Nacionalni računi → Bruto domači proizvod, letni podatki (ESR 2010) → Proizvodna struktura BDP (proizvodnja, vmesna potrošnja in dodana vrednost po dejavnostih, SKD 2008)

Podatki o emisijah CO₂ so dostopni v poročilu UNFCCC National Inventory Report (NIR) 2019 za Slovenijo, na spletnem naslovu: <https://unfccc.int/documents/194672>

2 Pregled tehnologij in rešitev za zmanjšanje emisij TGP

Poglavje podaja pregled ključnih tehnologij, ki se v posameznih industrijskih panogah uporabljajo. Podajamo ključne karakteristike tehnologij in ukrepe s katerimi lahko izboljšamo energetske in snovno učinkovitost posameznih procesov.

2.1 Ključne tehnologije po panogah

2.1.1 Proizvodnja kovin

2.1.1.1 Proizvodnja jekla

Opis sektorja

V Sloveniji pridobivamo jeklo z neposrednim taljenjem sekundarnih surovin, ki vsebujejo železo v električnih obločnih pečeh (EAF - Electric Arc Furnace). Tovrstni postopek je manj energetsko intenziven od primarne proizvodnje jekla. Prehod na proizvodnjo jekla iz sekundarnih surovin je ustaljena praksa v jeklarstvu in je predvsem odvisen od razpoložljivosti in kvalitete teh surovin. V letu 2016 je bilo v EU skoraj 40 % jekla proizvedenega iz sekundarnih surovin (Chan, Petithuguenin, Fleiter, Herbst, Arens, & Stevenson, 2019). Glavni energent v električnih obločnih pečeh je električna energija. V primeru, da lahko zagotovimo električno energijo iz obnovljivih virov, lahko emisije CO₂ v proizvodnji jekla znatno znižamo. Neposredno taljenje surovin, ki vsebujejo železo, v glavnem staro odpadno železo, poteka v elektroobločnih pečeh, ki so veliki porabniki električne energije in izvor znatnih emisij v zrak ter trdnih odpadkov/stranskih proizvodov, v glavnem filtrskega prahu in žlindre. Emisije iz peči v zrak vsebujejo številne anorganske spojine (železov oksid in težke kovine v prahu) in organske spojine, npr. pomembne organske klorove spojine. Jeklo nato nadalje toplotno ali mehansko obdelujejo v valjarnah ali kovačnicah. Tehnologije, ki se upoštevajo kot najboljše razpoložljive tehnologije (BAT), odražajo te značilnosti in so osredotočene na ta vprašanja (ARSO, 2012).

Ključne tehnologije in ukrepi

Ključne tehnologije: električne obločne peči (elektrika, zemeljski plin, manjši delež) in peči za taljenje in obdelavo (zemeljski plin, elektrika).

Energetska intenzivnost električne obločne peči se giblje med **400 kWh/t in 600 kWh/t**.

Pri pridobivanju jekla v električnih obločnih pečeh in litju veljajo za BAT naslednje tehnologije ali kombinacije tehnologij (ARSO, 2012), (Remus, Monsonet, Roudier, & Sancho, 2013), (Chan, Petithuguenin, Fleiter, Herbst, Arens, & Stevenson, 2019):

- **Predgrevanje vložka**, s čimer se izrabi toploto plina iz primarnega odvoda: s predgrevanjem dela vložka je mogoče prihraniti približno 60 kWh/t, pri predgrevanju celotnega vložka pa do 100 kWh/t jeklene taline. Izvedljivost predgrevanja vložka je

odvisna od lokalnih okoliščin in jo je treba preveriti za vsak obrat posebej. Pri predgrevanju vložka je treba paziti na morebitna povečanja emisij organskih polutantov;

- **Oxy-fuel gorilniki**, uporabljajo dodatek čistega kisika, kar poveča temperaturo plamena, s čimer lahko zmanjšamo porabo goriva. Sodobne električne obločne peči EAF uporabljajo tovrstne gorilnike za dovajanje toplotne energije hladnim točkam peči, s čimer dosežemo enakomerno segrevanje jekla in s tem bolj optimalno zagotavljanje toplote ter manjšo rabo električne energije.
- **Uporaba odpadne toplote za SPTE**. Kotel za ponovno uporabo odvečne toplote lahko proizvede električno energijo, s čimer lahko za 7,5 % znižamo energijske potrebe električne obločne peči. Tehnologija je komercialno dostopna, vendar se še ne izkorišča v veliki meri, predvsem zaradi predvsem zaradi izredno agresivnega delovnega okolja (prisotnost kemičnih snovi, kisline in izredno visoke temperature).
- **Spremljanje dimnih plinov**. Namestitvev ustreznih merilnikov za zagotavljanje optimalnega izgorevanja.
- **Izraba toplote dimnih plinov**. Preko rekuperacije lahko izrabimo toplotno energijo dimnih plinov in jo znova dovajamo v proces, s čimer znižamo porabo goriva.

Ukrepi BAT, ki so za proizvodnjo železa in jekla navedeni v Izvedbenem sklepu komisije ([Uradni list Evropske unije L 70/63, 2012](#)):

- izboljšanje splošne energetske učinkovitosti:
 - optimizacija porabe energije;
 - spletno spremljanje najpomembnejših pretokov energije in procesov zgorevanja na kraju samem, vključno s spremljanjem celotnega sežiga plinov, da se preprečijo izgube energije, s čimer se omogoči takojšnje vzdrževanje in doseganje nemotenega proizvodnega procesa;
 - poročanje o orodjih za preverjanje povprečne porabe energije pri posameznem procesu in analiza teh orodij;
 - določanje specifičnih ravni porabe energije za ustrezne procese in njihova dolgoročna primerjava;
 - izvajanje energetskih pregledov, kot je opredeljeno v referenčnem dokumentu BAT o energetski učinkovitosti, npr. za določitev stroškovno učinkovitih možnosti za varčevanje z energijo.
- boljše izkoriščanje toplote:
 - sočasno proizvodnjo toplote in električne energije z izkoriščanjem odpadne toplote s toplotnimi izmenjevalniki in distribucijo v druge dele jeklarne ali v omrežje za daljinsko ogrevanje;
 - namestitvev parnih kotlov ali drugih primernih sistemov v velike peči za ponovno segrevanje (peči lahko pokrijejo del potreb po pari);
 - predgrevanje zraka za sežig v pečeh in drugih sistemih za sežig, da se prihrani gorivo, pri čemer se upoštevajo škodljivi vplivi, tj. povečanje količine dušikovih oksidov v odpadnih plinih;

- izolacijo cevi za paro in cevi za toplo vodo;
 - izkoriščanje toplote iz izdelkov;
 - uporabo toplotnih črpalk in solarnih plošč, kadar je treba jeklo ohladiti;
 - uporabo kotlov za dimne pline v pečeh z visokimi temperaturami;
 - izhlapevanje kisika in kompresorsko hlajenje za izmenjavo energije z uporabo standardnih toplotnih izmenjevalnikov;
 - uporabo najboljših rekuperacijskih turbin za pretvarjanje kinetične energije plina v električno energijo.
- Uporaba tehnologij SPTE:
 - sočasna proizvodnja toplote in električne energije se uporablja pri vseh železarnah in jeklarnah v bližini mestnih območij z ustrezno rabo toplote. Specifična poraba energije je odvisna od obsega procesa, kakovosti izdelka in vrste obrata.
 - Ostalo:
 - sistemi gospodarjenja z energijo, oprema za mletje, črpanje, prezračevanje in prenos ter druga električna oprema z visoko energetske učinkovitostjo.

2.1.1.2 Proizvodnja aluminija

Opis sektorja

V Sloveniji proizvajamo tako primarni aluminij, kot tudi izdelke iz sekundarnega aluminija. Primarni aluminij proizvajamo s postopkom elektrolize, ki je energetske zelo intenzivna. Glinica (znana tudi kot aluminijev oksid) je pridobljena iz boksitne rude, ki je glavni vir aluminija. Postopek elektrolize zahteva zelo veliko električne energije, saj poteka redukcija glinice pri temperaturah, ki so večje od 950 °C. Glinica se raztopi v staljenem kriolitu. Ta raztopina se v elektrolizni peči z enosmernim tokom razgradi. Aluminij se nabere na dnu, nastali prosti kisik pa se poveže z ogljikovimi elektrodami v ogljikov dioksid (Talum, 2019).

Elektroliza je daleč najbolj energetske intenziven korak predelave aluminija, ki v najboljših praksah zahteva približno 13.000 kWh/t aluminija (47 GJ/t) (Chan, Petithuguenin, Fleiter, Herbst, Arens, & Stevenson, 2019).

Sekundarni aluminij je proizveden iz ponovnega taljenja aluminijastega materiala, pridobljenega iz odpadnih tokov in postopka recikliranja. Zbrani material se dovajajo v talilno peč, ki deluje pri temperaturah od 700 do 760 °C. Poleg električne energije, ki se porabi v procesih elektrolize se v procesih predelave aluminija porabljajo tudi fosilna goriva, predvsem zemeljski plin za segrevanje aluminijastih ingotov.

Energetske intenzivnost glede na najboljše prakse predelave aluminija je ocenjena na 278 kWh/t aluminija (1 GJ/t) (Chan, Petithuguenin, Fleiter, Herbst, Arens, & Stevenson, 2019).

Ključne tehnologije in ukrepi

Ključne tehnologije: elektroliza (elektrika) in peči za taljenje in obdelavo (zemeljski plin, elektrika).

Pri proizvodnji in predelavi aluminija veljajo za BAT naslednje tehnologije ali kombinacije tehnologij (ARSO, 2016), (Chan, Petithuguenin, Fleiter, Herbst, Arens, & Stevenson, 2019):

- **Optimizacija procesa elektrolize.** Izboljšana zasnova vodil električnega toka lahko kompenzira magnetna polja, ki destabilizirajo postopek redukcije glinice in povečujejo porabo električne energije. Ustrezna zasnova dolžin in oblike vodil uravnoteži magnetno polje, s čimer lahko dosežemo optimalno delovanje celice.
- **Izboljšano prezračevanje in odsesavanje.** Izboljšane naprave za tesnjenje, prezračevanje in sesanje pripomorejo k toplotnemu ravnovesju in znižujejo porabo energije. Te nadgradnje se običajno do določene mere že izvajajo in so skoraj vedno mogoče.
- **Nove zasnove anod** lahko izboljšajo energetske učinkovitost procesa elektrolize.
- **Predgrevanje vložka,** s čimer se lahko izrabi toploto plina iz primarnega odvoda: s predgrevanjem dela vložka je mogoče prihraniti celo do 50 % stroškov predpriprave sekundarnih surovin;
- **Nadgradnja peči z gorilniki z rekuperacijo.** Z izboljšano izolacijo peči in sodobnimi gorilniki, ki omogočajo ponovno uporabo toplote lahko dosežemo pomembne prihranke.

Glavna okoljska vprašanja pri proizvodnji primarnega aluminija so tvorba poli-fluoriranih ogljikovodikov in fluoridov pri elektrolizi, trdni odpadki iz celic in trdni odpadki pri proizvodnji glinice. Pri proizvodnji aluminija nastajajo: fluoridi (tudi HF), prah, kovinske spojine, SO₂, COS, PAH, VOC, toplogredni plini (PFC in CO₂), dioksini (sekundarne surovine), kloridi in HCl. Ostanke predstavljajo, ostanki boksita, obloge rabljenih loncev, filtrski prah, slana žindra in odpadna voda (olja in amonijak).

2.1.2 Proizvodnja papirja in izdelkov iz papirja

Opis sektorja

Papir se proizvaja iz vlaken, vode in kemičnih dodatkov. Povrhu je za pogon celotnega procesa potrebno tudi precej energije. Glavni porabniki električne energije so različni motorni pogoni in mlini v pripravi surovine. Procesna toplota se uporablja predvsem za segrevanje vode, lužin in zraka, izparevanje vode v fazi sušenja in za pretvorbo energije pare v električno energijo (pri soproizvodnji toplote in električne energije). Uporablja se velike količine procesne in hladilne vode. Kot pripomočki za potek procesa in za izboljšanje lastnosti izdelkov se lahko pri proizvodnji papirja uporabljajo različni dodatki.

Med okoljskimi vidiki proizvodnje papirja prevladujejo emisije v vodo, poraba energije in kemikalije. Nastajajo tudi trdni odpadki. Emisije v zrak so v glavnem povezane s proizvodnjo energije in kurjenjem fosilnih goriv v elektrarnah.

Današnja prizadevanja za zniževanje emisij TGP v papirni industriji so osredotočena na dva glavna pristopa in sicer: izboljšanje energetske učinkovitosti ter prehod na nizkoogljična oz.

obnovljiva goriva in električno energijo proizvedeno iz OVE. Evropska industrija papirja je v znatno izboljšala svojo energetske učinkovitost v zadnjih nekaj desetletjih, predvsem z uporabo tehnologij za rekuperacijo odpadne toplote in izboljšanimi tehnikami sušenja. Pomembno vlogo ima tudi uporaba obnovljivih virov energije, kjer se je že uveljavila uporaba lesne biomase.

Ključne tehnologije in ukrepi

Ključne tehnologije: kotli za pripravo pare ter kotli za pripravo kemikalij za kuhanje in beljenje (zemeljski plin, trda goriva, les in lesni odpadki); peči za sušenje in procesno obdelavo (elektrika, zemeljski plin enote SPTE (zemeljski plin, les in lesni odpadki)).

Pri proizvodnji papirja in papirnih izdelkov veljajo za BAT naslednje tehnologije ali kombinacije tehnologij (ARSO, 2014), (Suhr, in drugi, 2015) (Chan, Petithuguenin, Fleiter, Herbst, Arens, & Stevenson, 2019):

- **Izboljšanje energetske učinkovitosti.** Pri proizvodnji papirja se prizadevanja osredotočajo na učinkovitost sušenja papirja - procesni korak, ki porabi največji delež pare. Nove tehnologije skušajo na mehanski način predvsem zmanjšati potrebo po sušenju.
- **Izraba odvečne toplote.** Čeprav je pridobivanje odpadne toplote že zelo razširjeno, je še vedno na voljo velik potencial uporabe odpadne toplote v proizvodnih procesih (papirni stroji) in odtočne vode. Potencial predstavlja tudi izraba nizkotemperaturne odpadne toplote.
- **Zamenjava goriv.** Nadomeščanje fosilnih virov z obnovljivimi viri energije, predvsem z lesno biomaso in proizvodnimi ostanki.
- **Aktivna vloga pri zagotavljanju odjema,** ob povečani proizvodnji električne energije iz obnovljivih virov, lahko pomembno vlogo igra tudi fleksibilnost odjema, ki jo ima papirna industrija, s čimer lahko vplivajo na trenutno ceno električne energije.
- **Soproizvodnja toplote in električne energije.** Ob zagotavljanju potrebne toplotne energije lahko v enotah SPTE hkrati še proizvajajo tudi električno energijo.

Ukrepi BAT, ki so za proizvodnjo papirja in papirnih izdelkov navedeni v Izvedbenem sklepu komisije ([Uradni list Evropske unije 2014/687/EU, 2014](#)):

- Uporaba sistema upravljanja z energijo, ki vključuje vse od naslednjih značilnosti: (i) ocena celotne porabe energije in proizvodnje naprave; (ii) iskanje, količinska opredelitev in optimizacija možnosti za ponovno pridobivanje energije; (iii) monitoring in ohranjanje optimalnega stanja za porabo energije;
- Ponovno pridobivanje energije s sežiganjem tistih odpadkov in ostankov iz proizvodnje celuloze in papirja, ki imajo visoko vsebnost organskih snovi in kalorično vrednost¹⁶;
- Zadovoljitev potreb proizvodnih postopkov po pari in električni energiji, kolikor je to mogoče, s sproizvodnjo toplote in električne energije;
- Uporaba odvečne toplote za sušenje biomase in blata, za segrevanje kotlovne vode in tehnološke vode, za ogrevanje stavb itd.

¹⁶ Uporablja se le, če odpadkov in ostankov iz proizvodnje celuloze in papirja, ki imajo visoko vsebnost organskih snovi in kalorično vrednost, ni mogoče reciklirati ali ponovno uporabiti.

- Uporaba toplotnih kompresorjev. Uporablja se za nove in obstoječe naprave za vse vrste papirja in za stroje za premazovanje, če je na voljo srednjetačna para.
- izolacija cevi in priključkov za paro in kondenzat;
- Uporaba energijsko učinkovitih vakuumskih sistemov za odstranjevanje vode;
- Uporaba visoko učinkovitih električnih motorjev, črpalk in mešalnikov;
- Uporaba frekvenčnih pretvornikov za ventilatorje, kompresorje in črpalke;
- Uskladitev ravni tlaka pare z dejanskimi potrebami.

2.1.3 Proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov

2.1.3.1 Proizvodnja cementa

Opis sektorja

Cement je osnovno gradivo v visokih in nizkih gradnjah. Obseg proizvodnje v industriji cementa je neposredno povezan s splošnimi razmerami v gradbeništvu in torej tesno sledi splošnim ekonomskim trendom. Po izkopu, mletju in homogenizaciji surovin je prvi postopek v proizvodnji cementa kalcinacija kalcijevega karbonata, temu pa sledi žganje pridobljenega kalcijevega oksida skupaj s kremenom, glinico in železovim oksidom pri visoki temperaturi, s čimer pridobimo klinker. Klinker nato skupaj s sadro in drugimi sestavinami drobimo ali meljemo v cement. Vir kalcijevega karbonata so naravna nahajališča apnenih mineralov, kot so apnenec, lapor ali kreda. Kremen, železov oksid in glinico najdemo v različnih rudah in rudninah, kakršne so pesek, skrilavci, glina in železova ruda. Kot nadomestek dela naravnih surovin lahko uporabljamo tudi elektrofitrski pepel termoelektrarn, plavžno žlindro in druge stranske proizvode iz procesov. Žganje klinkerja poteka v rotacijski peči, ki je lahko del mokrega ali suhega sistema dolge peči, polmokrega ali polsuhega sistema peči z rešetkastim predgrelnikom (Lepol), sistema peči s suhim predgrelnikom z lebdečo plastjo ali sistema peči s predgrelnikom/predkalcinatorjem. Kot najboljša razpoložljiva tehnika proizvodnje cementnega klinkerja velja postopek s suho procesno pečjo z večstopenjskim predgretjem in predkalcinacijo v lebdeči plasti. Tej najboljši razpoložljivi tehniki ustreza poraba toplote 3 GJ na tono klinkerja (ARSO, 2013).

Ključne tehnologije in ukrepi

Ključne tehnologije: rotacijske peči za proizvodnjo klinkerja (zemeljski plin, alternativna goriva (odpadne pnevmatike, 2D in 3D goriva¹⁷, mulj iz čistilnih naprav, odpadno olje,...), elektrika), mlinci za mletje cementa (elektrika).

Današnja prizadevanja za zmanjšanje emisij TGP v proizvodnji cementa so osredotočena na tri glavne stebre in sicer na: izboljšanje energetske učinkovitosti, prehod na nizkoogljčna oz. obnovljiva goriva in na zmanjšanje vsebnosti klinkerja v cementu.

¹⁷ 2D gorivo je pred pripravljeno stisnjeno gorivo iz posameznih ločeno zbranih frakcij trdnih nenevarnih odpadkov, pri katerih prevladuje plastika, možni pa so še dodatki npr. tekstila, papirja, lesa, itd. Nenevarni odpadki so tudi tako imenovana 3D goriva, ki so trdno gorivo večjega premera pripravljeno iz nenevarnih odpadkov

Pri proizvodnji papirja in papirnih izdelkov veljajo za BAT naslednje tehnologije ali kombinacije tehnologij (ARSO, 2013), (Schorcht, Kourt, Scalet, Roudier, & Sancho, 2013), (Chan, Petithuguenin, Fleiter, Herbst, Arens, & Stevenson, 2019):

- **Izboljšanje energetske učinkovitosti.** Kot najboljša razpoložljiva tehnika proizvodnje cementnega klinkerja velja postopek s suho procesno pečjo z večstopenjskim predgretjem in predkalcinacijo v lebdeči plasti. Izvajanje BAT na področju samega postopka proizvodnje cementa bo v prihodnjih desetletjih verjetno dosegel omejeno učinkovitost in prihranke CO₂, saj ni na voljo nobene tehnologij, ki bi omogočale zmanjšanje procesnih emisij (izvemši zmanjšanje vsebnosti klinkerja v cementu). Možnosti za povečanje energetske učinkovitosti predstavlja predvsem povečanje ciklonskih stopenj predgrevanja.
- **Izraba odvečne toplote.** Čeprav je pridobivanje odpadne toplote že zelo razširjeno, je še vedno na voljo velik potencial uporabe odpadne toplote v proizvodnih procesih (papirni stroji) in odtočne vode. Potencial predstavlja tudi izraba nizkotemperaturne odpadne toplote.
- **Uporaba alternativnih goriv.** Uporaba alternativnih goriv, kot so odpadki je v industriji cementa že dobro uveljavljena praksa, saj zmanjšuje proizvodne stroške. Poleg tega se z uporabo alternativnih goriv znižujejo tudi emisije CO₂. Uporaba žindre (tudi iz električnih obločnih peči).
- **Soproizvodnja toplote in električne energije.** Ob zagotavljanju potrebne toplotne in možnostih za izrabo odpadne toplotne energije, lahko v enotah SPTE hkrati še proizvajajo tudi električno energijo.

2.1.3.2 Proizvodnja stekla

Opis sektorja

Izdelava stekla je energetsko zelo intenzivna dejavnost, izbira goriva, tehnike segrevanja ter izrabe odpadne energije pa so osrednja vprašanja pri projektiranju peči in pri določitvi dejavnikov, ki odločajo o gospodarnosti procesa. Prav te izbire so tudi med najpomembnejšimi dejavniki primernosti procesa taljenja z vidika varstva okolja in učinkovite rabe energije. V splošnem energija, potrebna pri taljenju stekla, prispeva več kot 75 % k skupni porabi energije pri proizvodnji stekla. Stroški za energijo pri taljenju se uvrščajo med največje obratovalne stroške v steklarnah in to je pomembna spodbuda za proizvajalce v smeri zmanjševanja porabe energije.

Ključne tehnologije

Peči za taljenje in obdelavo stekla (zemeljski plin, kurilno olje); peči za sušenje in procesno obdelavo (elektrika, zemeljski plin), kotli za pripravo pare (zemeljski plin, kurilno olje, les in lesni odpadki).

V nadaljevanju so naštet glavne tehnike zmanjševanja porabe energije v proizvodnji stekla:

- tehnika taljenja in konstrukcija peči (npr. regeneratori, rekuperatori, električno taljenje, kurjenje s kisikom, električno dodatno ogrevanje);

- regulacija zgorevanja in izbira goriva (npr. gorilniki z nizkimi emisijami NO_x, stehiometrično zgorevanje, kurjenje z oljem/plinom);
- uporaba odpadnega stekla;
- kotli na odpadno toploto;
- predgrevanje steklenih odpadkov/šarže.

Glavni viri energije v steklarski industriji so kurilno olje, zemeljski plin in električna energija.

Regenerativne peči uporabljajo izrabo odvečne toplote z regeneracijo. Gorilniki so navadno vgrajeni v odprtinah za zgorevalni zrak/dimne pline ali pod njimi. Toploto v dimnih plinih se uporablja za predgrevanje zraka pred zgorevanjem: dimne pline vodimo skozi komoro, obloženo z ognjevzdržno oblogo, ki vsrka toploto iz dimnih plinov. Naenkrat delujejo le gorilniki na eni strani peči. Po približno 20 minutah se peč preklopi na delovanje gorilnikov na drugi strani in zgorevalni zrak teče skozi komoro, ki so jo prej segreli dimni plini. Doseči je mogoče temperature predgretja do 1400° C, kar zagotavlja zelo visoke toplotne izkoristke. To vrsto peči uporabljamo predvsem tam, kjer je potrebna velika obratovalna prilagodljivost ob kar najmanjših stroških začetne investicije, zlasti tam, kjer zaradi premajhnega obsega proizvodnje uporaba regenerativne peči ne bi bila gospodarna.

Električna peč je z ognjevzdržno oblogo obložena posoda z jeklenim nosilnim okvirom, elektrode pa segajo vanjo bodisi na straneh, z vrha ali, pogosteje, z dna peči. Toplota za taljenje izvira iz uporovnega ogrevanja pri prehodu toka skozi staljeno steklo. To tehniko se navadno uporablja pri majhnih pečeh za proizvodnjo specialnih stekel. Velikosti električnih peči so navzgor omejene glede na njihovo gospodarnost, meja pa je odvisna od razmerja med cenami električne energije in cenami fosilnih goriv. Ker peč namesto fosilnih goriv uporablja električno energijo, ni produktov zgorevanja.

Poznamo dve vrsti **kombiniranega taljenja s fosilnimi gorivi in elektriko**: segrevanje pretežno s fosilnimi gorivi z dopolnilnim električnim segrevanjem ali pretežno električno segrevanje z dopolnilnim segrevanjem s fosilnimi gorivi. Pri dopolnilnem električnem segrevanju se v peč dovaja dodatna toplota s prehodom električnega toka med elektrodama na dnu posode. Manj pogosto se pretežno električno talilno peč dopolnilno segreva s plinom ali kurilnim oljem.

Šaržne talilne peči se uporabljajo v obratih, ki potrebujejo manjše količine taline, zlasti tam, kjer se sestava stekla pogosto spreminja. V takih obratih se za taljenje posamičnih šarž surovin uporabljajo lončne talilne peči ali dnevne talilne peči. Konstrukcijsko so podobne običajnim pečem, vendar se jih vsak dan polni s šaržo.

Posebne izvedbe talilnih peči so namenjene povečanju izkoristkov in izpolnjevanju okoljskih zahtev. Najbolj znani taki izvedbi peči sta talilna peč LoNO_x in Flex Melter.

2.1.4 Ostale industrijske panoge

Opis sektorja

Poglavje obravnava ključne tehnologije, s katerimi lahko dosegamo prihranke emisij TGP. Ker je slovenski prostor in panoga proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov zelo specifična, saj vključuje tako proizvodnjo barv, kot tudi proizvodnjo plastičnih materialov in gumarstvo, smo to panogo zaradi heterogenosti priključili k ostalim industrijskim panogam. V tem kontekstu podajamo splošne ukrepe za zniževanje emisij TGP.

Ključne tehnologije in ukrepi

Ključni ukrepi in tehnologije, ki jih podajamo za ostale panoge so vezane predvsem na ukrepe energetske učinkovitosti in na horizontalne tehnologije za zagotavljanje le te. Ti ukrepi so:

- **Procesna integracija.** Združevanje omrežij, tehnologij ter sklopov tehnologij z namenom optimizacije energetskih virov.
- **Napredni sistemi procesnega vodenja.** Primer takšnega sistema je napredni sistem procesnega vodenja na podlagi nevronske mreže, odločitvenih dreves, genetskih algoritmov ali drugih sodobnih matematičnih pristopov.
- **Soproizvodnja toplote in elektrike (SPTE).** Z enotami SPTE lahko izboljšamo izkoristek pri pretvorbi goriva, pri čemer poleg toplote proizvajamo še električno energijo.
- **Izraba odvečne toplote v procesih z nizko temperaturno toploto.** Preko sistemov rekuperacije lahko ponovno uporabimo odvečno nizkotemperaturno toploto. Z uporabo tehnologij ORC (Organic Rankin Cycles) lahko v soproizvodnji proizvajamo električno energijo iz odvečne nizkotemperaturne toplote.
- **Izraba odvečne toplote.** Preko sistemov rekuperacije lahko ponovno uporabimo odvečno toploto.
- **Napredni sistemi upravljanja z energijo.** Vpeljava sistematičnega spremljanja rabe energije. Sistemi upravljanja z energijo povezujejo organizacijske strukture, meritve in ukrepe na področjih upravljanja z energetskimi viri.

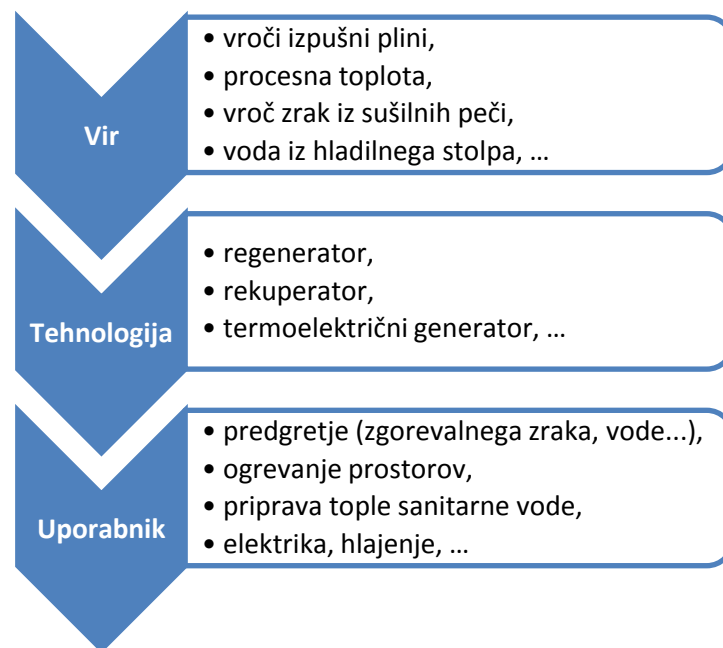
2.2 Izkorščanje odvečne toplote

Z odvečno toploto se v industriji srečujemo skoraj na vsakem koraku. Čeprav so natančne količine odvečne toplote v nekaterih energetskih in procesnih sistemih težko merljive, je ocenjeno, da se okoli 20% do 50% rabe energije v industriji odvede v obliki odvečne toplote, to pa bi lahko v 18% do 30% uporabili drugod ([BCS Incorporated for US Department of Energy, 2008](#)). Med tem industrija nameni skupno 70.6% rabe energije prav potrebam ogrevanja prostorov in procesnega ogrevanja, gospodinjstva pa kar 79% skupne končne rabe energije za namene ogrevanja in pripravo tople sanitarne vode. Če upoštevamo še podatek Eurostatovih bilanc 2018, da 75% potreb po ogrevanju in hlajenju zagotavljamo iz fosilnih goriv in le 19% iz obnovljivih virov energije ([Heating and cooling, 2019](#)), nam je hitro jasno, da odvečna toplota v industriji predstavlja pomemben potencial za zmanjševanje emisij TGP in trajnostni razvoj nizko-ogljivega gospodarstva. Nenazadnje, da bi zadostili podnebnim in energetskim ciljem EU, moramo prav v sektorju ogrevanja in hlajenja pomembno znižati rabo energije in fosilnih goriv.

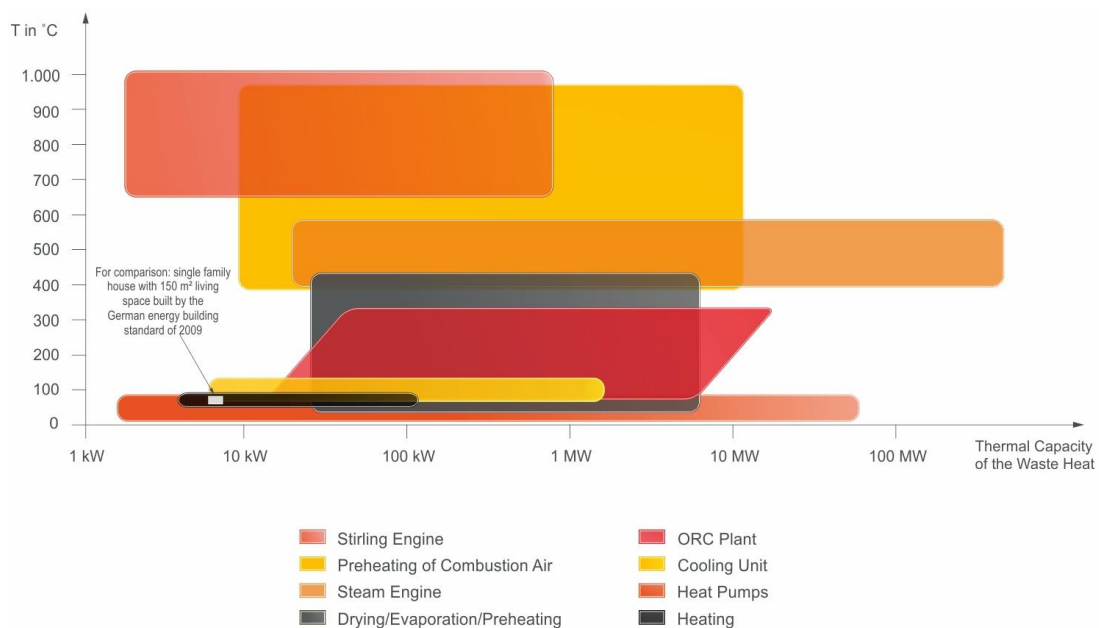
Da bi lahko odpadno toploto učinkovito izkoriščali brez nasedlih investicij moramo ustrezno uskladiti tri ključne elemente (Slika 18). Odpadna toplota je pogosto vezana na tehnološki proces, vroče izpušne pline, hlajenje naprav in proizvodov in se zato prenaša z določeno dinamiko preko različnih »vektorjev«, v različnih količinah, toplotnih močeh in na različnem temperaturnem nivoju.

Kadar govorimo o kvaliteti odpadne toplote, pogosto mislimo na temperaturni nivo, pri katerem je ta toplota na voljo, saj je od tega odvisno, kaj lahko z razpoložljivo energijo sploh počnemo. Posebno pomembno je to tedaj, ko želimo z odvečno toploto proizvesti delo oziroma električno energijo. Temperaturni nivo namreč opredeljuje eksergijsko vrednost toplote; torej zmožnost pretvorbe toplotne energije v delo. Višji kot je temperaturni nivo izvora in nižji kot je temperaturni nivo ponora, večji delež toplotne energije bomo lahko pretvorili v delo.

Ne glede na to ali želimo proizvajati električno energijo ali ne pa praviloma stremimo k dobavi toplote »uporabniku« na najvišjem temperaturnem nivoju, saj je z njim že definirana temperatura ponora vsako izkoriščanje odvečne toplote pa je povezano z dodatnim zniževanjem njenega temperaturnega nivoja in povečevanjem entropije. Zniževanje temperaturnega nivoja je tehnično seveda vedno mogoče, vendar moramo pri tem paziti, da po nepotrebem ne povečujemo entropijo sistema.



Slika 18: Trije ključni elementi učinkovitega izkoriščanja odvečne toplote



Slika 19: Tehnologije rabe odvečne toplote glede na razpoložljivi temperaturni nivo in toplotno moč (Waste Heat, 2019)

Po drugi strani pa lahko izkoriščamo tudi toploto, ki se nahaja pri temperaturi nižji od temperature ponora, vendar je v tem primeru potrebno dovajati delo oziroma toploto, ki ima višjo eksergijsko vrednost. Slednja je za tovrstno črpanje toplote toliko večja, kolikor večja je temperaturna razlika prečrpavanja. Takšen način uporabe toplote iz okolice danes s pridom izkoriščamo pri ogrevanju s toplotnimi črpalkami, tudi sorpcijskimi. Ultimativna želja takšnega početja je zmanjšati rabo primarne energije in znižati emisije TGP.

Izbor ustrezne tehnologije izkoriščanja odvečne toplote torej močno zavisi od razpoložljivega vira toplote in potreb končnega uporabnika. Območja izkoriščanja posameznih tehnologij rabe odvečne toplote glede na temperaturni nivo in toplotno moč ponazarja Slika 19. Naštete so glavne tehnologije izrabe odvečne toplote in tiste, ki predstavljajo največji potencial pri izrabi le te.

2.2.1 Stirlingov motor

Stirlingov motor je toplotni stroj, katerega princip delovanja temelji na zaprtem krožnem plinskem procesu z vmesno regeneracijo toplote. Slednja lastnost je tudi tista, ki Stirlingov motor postavlja v ospredje pred ostale toplotne motorje z zaprtim plinskim procesom. Glede na motorje z notranjim zgorevanjem se Stirlingov motor ponaša s primerljivo visokim izkoristkom, tihim delovanjem, nezahtevnim vzdrževanjem, nizkimi stroški obratovanja in predvsem možnostjo izrabe odvečne toplote iz poljubnega vira, ki jo motorji z notranjim zgorevanjem ne omogočajo.

Majhna gostota moči tovrstnih naprav je v aplikacijah soproizvodnje toplote in električne energije pogosto vzrok za večje investicijske stroške v primerjavi z motorji z notranjim zgorevanjem in zato relativno majhna zastopanost.

Stirlingov motor ima številne druge tehnične in tehnološke prednosti pred motorji z notranjim zgorevanjem, vendar so za potrebe predmetnega poročila osredotočene skoraj izključno na možnost izrabe odvečne toplote na poljubnem temperaturnem nivoju.

2.2.2 Predgretje zgorevalnega zraka

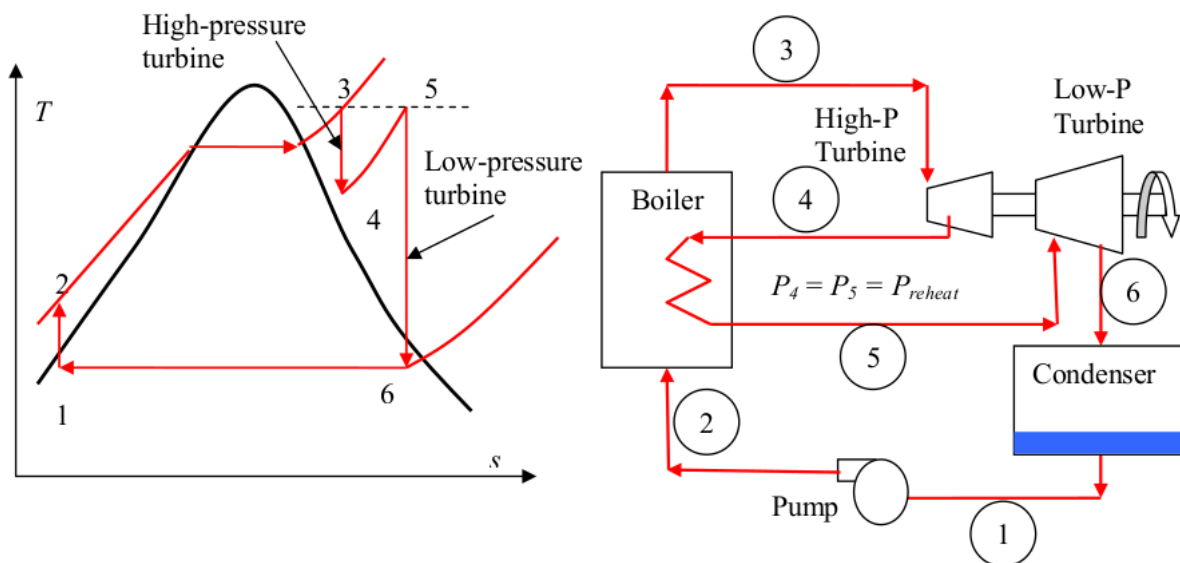
Predgrevanje zgorevalnega zraka prištevamo k notranji rekuperaciji toplote. Na račun prenosa toplote z dimnih plinov na zgorevalni zrak se del toplote, ki bi jo sicer oddali v okolico, vrne in uporabi za predgrevanje zgorevalne zmesi. Ta del energije bi namreč morali nadoknaditi z večjo količino kemijsko vezane energije v gorivu; torej večjo količino goriva. Zato predgrevanje zgorevalnega zraka izboljšuje učinkovito rabo energije v izbranem procesu.

2.2.3 Sušenje in predgretje

Proces sušenja pogosto spremlja segrevanje izdelka na točno predvideno temperaturo z namenom, da se iz izdelka izloči odvečna količina (praviloma) vode. S segrevanjem namreč tlak nasičenja vodne pare narašča, kar sproži dva pozitivna učinka na sušenje. Prvi povečuje potencial za difuzijo vodne pare v zrak, drugi pa povečuje količino vode, ki jo segreti zrak lahko sprejme. Del toplote, ki se nameni segrevanju izdelka in praviloma zraka, se »porabi« tudi za uparjanje torej latentni prenos toplote. Narava izdelka in vsaka tehnologija posebej lahko zahtevajo različne pristope k sušenju, kot je postopno sušenje in sušenje v vakuumu ali v odsotnosti zraka, vsem pa je dobro poznavanje osnov procesa sušenja ključno za izračun energije, ki je potrebna, da se določena količina izdelka ustrezno posuši. Energija namenjena sušenju lahko predstavlja pomembni delež vložene energije v končni izdelek kot je to npr. pri proizvodnji papirja. S celostnim pristopom k procesu sušenja lahko za enako opravilo kaj hitro dosežemo pomembne prihranke energije.

2.2.4 Rankinov parni krožni proces z uporabo organskih spojin (ORC)

Tehnologija ORC pride v poštev takrat, ko imamo zahtevo po proizvodnji električne energije, na razpolago pa imamo toploto z relativno nizkim temperaturnim nivojem (Slika 20). Krožni proces je v principu enak klasičnemu Rankinovemu parnemu procesu, ki uporablja vodo oziroma vodno paro, le da delovni medij v ORC praviloma predstavljajo izbrane organske spojine z veliko molekulsko maso. Te namreč karakterizira nizka temperatura vrelišča, kar omogoča obratovanje naprave pri večjih vrednostih reducirane tlaka (p/p_{cr}) s tem pa pri danih temperaturnih razmerah tudi večjim izkoristkom.



Slika 20: Rankinov cikel z dvostopenjsko ekspanzijo in vmesnim pregrevanjem pare (Machlectures, 2019)

2.2.5 Parni stroj

Ne glede na veliko število variant parnih strojev se pri tehnologijah izkoriščanje odvečne toplote višjega temperaturnega nivoja danes uporabljajo predvsem parne turbine. Gre za Rankinov parni proces, ki uporablja vodo za delovni medij. Nižje temperature v primerjavi z »visokotemperaturnim režimom« sicer prinašajo določene spremembe in poenostavitve posledično pa tudi nižje izkoristke.

2.2.6 Toplotne črpalke

Največji razmah izrabe odvečne toplote se je odvijal ravno na področju toplotnih črpalk. Gre za izredno učinkovit način aktivnega črpanja toplote iz nižjega na višji temperaturni nivo na račun dovedenega dela tedaj, ko sta temperaturni razliki med ponorom in izvorom majhni. Kadar pa se omenjena temperaturna razlika povečuje pa se povečuje tudi delež dovedenega dela na enoto prečrane energije in potreben je preudaren in celovit pristop k presoji ustreznosti izbrane tehnologije.

2.2.7 Sorpcijsko hlajenje

Gre za toplotno črpalko, ki za svoje obratovanje namesto elektrike potrebuje toploto na visokem temperaturnem nivoju. Glede na to, da gre še vedno za relativno nizke temperature regeneracije, je sorpcijsko hlajenje zelo primerno tam, kjer imamo na razpolago odvečno toploto oz. toploto iz sonca, saj se potreba po hladu praviloma pokriva s sončnim sevanjem.

2.2.8 Ogrevanje

Potrebe ogrevanja in priprave tople sanitarne vode (STV) so danes osredotočene na temperature pod 75°C. Zgornjo temperaturo dobave toplote in s tem tudi razpoložljivega vira narekujejo toplotne kapacitete večjih sistemov in higienski minimum priprave STV.

2.3 Izkoriščanje obnovljivih virov energije

Premalokrat in premalo je poudarjeno, da je izkoriščanje vseh fosilnih goriv v resnici izkoriščanje akumulirane sončne energije. Proizvodnja goriv je prilagojena na aktualne potrebe in je zato trenutno sorazmerno stabilna. Pri tem gre zgolj za črpanje zalog primarne energije, zato takšno početje ne more zagotavljati dolgoročne stabilnosti in ni vzdržno na dolgi rok. Poleg tega v obtok spravlja večje količine ogljika, ki je v obliki CO₂ toplogredni plin in glavni povzročitelj pregrevanja ozračja. Tukaj ne gre zanemariti, da človek povzroča tudi druge emisije z veliko večjim specifičnim učinkom tople grede, gre pa poudariti, da so količine izpustov CO₂ neprimerno večje in prisotne skoraj povsod v industriji, zato je nadzorovana omejitev teh toliko bolj pomembna.

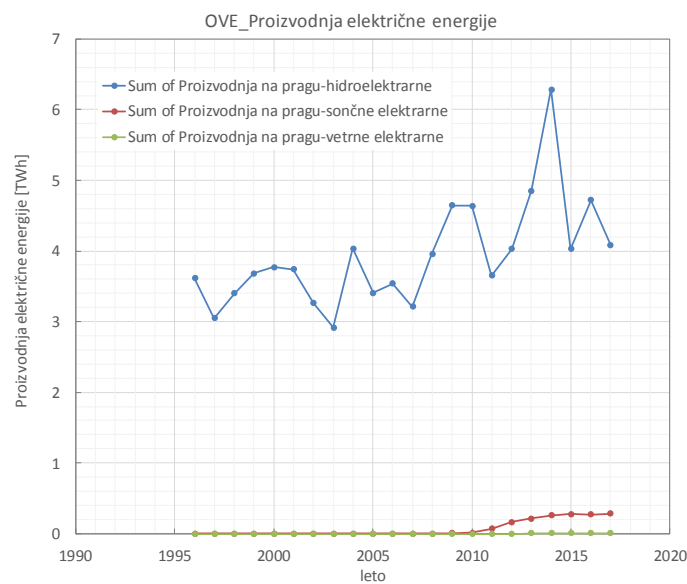
Po drugi strani pa je izkoriščanje obnovljivih virov energije vzdržna tako s stališča rabe energije kot tudi s stališča izvorov in ponorov CO₂. Skupni lastnosti vseh obnovljivih virov energije, zaradi katerih je njihova uporaba še vedno tako omejena, sta majhna gostota moči in konična pojavnost. Sistemi pridobivanja sekundarne energije so zato veliki in zahtevajo ustrezno akumulacijo, kar pogosto naredi takšne sisteme dražje in posledično nekonkurenčne.

2.3.1 Hidro energija

Hidroenergija pri nas predstavlja večinski delež proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov (Slika 21). Gre za brezogljivi vir elektrike, ki je izmed slednjih najbolj predvidljiv in je primerljiv s proizvodnjo v večjih centralnih proizvodnih enotah. Manjši del električne energije proizvedemo tudi z zgorevanjem biomase (Slika 22), bioplinov, deponijskega plina in plina iz čistilnih naprav (Slika 22). Ta delež je v primerjavi s proizvodnjo v hidroelektrarnah zelo majhen.

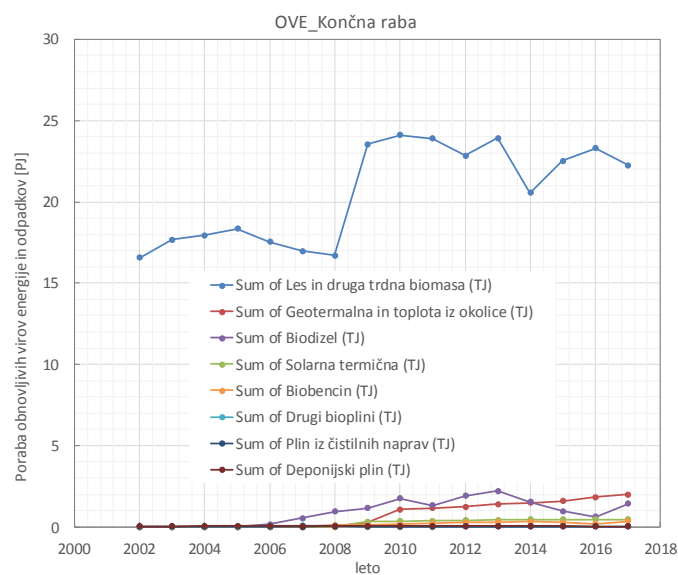
Hidroelektrarne so pomemben obnovljiv vir ter glede na svoje tehnične značilnosti in zmogljivosti predstavljajo izjemno pomemben del elektroenergetskega sistema. Relativno velik potencial je na segmentu malih hidroelektrarn (mHE), vendar je pri njihovi umestitvi v prostor potrebno smotno rešiti okoljevarstvene izzive, saj te elektrarne pomenijo pomemben poseg v naravo (Košnjek, Bugeza, & Kopše, 2018). Določeno mero razvojnih aktivnosti je zaznati tudi na segmentu manjših enot elektrarn z minimalnim padcem ali potopnih generatorjev „brez“ padca. Morebitni potencial tovrstnih inštalacij pa se bo pokazala skozi čas (Renewables First - The Hydro and Wind Company, 2018).

Pri klasičnih mHE veljajo podobne ugotovitve kot pri velikih HE, kjer ugotavljamo, da je tehnologija zrela in pušča malo prostora za znatno povečanje izkoristka (ESHA, 2010).



Slika 21: Proizvodnja električne energije iz nizkoogljičnih obnovljivih virov: hidro, sonce in veter

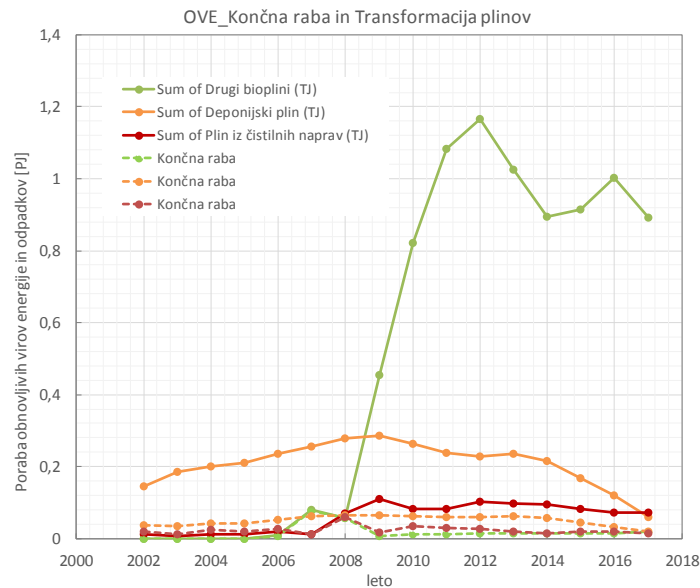
2.3.2 Les in druga trdna biomasa



Slika 22: Končna raba obnovljivih virov energije

Prepričljivo največji delež rabe obnovljivih virov energije v Sloveniji predstavlja raba lesne in druge trde biomase tako v končni rabi kot tudi v transformaciji, ki predstavlja zgolj 10% delež končne rabe. Izrabe lesne biomase v Sloveniji se v zadnjem desetletju ni bistveno okrepila. Čeprav je potencial njene rabe v Sloveniji velik, je v tem obdobju zaznati celo rahel upad njene rabe.

2.3.3 Bioplini



Slika 23: Raba bioplinov v transformaciji

Raba deponijskega plina in plina iz čistilnih naprav v zadnjem desetletju upada tako v končni rabi kot tudi v proizvodnji električne energije. Izjema je uporaba drugih bioplinov, ki se od 2009 skoraj izključno uporabljajo v transformaciji. Čeprav je celokupni delež proizvedene električne energije z zgorevanjem drugih bioplinov majhen je primerljiv s proizvodnjo elektrike iz lesa in trde biomase, ki se v veliko izdatnejši meri uporablja v končni rabi.

2.3.4 Fotovoltaika

Proizvodnja električne energije s PV paneli predstavlja 2,5% delež vse proizvedene elektrike v Sloveniji (Slika 21). Delež je sorazmerno majhen, poleg tega pa kljub znatnemu znižanju investicijskih stroškov tovrstnih naprav v zadnjih 4 letih ni bilo zaznati njegove rasti. Potrebno je okrepiti proizvodnjo električne energije iz PV in hkrati celovito pristopiti k problemom, ki jih tako dinamična proizvodnja elektrike prinaša: akumulacija, proizvodnja vodika, sinteznega plina.

2.3.5 Solarna termična

Proizvodnja toplote s soncem je podobno kot proizvodnja električne energije pri fotovoltaiki relativno majhna, poleg tega pa je v zadnjih letih dosegla plato. Zaradi relativno preproste instalacije in nizkih investicijskih stroškov predstavlja izkoriščanje solarne termične energija v prihodnje velik potencial v smislu zagotavljanja zastonskega deleža toplote, ki je potrebna za pripravo tople sanitarne vode, ogrevanje tehnoloških procesov, ogrevanje prostorov oziroma za potrebe sorpcijskega hlajenja.

2.3.6 Vetna energija

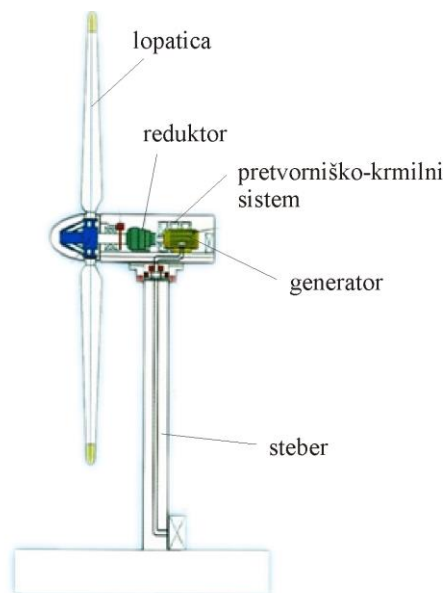
Izraba vetrne energije za proizvodnjo elektrike je v svetu v porastu in predstavlja relativno velik delež med OVE. Kumulativni delež proizvodnje električne energije z vetrom v sloveniji pa je sorazmerno majhen, aktualne možnosti za postavitve novih kapacitet pa so omejene. Razvoj opreme je omogočil širjenje nabora vetrnih elektrarn (VE), kjer je viden napredek pri različnih

hitrostih vetra. Razvijani so sodobni sistemi učinkovitejše pretvorbe energije (pogonski sistem vetrnic, generatorji, presmerniki za priklop na omrežje,...). Pomembno vlogo ima razvoj materialov saj omogoča večje in s tem bolj učinkovite enote ((EWE - European Wind Energy Technology Platform, 2014; Košnjek, Bugeza, & Kopše, 2018), (EWEA - European Wind Energy Association, 2015)). Podobno kot pri SE je tudi VE v veliki meri odvisna od relativno nestanovitne, naravno pogojene razpoložljivosti vetrne energije oziroma vetra.

Vetrnice ločimo na dve osnovni skupini:

- vetrnice s horizontalno postavitvijo osi in
- vetrnice z vertikalno postavitvijo osi.

Na sliki 24 je prikazan primer vetrne elektrarne z označenimi glavnimi deli.



Slika 24: Glavni deli vetrne elektrarne

Različne vrste vetrnic imajo različno obliko stebra. V zadnjem času je prevladala oblika cevne stebra, ki omogoča ustrezno visoko postavitve ohišja vetrnice. Lopatice pretvarjajo energijo vetra v vrtenje, ki ga s pomočjo reduktorja prilagodimo na ustrezne vrtljaje. Uporablja se različno število lopatic, pri čemer so vetrnice z manjšim številom namenjene za delovanje pri večjih hitrostih vetra. Vetrnice z večjim številom lopatic pa so primerne za manjše hitrosti vetra.

Veter preko reduktorja poganja generator, ki proizvaja električno energijo. V vetrnicah se uporabljajo asinhronski in sinhronski generatorji. V vsakem primeru pa je zaradi spremenljive hitrosti vetra potrebno generirano električno energijo prilagoditi zahtevam za plasiranje v energetska omrežja.

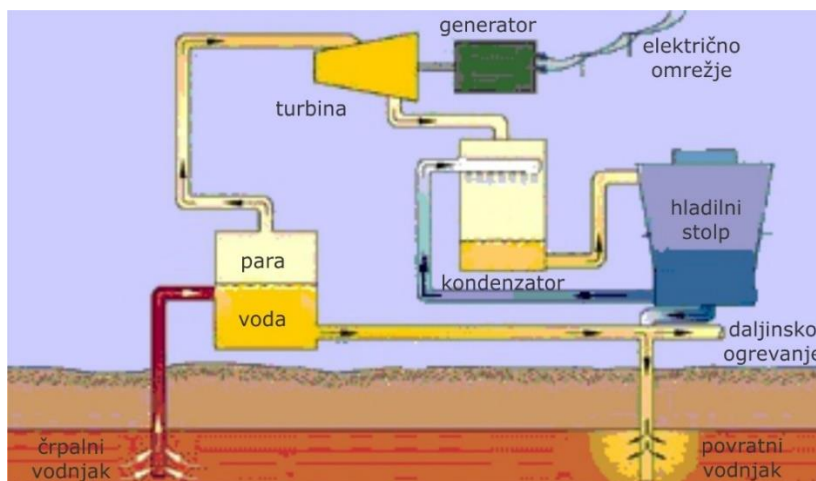
Gradnja vetrnih elektrarn je najbolj optimalna na področjih s stalnim vetrom. Postavljajo se tako na kopnem, kot vse več tudi na morju.

Moči sodobnih VE so v povprečju danes precej večje kot so bile na začetku razvoja (leta 1980 cca. 30 kW, leta 2016 do 8 MW - Vestas V164 (Vestas Wind Systems, 2017)). Ravno tako se je povečala višina stebrov in premer lopatic (od 30 m na 164 m), kar je posledica napredka pri materialih in postopkih obdelave. Velik napredek je bil dosežen tudi z vpeljavo pretvorniške polprevodniške tehnike in možnostjo izrabe v širšem območju delovanja. Na ta način se je lahko zmanjša tehnološka odvisnost od bolj zapletenih strojniških elementov.

Kljub napredni tehnologiji za izkoriščanje vetrne energije je potrebno poudariti, da je za izrabo tega naravnega vira energije na določeni lokaciji potrebno zelo natančno določiti tako vetrni potencial kot tudi možnost umestitve v prostor.

2.3.7 Geotermalna energija in toplota iz okolice

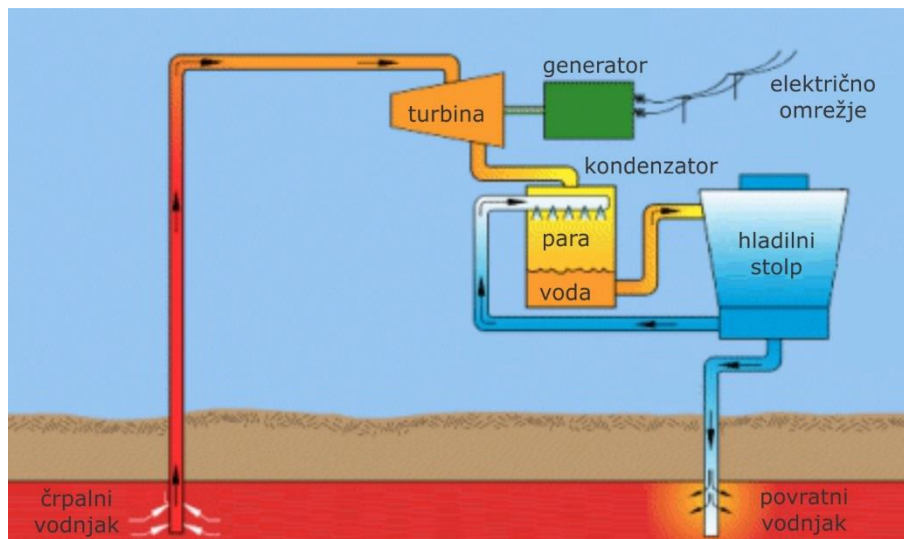
Značilnost geotermalne energije je stalna razpoložljivost vira, kar pomeni da ni potrebe po shranjevanju energije ali energenta, kar daje osnovo za veliko možnost prilagodljivosti. Potencial za izrabljanje tovrstne energije v Sloveniji je v predvsem v severovzhodnem delu države. Enako kot velja za večinski del preostale Evrope, je tudi za Slovenijo izrabljanje geotermalne energije za proizvodnjo elektrike še nerentabilno. Problematične so tako velike globine vrtin, ki dvigujejo ceno, kot relativno nizke temperature, ki se odrazijo v nizkih izkoristkih. Slovenski potencial je tako primeren kvečjemu za pridobivanje toplotne energije.



Slika 25: Konvencionalni pristopa za izkoriščanje geotermalne energije po principu uparjanja na površju (Geothermal Energy, 2018)

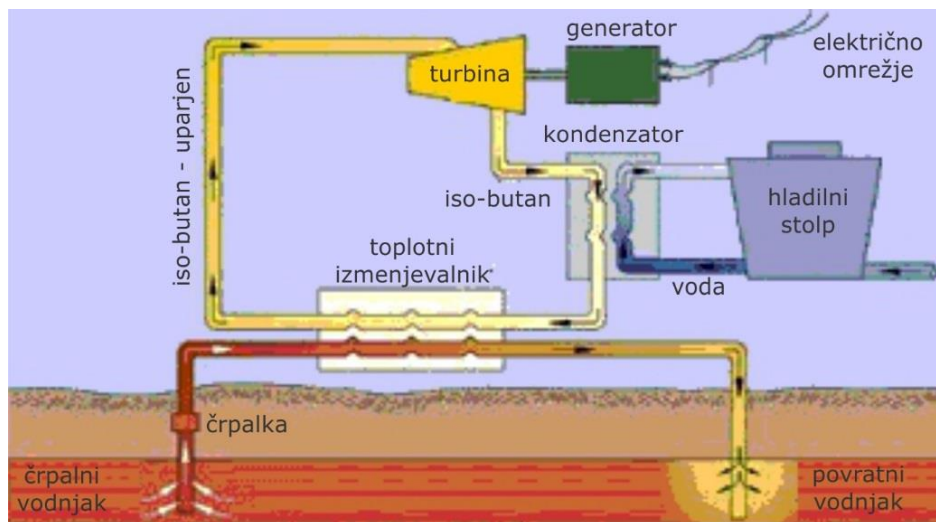
Pri konvencionalnem pristopu se uporabljata dva principa za izkoriščanje geotermalne energije. Pri prvem se topla voda pod visokim pritiskom črpa iz podzemlja in uparja v paro v komorah na površju, kjer se v turbinah uporabi za poganjanje električnega generatorja (slika 25).

Pri drugem principu pa se uparjanje dogaja pod zemlji v proizvodnih vrtinah, dobljena suha para pa se vodi na površje ter v proces pretvorbe v elektriko s pomočjo parnih turbin, ki poganjajo električni generator (slika 26).



Slika 26: Konvencionalni pristopa za izkoriščanje geotermalne energije po principu uparjanja pod površjem (Geothermal Energy, 2018)

Za izkoriščanje geotermalne energije pri nižjih temperaturah se uporablja tudi tako imenovani binarni sistem, kjer toplotna energija geotermalne vode preko toplotnih izmenjevalcev segreva delovni medij, ki se uparja pri nižjih temperaturah in omogoča izkoriščanje geotermalnih virov z nižjo temperaturo (slika 27).



Slika 27: Binarni sistem za izkoriščanje geotermalne energije (Geothermal Energy, 2018)

Naprednejša tehnologija za izrabo geotermalnih potencialov je EGS (enhanced geothermal systems) oziroma nadgrajeni geotermalni sistem (Deep Geothermal Days, 2014). Pri tem gre za sistem kjer se ne izrablja toplo geotermalno vodo temveč toploto kamnin. Ta sistem bi omogočil izrabo geotermalne energije na veliko širših območjih izven konvencionalnih nahajališč geotermalne vode (Košnjek, Bugeza, & Kopše, 2018).

2.3.8 Tekoča biogoriva

V Sloveniji nimamo lastne proizvodnje biobencina in biodizla, ki sta glavna predstavnika tekočih biogoriv v obtoku. Slednja kupujemo na borzi in jih dodajamo k fosilnim gorivom z namenom omejevanja njihove rabe in zniževanja emisij CO₂. Upadanja deleža biodizla med letoma 2013 in 2016 gre pripisati nedoslednemu izpolnjevanju zaveze Slovenije k postopnemu zniževanju emisij CO₂ v prometu. Doslednejše izpolnjevanje zavez države bo s predvidenim ukrepom primešavanja biogoriv delež biodizla in biobencina v prihodnje naraščal.

2.4 Druge horizontalne tehnologije

2.4.1 Učinkoviti motorski pogoni

Za učinkovitejše motorske pogone s čim manjšo porabo energije je mogoče uporabljati:

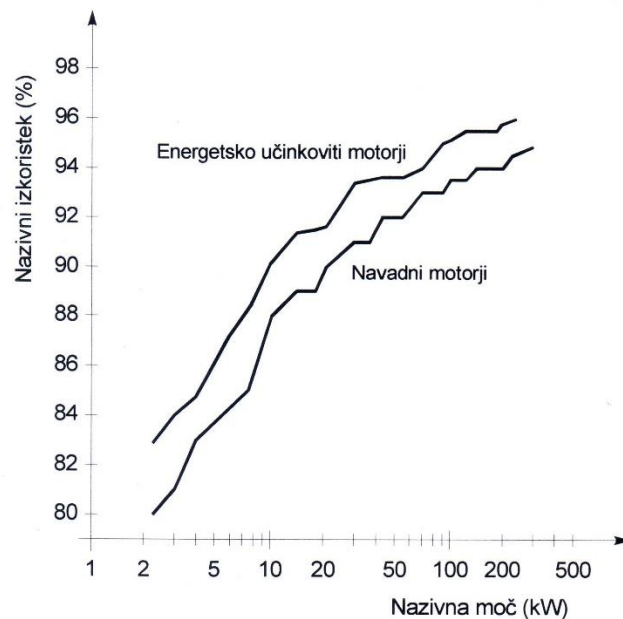
- energijsko varčnejše motorje z učinkovitejšo konstrukcijo in grajene iz kvalitetnejših materialov,
- pogone z uporabo hidravlične sklopke,
- pogone z uporabo frekvenčnega pretvornika.

Uporaba zadnjih dveh rešitev omogoča regulacijo pogonov in s tem boljše izkoristke tudi v obratovalnih točkah izven nazivnega področja.

2.4.1.1 Energijsko varčni motorji

Variabilni stroški motorja nastajajo zaradi izgub, ki jih ta proizvaja pri obratovanju. Ker so te izgube pri motorjih večjih moči precejšnje, je smotno razmišljati o nabavi motorja s čim večjim izkoristkom. Povišani stroški nabave zaradi uporabe boljših materialov (boljši materiali za magnetno jedro, boljši ležaji) in boljše konstrukcije se povrnejo predvsem pri pogonih, kjer ti motorji obratujejo veliko ur na leto. Izkoristek se pri energijsko učinkovitih motorjih lahko poveča za 2 % do 10 % (Fatur & Šolinc, 1998). Upoštevati je potrebno tudi režim obratovanja motorja, saj je izkoristek odvisen tudi od tega, koliko je motor obremenjen. Boljši motor ima zaradi boljšega magnetnega materiala ponavadi manjši magnetilni tok, kar doprinese k izboljšanju faktorja delavnosti ($\cos\phi$). Zaradi tega tak motor predstavlja tudi s stališča porabe jalove energije bolj ugodno breme za omrežje.

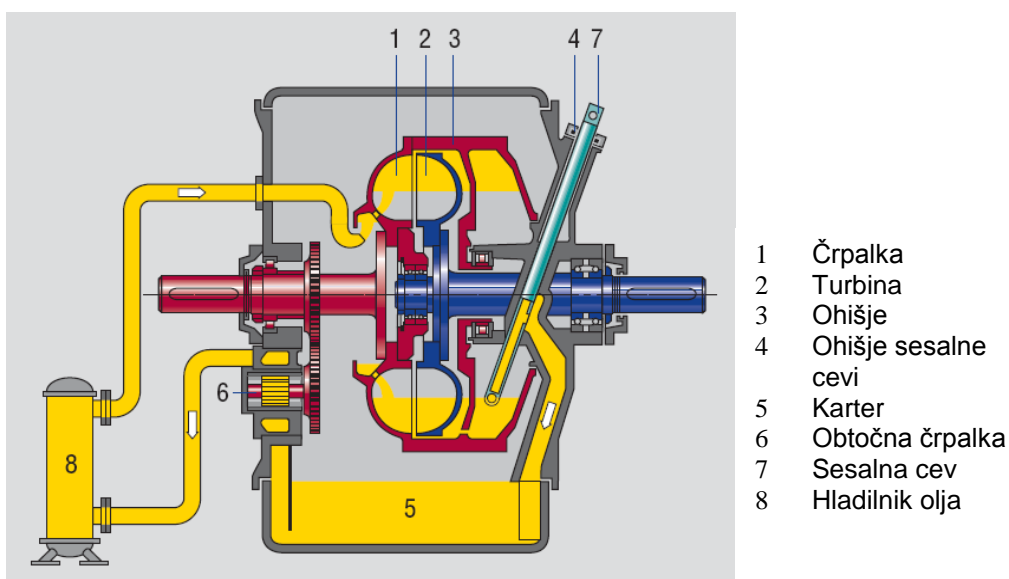
Na sliki 28 je prikazan graf, na katerem je primerjan izkoristek za navadne in energijsko učinkovite motorje različnih moči (Fatur & Šolinc, 1998).



Slika 28: Izkoristek navadnih in energijsko učinkovitih motorjev v odvisnosti od moči

2.4.1.2 Hidravlična sklopka

Hidravlična sklopka omogoča prenos energije s pogonskega stroja na gnani stroj preko vmesnega medija (olja). Pri sklopki z nespremenljivo količino olja gre za izboljšanje zagonskih lastnosti pogonov, zato je ta predvsem uporabna pri pogonih s težkim zagonom. Če imamo sklopko s spremenljivo količino olja, lahko reguliramo tudi končno število vrtljajev gnanega stroja. Ker za prenos moči služi vmesni medij, je obraba te sklopke zelo majhna. Stroški obratovanja so zaradi tega relativno majhni, visoka je pa tudi zanesljivost. Na sliki 29 je prikazana hidravlična sklopka s spremenljivo količino olja za regulacijo števila vrtljajev (Voith Turbo GmbH & Co. KG, 2012).

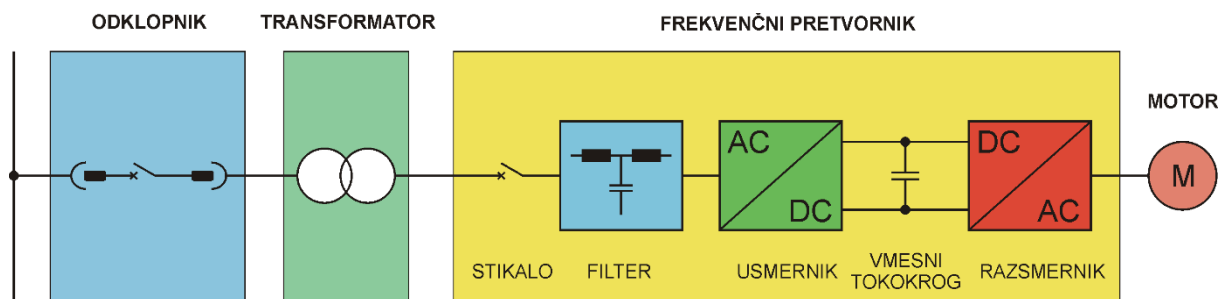


Slika 29: Hidravlična (Voith) regulacijska sklopka

2.4.1.3 Frekvenčni pretvornik

Osnovna prednost rabe frekvenčnih pretvornikov je možnost krmiljenja oziroma regulacije vrtenja pogonskih motorjev. Pri sodobnih pretvornikih se uporabljata predvsem dva principa regulacije izhodne frekvence razsmerniškega dela frekvenčnega pretvornika: skalarni in vektorski. Pri prvi metodi je cilj ohraniti konstantno razmerje med efektivno vrednostjo napetosti in frekvenco, s čimer zagotovimo optimalen magnetni pretok v motorju. Metoda predstavlja enostavnejšo in tudi cenejšo rešitev.

Pri vektorski metodi je primarni tok izražen v koordinatnem sistemu sekundarnega magnetilnega toka, kar omogoči razdelitev primarnega toka na prečno in vzdolžno komponento. Takšen pristop omogoča bolj dinamično regulacijo hitrosti in spreminjanje navora motorja. Z uporabo dodatnih vezij in regulacijskih metod za korekcijo faktorja moči lahko dodatno zmanjšamo jalov vpliv pretvornika in motorja na omrežje. Na sliki 30 je prikazana blokovna shema frekvenčnega pretvornika.



Slika 30: Blokovna shema frekvenčnega pretvornika

2.4.2 Kogeneracija

Učinkovita izraba energije je ključna za omejitev človeškega vpliva na okolje. Soproizvodnja toplote in električne energije (SPE) oziroma soproizvodnja toplote, hladu in električne energije (trigeneracija) je en od načinov izrabe primarne energije, kjer učinkovito povečamo celotni izkoristek.

Pri soproizvodnji toplote in elektrike so predstavljene najbolj obetavne tehnologije, ki so tudi komercialno dostopne:

- plinski motor (PM),
- gorivne celice (GC) in
- Stirlingov motor (SM).

Plinski motor je naprava, ki s pomočjo notranjega zgorevanja pretvarja notranjo energijo plina v mehansko delo, pri čemer nastaja tudi toplota. Pri procesu soproizvodnje izkoriščamo mehansko energijo za pogon električnega generatorja, z nastalo toplotno energijo pa običajno preko toplotnega izmenjevalca pripravljamo toploto za ogrevanje.

Pri gorivnih celicah se pretvarja kemična energija goriva v električno energijo s pomočjo kemične reakcije in oksidacije. Pri procesu pretvorbe pa se sprošča toplota in voda. Dobljena

električna energija je v obliki enosmerne napetosti, ki jo je za potrebe oddaje v električno omrežje potrebno še razsmeriti. Tipi gorivnih celic se ločujejo v glavne glede na vrsto elektrolita. V aplikacijah za SPTE se najpogosteje uporabljajo PEFC (polimer electrolyte fuel cell) in SOFC gorivne celice (solid oxide fuel cell).

Stirlingov motor deluje na principu zunanega izgorevanja, kjer se toplotna energija spreminja v mehansko delo. Deluje po krožnem Stirlingovem ciklu s kompresijo in ekspanzijo delovnega plina.

Poleg naštetih sistemov za sproizvodnjo, obstajajo še sistemi sproizvodnje s parno turbino, plinsko turbino, motorjem z notranjim zgorevanjem (dizelsko gorivo, biogoriva,...). Tukaj niso obravnavani, ker se niso izkazali kot ustrezni za manjše SPTE aplikacije. Velike SPTE naprave se obravnavajo ločeno.

V analizi na trgu dostopnih naprav za SPTE manjšega obsega smo upoštevali različne produkte komercialno dostopnih proizvajalcev v razponu moči od 1,7 kW do 8,3 MW skupne, toplotne in električne moči oziroma od 0,7 kW do 4,4 MW električne moči. Na osnovi primerjave podatkov naprav razdeljenih v določene skupine je mogoče uporabiti tipične naprave za določitev potenciala proizvodnje električne energije oziroma za zadostitev potreb po toploti. V tabeli 1 so prikazani izkoristki tipičnih SPTE oziroma trigeneracijskih naprav za oblikovane skupine malih SPTE naprav.

Tabela 1: Izkoristki malih SPTE oziroma trigeneracijskih naprav

Kategorija naprav in področje uporabe	Razpon moči: toplota+elektrika	Toplotni izkoristek [%]	Električni izkoristek [%]	Skupni izkoristek [%]
Srednje SPTE in trigeneracija (<i>storitvena dejavnost</i>)	50 kW do 1 MW	49,9	37,4	87,3
industrijske SPTE in trigeneracija (<i>industrija</i>)	50 kW do 10 MW	43,3	43,8	87,1

2.4.3 Komprimiran zrak

Sistemi komprimiranega (stisnjenega) zraka se nahajajo v večini industrijskih panog in se običajno uporabljajo za proizvodne procese, za ravnanje z materiali in za hlajenje. Temeljijo na elektro mehanskih pogonih, motorjih in so od vseh motornih sistemov običajno najmanj energetske učinkoviti, pri čemer se 80 % vhodne energije izgubi v obliki toplote, ki nastane pri komprimiranju. Splošna učinkovitost sistema tako znaša okoli 10 – 15 %. Tako je priprava komprimiranega zraka ena najdražjih oblik energije v industrijskem obratu. Stroški energije predstavljajo več kot 70 % celotnih stroškov kompresorja. Sistemi za pripravo stisnjenega zraka zahtevajo tudi natančen nadzor procesov in pogosto se primeri, da ima zanesljivost priprave komprimiranega zraka prednost pred energetske učinkovitostjo.

V večini sistemov s stisnjenim zrakom se približno 30 % stisnjenega zraka izgubi zaradi puščanja, slabega vzdrževanja, napačne uporabe in pomanjkanja nadzora. Posledično je izboljšanje učinkovitosti sistemov s stisnjenim zrakom še posebej pomembno. Za sisteme s stisnjenim zrakom obstajajo številne možnosti za izboljšanje s čimer lahko zagotovimo do 20 % povečanja učinkovitosti ([Industrial Efficiency Technology Database, 2019](#)).

2.4.4 Razsvetljava

Na področju svetlobnih virov oziroma tehnologij, ki se uporabljajo pri splošni notranji in zunanji razsvetljavi smo trenutno ravno v fazi tranzicije. Nekateri svetlobni viri, ki smo jih uporabljali več kot stoletje so bili v preteklih letih že umaknjeni s trga ker ne dosegajo več ustrezne energijske učinkovitosti (navadna žarnica, visokotlačna živosrebrova sijalka). Podobna usoda čaka v naslednjih letih tudi druge svetlobne vire z manjšim izkoristkom (halogenska žarnica, kasneje najbrž tudi kompaktna fluorescenčna sijalka). Po drugi strani pa smo zadnja leta priča hitremu prodoru belih svetlečih diod (LED) na trg svetlobnih virov za notranjo in zunanjo razsvetljavo. Trenutno je tako ves razvoj usmerjen v svetleče diode, ostale tehnologije se ne razvijajo več, so pa še dostopne na trgu.

Bele svetleče diode so v zadnjih letih prehiteli praktično vse ostale svetlobne vire na področju energijske učinkovitosti oziroma svetlobnega izkoristka. Trenutno je primerljiva samo še nizko tlačna natrijeva sijalka (NT Na sijalka), ki pa se zaradi monokromatske svetlobe v notranji razsvetljavi ne uporablja v zunanji pa tudi vse redkeje.

Tabela 2: Specifikacije tipičnih tehnologij razsvetljave v industriji ([Bizjak & Kobav, 2018](#))

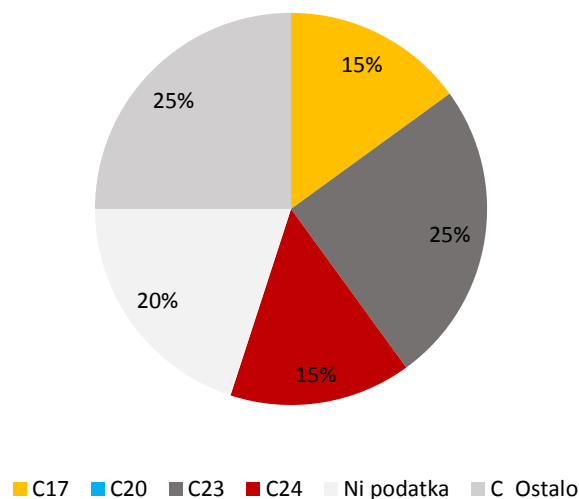
Tehnologija		Povprečna življenjska doba [h]	Svetlobni izkoristek [lm/W]	Indeks barvnega videza Ra	Barvna temperatura [K]
Notranja razsvetljava	Navadna žarnica	1000	10-15	100	2700
	Halogenska žarnica	2000-5000	15-20	100	3000-3200
	Fluorescenčna sijalka	10000-25000	55-105	55-95	2500-17000
	VT Hg sijalka	10000-30000	20-60	15-55	2000-4000
	VT Na sijalka	10000-30000	50-150	25-85	2000-3000
	VT MH sijalka	10000-20000	70-100	70-95	3000-6000
	LED sijalka (retrofit)	30000-50000	80-100	60-95	2700-6500
	LED svetilka	50000-100000	80-150	60-95	2700-6500
Zunanja razsvetljava	Kompaktna fluorescenčna sijalka	8000-12000	55-80	80-95	2500-6500
	VT Hg sijalka	10000-30000	20-60	15-55	2000-4000
	VT Na sijalka	10000-30000	50-150	25-85	2000-3000
	VT MH sijalka	10000-20000	70-100	70-95	3000-6000
	LED svetilka	50000-100000	80-150	60-95	2700-6500

3 Anketa o porabi energije v industriji

3.1 Zasnova ankete

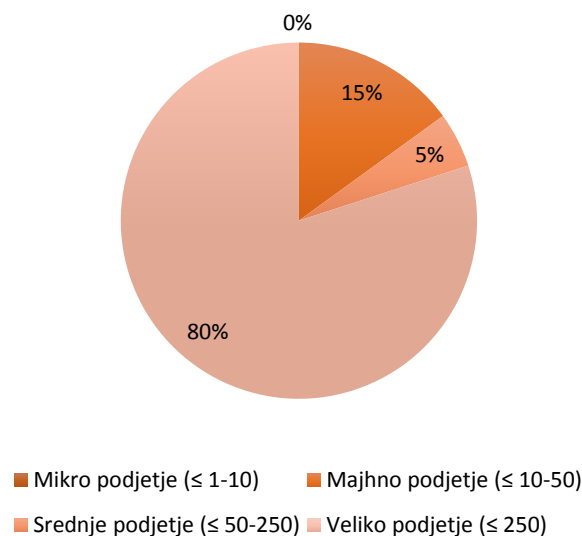
K pripravi strokovnih podlag in načrtovanju ustreznih ukrepov, podpornih programov in spodbud za zmanjševanje emisij TGP, smo želeli aktivno vključiti tudi industrijska podjetja, predvsem tista, ki sodijo v sklop energetske intenzivnih panog. V ta namen smo pripravili anketo o zmanjševanju emisij TGP v industriji (aneks poročila), katere rezultati bodo uporabljeni zlasti pri pripravi strokovnih podlag za prihodnjo Dolgoročno strategijo Slovenije za nizke emisije in načrtovanje spodbujevalnih ukrepov. Z anketo smo želeli pridobiti vpogled v stanje tehnologij in že izvedene ter načrtovane ukrepe na področjih učinkovite rabe energije, izkoriščanja obnovljivih virov energije in drugih ukrepov, ki so tako ali drugače povezani z zniževanjem emisij TGP v industriji.

V anketi je sodelovalo 20 podjetij, med katerimi jih je bilo 15 % iz panoge C17 – proizvodnja papirja papirnih izdelkov, 25 % iz panoge C23 – proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov, 15 % iz panoge C24 – proizvodnja kovin, 25 % iz ostalih panog, 20 % podjetij pa ni podalo podatka o panogi (Slika 31). Z anketo smo zajeli približno četrtino celotne rabe energije v slovenski industriji.



Slika 31: Zastopanost anketiranih podjetij po panogah (N=20)

Če si ogledamo še strukturo glede na velikost podjetja po Zakonu o gospodarskih družbah (ZGD-1, 2009) sodi kar 80 % anketiranih podjetij med velika podjetja (več kot 250 zaposlenih), 15 % anketiranih podjetij sodi med majhna podjetja (med 10 in 50 zaposlenimi) in 5 % predstavljajo srednje velika podjetja (med 50 in 250 zaposlenih). Strukturo anketiranih podjetij glede na velikost podjetja podaja Slika 32.



Slika 32: Struktura anketiranih podjetij glede na velikost po ZGD-1 (N=20)

Delež anketiranih podjetij, ki so vključena v shemo evropskega emisijskega trgovanja EU ETS, je 75 %. Povprečna letna poraba električne energije anketiranih podjetij znaša okoli 110 GWh. Ključni energenti, ki jih navajajo anketirana podjetja pa elektrika, zemeljski plin in toplota.

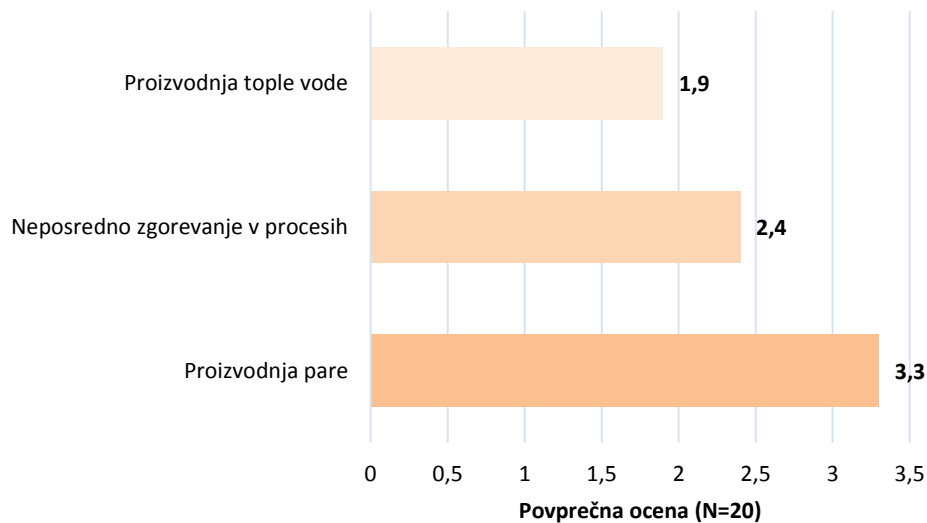
3.2 Rezultati ankete

V rezultatih se bomo osredotočili predvsem na tehnološki del ankete, v sklopu katerega smo skušali pridobiti podatke o stanju na področju tehnologij, ki se uporabljajo v industriji.

3.2.1 Deleži v rabi energije po namelih rabe

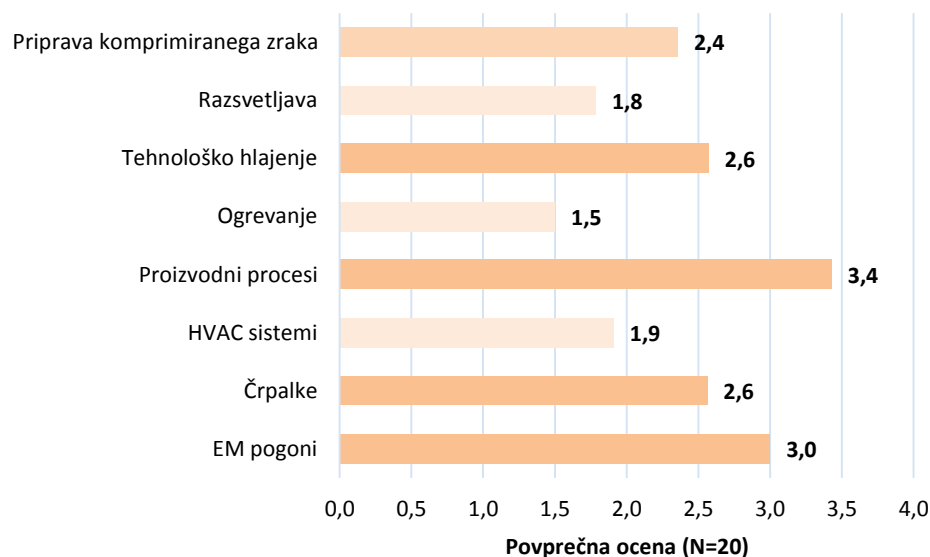
Podjetja smo povprašali, kateri so tisti **porabniki, ki porabijo največ energije** in če lahko ocenijo njihov delež v skupni rabi. Podjetjem, ki sodijo v energetske intenzivne panoge je skupno to, da so največji porabniki predvsem peči (cement, steklo, opeke, izolacijski materiali). V papirni industriji pa predvsem kotli in papirni stroji. V ostalih panogah predstavlja proizvodnji proces okoli 60 % rabe energije, pomembni porabniki so predvsem elektromotorni pogoni, ki poganjajo npr.: mline, ventilatorje in črpalke. V nekaterih panogah predstavlja pomemben del energije (cca. 10 %) tudi priprava komprimiranega zraka.

Anketirana podjetja smo povprašali tudi o **deležu porabe goriv za toploto po naslednjih namelih rabe**: proizvodnja pare, neposredno zgorevanje v procesih in proizvodnja tople vode. Slika 33 predstavlja deleže energije za toploto po namelih rabe, pri čemer vrednost 1 pomeni zanemarljiv delež, 2 majhen, 3 znatno in 4 velik delež. Proizvodnja pare predstavlja znaten delež v porabi toplote, sledi neposredno zgorevanje v procesih, ki ima po ocenah anketiranih majhen delež, proizvodnja tople vode pa predstavlja zanemarljiv delež.



Slika 33: Delež energije za toploto po namelih rabe (N=20)

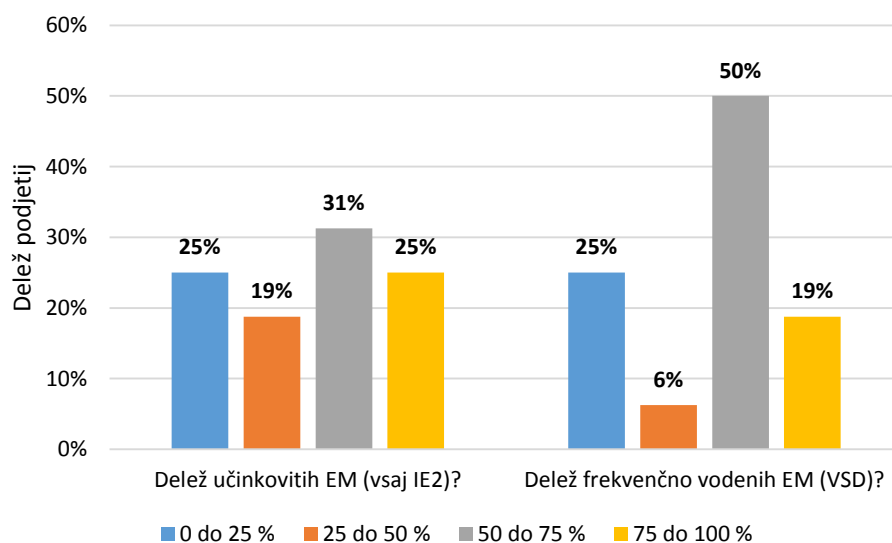
Anketirana podjetja smo povprašali tudi o **deležu porabe električne energije po naslednjih tehnologijah oziroma namelih**: elektromehanski pogoni, črpalke, obločne in druge električne peči, HVAC sistemi, proizvodni procesi, ogrevanje, tehnološko hlajenje, razsvetljava, priprava komprimiranega zraka. Slika 34 predstavlja oceno deležev porabe električne energije po namelih rabe, pri čemer vrednost 1 pomeni zanemarljiv delež, 2 majhen, 3 znaten in 4 velik delež. Anketiranci pripisujejo znaten delež proizvodnim procesom, elektromotornim pogonom, črpalkam in tehnološkemu hlajenju, pripravi komprimiranega zraka pripisujejo majhen delež, ostalim tehnologijam pa zanemarljiv delež v skupni porabi električne energije.



Slika 34: Delež energije za toploto po namelih rabe (N=20)

3.2.2 Učinkoviti elektromotorni pogoni

Glede na dejstvo, da pomemben del rabe električne energije predstavljajo elektromotorni pogoni, nas je zanimalo kolikšen del elektromotornih pogonov je učinkovitih (vsaj IE2) in kolikšen del elektromotornih pogonov je frekvenčno vodenih. Slika 35 prikazuje delež učinkovitih elektromotornih pogonov in delež tistih, ki so frekvenčno vodeni. Vidimo lahko, da ima več kot polovica (56 %) anketiranih industrijskih podjetij več kot 50 % delež učinkovitih elektromotornih pogonov, 31 % jih je ta delež ocenilo med 50 in 75 %, 25 % pa med 75 in 100 %. Pri frekvenčno vodenih elektromotornih pogonih je podobno 69 % anketiranih podjetij ima več kot 50 % delež elektromotornih pogonov opremljenih s frekvenčno regulacijo, pri čemer je 50 % anketirancev ocenilo, da imajo 50 do 75 % pogonov s frekvenčno regulacijo, 19 % anketiranih pa je ocenila, da imajo 75 do 100 % pogonov opremljenih s tovrstno tehnologijo.



Slika 35: Delež učinkovitih elektromotornih pogonov in delež frekvenčno vodenih (N=16)

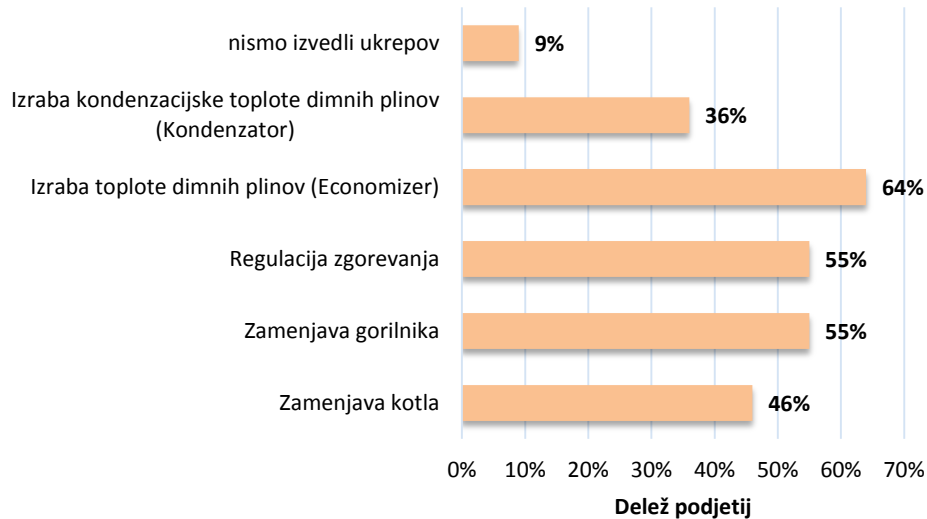
3.2.3 Učinkovita razsvetljava

Pri tehnologijah razsvetljave je zgodna malce drugačna. Zanimalo nas je kolikšen delež razsvetljave je učinkovite (LED, T5). Po podatkih anketiranih podjetij je v povprečju 38 % razsvetljave učinkovite (N=16), pri čemer je 25 % anketirancev navedlo delež višji od 60 %. Nekatera podjetja so navedla tudi, da so ravno v fazi zamenjave razsvetljave. Relativno nizek delež učinkovite razsvetljave gre pripisati predvsem majhnemu deležu rabe električne energije za razsvetljavo v skupni rabi.

3.2.4 Učinkoviti kotli in izvedeni ukrepi

Zanimalo nas je kolikšen delež **kotlov je učinkovitih (izkoristek 90 % in več)**. Po podatkih anketiranih podjetij je v povprečju 82 % kotlov učinkovitih (N=14), pri čemer je 71 % anketirancev navedlo 100 % delež. Nekatera podjetja so navedla, da kotlov nimajo, saj izrabljajo odpadno toploto. K visokemu deležu učinkovitih kotlov močno pripomorejo tudi ukrepi, ki jih izvajajo v industrijskih podjetjih. Zato nas je zanimalo, katere ukrepe na kotlih so v podjetjih, ki so sodelovala v anketi že izvedli v zadnjih 5 letih. Slika 36 prikazuje delež podjetij,

za posamezni ukrep, ki je povezan z izboljšavo kotla. Vidimo, da je najbolj pogost ukrep izraba dimnih plinov (economizer), kar 64 % anketiranih podjetij je implementiralo ta ukrep, sledijo regulacija zgorevanja z 55 %, zamenjava gorilnika prav tako z 55 %, zamenjava celotnega kotla (46 %) in izraba kondenzacijske toplote dimnih plinov (kondenzator) s 36 %.



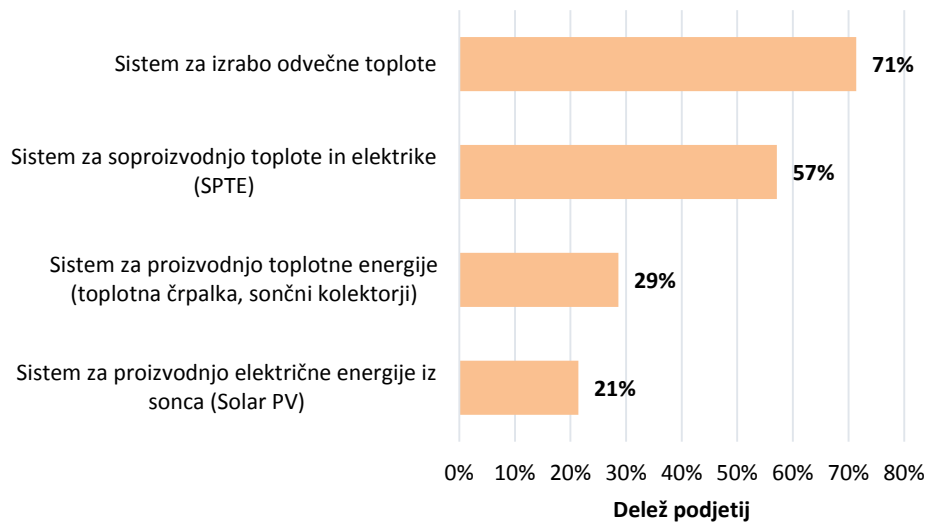
Slika 36: Ukrepi na kotlih (N=11)

Učinkovite peči

Energetsko intenzivne panoge za svoje proizvodne procese v veliki meri uporabljajo različne peči za toplotno obdelavo. Zanimalo nas je kakšen delež peči, ki jih v procesih uporabljajo je učinkovitih (predgrevanje, rekuperacija, vpihovanje zraka, kisika). Dobili smo različne odgovore, rdeča nit pa je, da so učinkovite predvsem peči, ki so novejšje izdelave, starejše peči pa nadgrajujejo bodisi s sistemi za rekuperacijo, bodisi z ostalimi sistemi za izboljšanje učinkovitosti (regulacija, zamenjava gorilnikov, vpihovanje kisika, ipd.). Konkretni odgovori, ki smo jih od sodelujočih v anketi dobili, se gibljejo med 67 in 100 odstotki.

Ostale tehnologije URE in OVE

Na področju tehnologij učinkovite rabe energije in obnovljivih virov energije ima industrija pomembno vlogo. Nekatero tehnologije so se predvsem zaradi stroškovne upravičenosti in okoljskih koristi že dodobra uveljavile. V ta sklop sodijo tehnologije soproizvodnje toplote in elektrike, sistemi za proizvodnjo električne energije iz sonca, sistemi za proizvodnjo toplotne energije iz obnovljivih virov (toplotna črpalka, sončni kolektorji) in sistemi za izrabo odvečne toplote. Predstavnike podjetij, katera so sodelovala v anketi smo povprašali, katere od omenjenih tehnologij že imajo implementirane. Odgovori so bili različni, pomembno pa je, da so podjetja prepoznala velik potencial, ki ga ponuja izraba odpadne toplote. Kar 71 % podjetij je že implementiralo sistem za izrabo odvečne toplote, 57 % anketiranih navaja implementacijo sistema za soproizvodnjo SPTE, 29 % sistem za proizvodnjo toplotne energije iz OVE (predvsem toplotne črpalke), 21 % podjetij, ki so sodelovala v anketi pa je implementiralo sistem za proizvodnjo električne energije iz sonca.



Slika 37: Ukrepi URE in OVE (N=14)

Podjetja smo povprašali tudi o potencialih za implementacijo tehnologij obnovljivih virov energije. Zanimalo nas je, kje še vidijo potencial za implementacijo OVE? Dobili smo različne odgovore, med najbolj zastopanimi je bila sončna elektrarna, sledi izraba odvečne toplote (hlajenje strojev), sistemi za izrabo toplote dimnih plinov, nizekotemperaturne vode, obdelava odpadkov na lokaciji, ter uporaba bioplina.

Zanimal nas je tudi potencial za izrabo odvečne toplote, večina podjetij ocenjuje, da je potencial za izrabo odvečne toplote relativno velik, pri čemer je bilo izpostavljeno tudi sodelovanje z lokalno skupnostjo. Seveda pa se potencial razlikuje glede na industrijsko panogo. Anketirani so izpostavili tudi možnost izrabe odvečne toplote nizko temperaturnih nivojev.

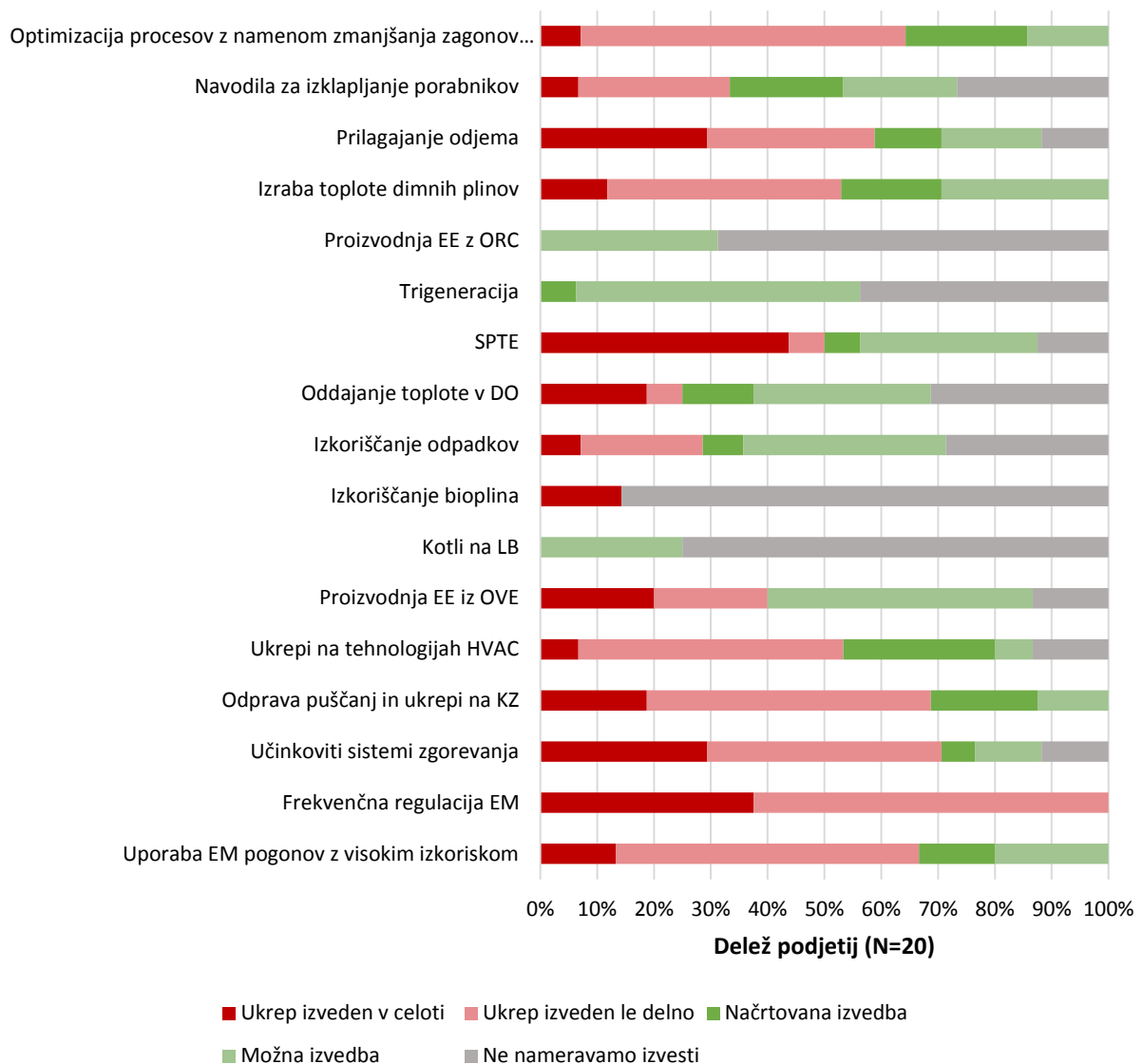
Potenciali - možnosti za ukrepe

Potenciale za tehnologije rabe energije v industriji smo preverjali z vprašanjem, Katere ukrepe ste v vašem podjetju ŽE IZVEDLI, katere NAČRTUJETE in katere BI IZVEDLI, če bi bili za to izpolnjeni pogoji? Spraševali smo po naslednjih tehnologijah: uporaba elektromotornih pogonov z visokim izkoristkom, frekvenčna regulacija elektromotorjev, učinkoviti sistemi zgorevanja, odprava puščanj in ukrepi na komprimiranem zraku, ukrepi na tehnologijah za ogrevanje, prezračevanje in klimatizacijo (HVAC), proizvodnja električne energije iz OVE, kotli na lesno biomaso, izkoriščanje bioplina, izkoriščanje odpadkov, oddajanje toplote v sistemih daljinskega ogrevanja, tehnologije soproizvodnje toplote in električne energije (SPTE), trigeneracija, proizvodnja električne energije z organskim Rankinovim krožnim procesom (ORC), izraba toplote dimnih plinov, prilagajanje odjema, navodila za izklapljanje porabnikov in optimizacija procesov z namenom zmanjšanja zagonov in zaustavitvev. Rezultate prikazuje Slika 38.

Vidimo lahko, da so podjetja, ki so sodelovala v anketi vsaj v neki meri že izvedla skoraj vse navedene ukrepe, z izjemo implementacije tehnologij proizvodnje električne energije z ORC, kotlov na lesno biomaso in trigeneracije. Visoko stopnjo implementacije ima ukrep frekvenčna

regulacija elektromotornih pogonov (38 % že izvedeno v celoti, 62 % delno izvedeno), sledijo učinkoviti sistemi zgorevanja (30 % že izvedeno v celoti, 41 % delno izvedeno), odprava puščanj in ukrepi na pripravi komprimiranega zraka (20 % izvedeno v celoti, 50 % delno izvedeno), uporaba elektromotorjev z visokim izkoristkom (13 % v celoti izvedeno, 53 % delno izvedeno), optimizacija procesov (7 % v celoti izvedeno in 57 % delno izvedeno), s prilagajanjem odjema so se že srečali v 60 % anketiranih podjetij (29 % v celoti izvedeno in 29 % delno izvedeno), podobno velja za izrabo toplote dimnih plinov, kjer je ukrep v celoti izvedlo 12 % anketiranih podjetij, delno pa 41 %.

Ukrepi, katere so v podjetjih izpostavili z visokim deležem (višjim od 50 %), kot tiste, ki jih ne nameravajo izvesti so: izkoriščanje bioplina, kotli na lesno biomaso (posledica visokega deleža implementiranih SPTe) in proizvodnja električne energije z tehnologijo ORC (organic rankine cycle). Med ukrepi, ki so jih podjetja izpostavila, kot možni za izvedbo prevladujeta trigeneracija in proizvodnja električne energije iz OVE (47 %). S 30 % sledijo ukrepi izkoriščanja odpadkov, oddaja toplote v DO, SPTe, izraba toplote dimnih plinov in proizvodnja električne energije z ORC tehnologijo.



Slika 38: Potenciali in možnosti za ukrepe zniževanja TGP (N=19)

Procesne emisije

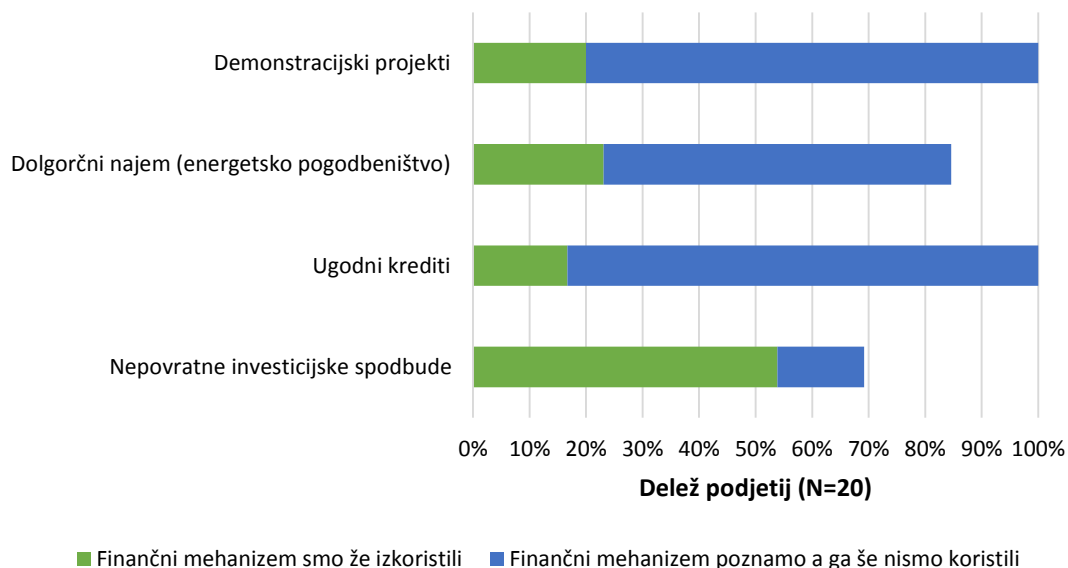
Za zniževanje procesnih emisij smo podjetja, ki emitirajo procesne emisije, teh je bilo 62 % povprašali po načrtovanih ukrepih, ki bi zmanjšali procesne emisije. Dobili smo različne rezultate, med bolj pogostimi izpostavljamu posodobitve procesov, uporabo alternativnih surovin in implementacijo tehnologij zajema in ponovne uporabe ogljika (CCS ter CCU).

3.3 Diskusija rezultatov

Rezultate posameznih področij smo komentirali že v poglavju rezultati, v tem sklopu pa podajamo izkušnje anketiranih podjetij z različnimi finančnimi mehanizmi za spodbujanje ukrepov zniževanja TGP, izpostavljamu ključne ovire in podajamo pogled oziroma dolgoročno razvojno vizijo podjetij.

Uporaba finančnih mehanizmov

Podjetja, ki so sodelovala v anketi smo povprašali o uporabi finančnih mehanizmov, ki jih ponuja država za spodbujanje ukrepov zniževanja emisij TGP za industrijo. Izpostavili smo naslednje finančne mehanizme: nepovratne investicijske spodbude, povratne spodbude v obliki ugodnih kreditov, dolgoročni najem (energetsko pogodbenišтво) in demonstracijske projekte. Slika 39 podaja deleže podjetij, ki so koristili posamezne finančne mehanizme. Največ podjetij, ki so sodelovala v anketi je že izkoristilo nepovratne investicijske spodbude (več kot 50 %), sledi dolgoročni najem s skoraj 25 %, demonstracijski projekti z 20 % in ugodni krediti s 17 %. Podjetja so tudi navedla, da jim najbolj ustrezajo nepovratne investicijske spodbude (65 %), pri čemer so, kot oviro izpostavili dolge in zapletene administrativne postopke. Manjši delež anketiranih podjetij je navedlo, da jim najbolj ustreza finančni mehanizem energetskega pogodbenišťva (35 %).



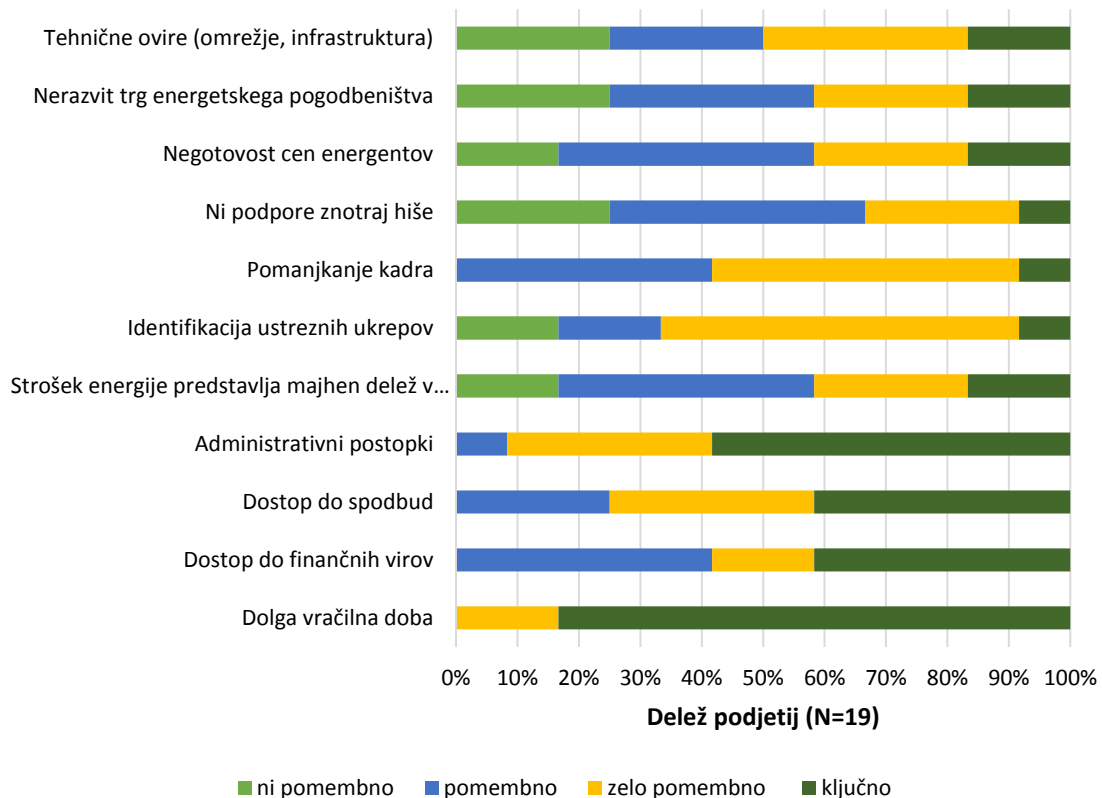
Slika 39: Finančni mehanizmi (N=19)

Ovire

Če si še ogledamo ovire, ki so jih anketirana podjetja izpostavila, kot ključne oziroma najbolj pomembne za implementacijo ukrepov zniževanja emisij TGP v industriji lahko vidimo (Slika 40), da je ključna ovira dolga vračilna doba tovrstnih tehnologij (85 % je oviro označilo kot ključno, 15 % pa kot zelo pomembno), sledijo zahtevni administrativni postopki (skoraj 60 % je oviro označilo kot ključno, 30 % pa kot zelo pomembno), sledi dostop do spodbud (40 % podjetij je oviro označilo kot ključno in 30 % kot zelo pomembno), dostop do finančnih virov (40 % kot ključno in 15 % kot zelo pomembno).

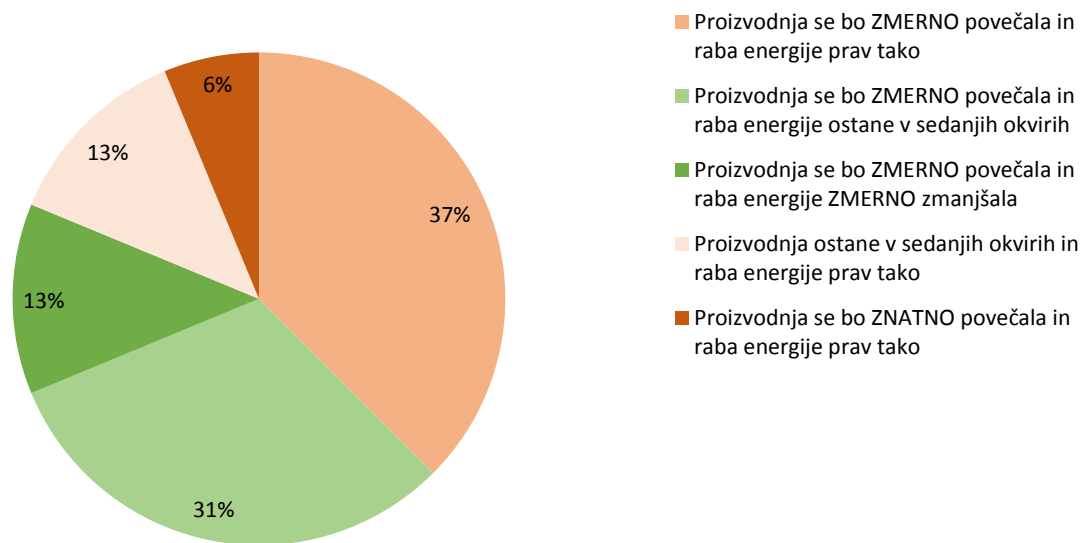
Izpostaviti je potrebno še oviri, ki so neposredno povezani s človeškimi viri, to sta pomanjkanje kadra (50 % zelo pomembno in okoli 10 % ključno) in identifikacija ustreznih ukrepov (60 % zelo pomembno in okoli 10 % ključno), ki je posredno povezana s pomanjkanjem kadra. Ostale ovire imajo nekako podobno porazdelitev (15 % ključna ovira, 25 % zelo pomembna ovira, 30 %

pomembna in 25 % ni pomembna ovira). Tako bi lahko, kot manj pomembne ovire izpostavili, podporo znotraj hiše, majhen delež stroška energije v skupnih stroških, negotovost cen energentov (energetski trgi) in nerazvit trg energetskega pogodbenišva. Tehnične ovire imajo najbolj enakomerno porazdeljene deleže med podjetji (50 % zelo pomembno ter ključno in 50 % pomembno ter ni pomembno).



Slika 40: Ovire za implementacijo ukrepov zniževanja TGP v industriji (N=19)

Podjetja smo povprašali še o njihovi dolgoročni viziji razvoja energetike v njihovem podjetju. Zastavili smo jim naslednje vprašanje: Katera trditev je najbližje dolgoročni razvojni viziji vašega podjetja (do leta 2050)? Slika 41 prikazuje odgovore na zastavljeno vprašanje o dolgoročni viziji razvoja proizvodnje in povezane rabe energije. Vidimo lahko, da je več kot polovica (56 %) anketiranih podjetij predvideva bodisi ohranitev rabe energije v sedanjih okvirih, bodisi rast rabe energije, pri čemer jih kar 37 % predvideva zmerno rast, tako proizvodnje, kot tudi rabe energije. Povečanje proizvodnje pri čemer ostane raba energije v sedanjih okvirjih predvideva 31 %, povečanje proizvodnje pri čemer se raba energije zmanjša pa predvideva 13 % podjetij.



Slika 41: Dolgoročna vizija razvoja energetike (N=16)

Statistični vzorec se za posamezna vprašanja razlikuje, saj so imeli sodelujoči možnost preskočiti vprašanja na katera niso želeli odgovoriti. Kljub temu, da je statističen vzorec dokaj skromen, smo z izbiro sodelujočih podjetij, ki po večini pripadajo energetsko intenzivnim industrijskim panogam uspeli zajeti približno četrtino rabe energije v slovenski industriji.

4 Tehnični potencial

4.1 Zmanjševanje emisij TGP v energetsko intenzivnih dejavnostih

Opise ključnih tehnologij za zniževanje emisij TGP v energetsko intenzivnih dejavnostih smo že podali v poglavju 2.1 Ključne tehnologije po panogah. V nadaljevanju podajamo tehnične potenciale opisanih tehnologij, ocenjeni prihranek energije, emisij ter investicije. Potenciale podajamo v obliki tabel po posameznih obravnavanih panogah. Horizontalne tehnologije so obravnavane in podane na podoben način.

4.1.1 Proizvodnja kovin

4.1.1.1 Proizvodnja jekla

Ključne tehnologije v proizvodnji jekla so najrazličnejše peči, na katerih lahko izvedemo določene ukrepe za zniževanje emisij TGP. Ukrepi za zniževanje emisij TGP so povezani predvsem z energetsko učinkovitostjo in jih vključno s potenciali podaja Tabela 3 ([Industrial Efficiency Technology Database, 2019](#)).

Tabela 3: Potenciali ukrepov v proizvodnji jekla

Ukrep	Energetski prihranek	Emisijski prihranek	Investicija	Dostopnost
Predgrevanje vložka	60 - 100 kWh/t jekla	30 - 50 kg CO ₂ /t jekla	6 - 9 €/t jekla	Komercialno dostopno
Oxy-fuel gorilniki	40 kWh/t jekla	24 kg CO ₂ /t jekla	4,5 €/t jekla	Komercialno dostopno
Uporaba odpadne toplote za SPTE	S 30 % izkoristkom, lahko prihranimo cca. 130 kWh/t jekla in hkrati proizvajamo še električno energijo	80 kg CO ₂ /t jekla	/	V razvoju
Spremljanje dimnih plinov	15 kWh/t jekla	8,8 kg CO ₂ /t jekla	3 €/t jekla	Komercialno dostopno
Izraba toplote dimnih plinov	/	/	/	V razvoju

4.1.1.2 Proizvodnja aluminija

Ključne tehnologije v proizvodnji aluminija so elektroliza, glavni energent predstavlja električna, ter različne peči za taljenje in toplotno obdelavo aluminija in izdelkov (zemeljski plin in električna). Ukrepi za zniževanje emisij TGP so povezani predvsem z energetsko učinkovitostjo in jih v vključno s potenciali podaja Tabela 4 ([Chan, Petithuguenin, Fleiter, Herbst, Arens, & Stevenson, 2019](#)).

Tabela 4: Potenciali ukrepov v proizvodnji aluminija

Ukrep	Energetski prihranek	Emisijski prihranek	Investicija	Dostopnost
Optimizacija procesa elektrolize	/	/	200 €/t aluminija	Komercialno dostopno
Izboljšano prezračevanje in odsesavanje	/	/	120 - 650 €/t aluminija	Komercialno dostopno
Nove zasnove anod	2000 – 2500 kWh/t aluminija	/	/	V razvoju
Predgrevanje vložka	100 kWh/t aluminija	/	40 €/t aluminija	Komercialno dostopno
Gorilniki z rekuperacijo	30 – 50 %	/	4 – 10 €/GJ energije	Komercialno dostopno

4.1.2 Proizvodnja papirja in izdelkov iz papirja

Ključne tehnologije v proizvodnji papirja in papirnih izdelkov so kotli za pripravo pare ter kotli za pripravo kemikalij za kuhanje in beljenje (zemeljski plin, trda goriva, les in lesni odpadki); peči za sušenje in procesno obdelavo (elektrika, zemeljski plin enote SPTE (zemeljski plin, les in lesni odpadki). Ukrepi za zniževanje emisij TGP so povezani predvsem z energetsko učinkovitostjo in jih skupaj s potenciali ukrepov podaja Tabela 5 ([Industrial Efficiency Technology Database, 2019](#)).

Tabela 5: Potenciali ukrepov v proizvodnji papirja in papirnih izdelkov

Ukrep	Energetski prihranek	Emisijski prihranek	Investicija	Dostopnost
Izboljšanje energetske učinkovitosti	20 – 30 %	/	/	Komercialno dostopno
Izraba odvečne toplote	250 kWh/t papirja	/	17 €/t papirja	Komercialno dostopno
Zamenjava goriv	/	/	/	Komercialno dostopno
Aktivna vloga pri zagotavljanju odjema	/	/	/	V razvoju
Soproizvodnja toplote in električne energije	v sproizvodnjah se 80-93% vložene energije pretvori v 40-70% toplote in 20- 45% električne energije.	-50 % v primerjavi s konvencionalnimi tehnologijami	1000 €/kW	Komercialno dostopno

4.1.3 Proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov

4.1.3.1 Proizvodnja cementa

Ključne tehnologije v proizvodnji cementa so rotacijske peči za proizvodnjo klinkerja (zemeljski plin, alternativna goriva (odpadne pnevmatike, 2D in 3D goriva¹⁸, mulj iz čistilnih naprav, odpadno olje,...), električna), mlinci za mletje cementa (električna). Ukrepi za zniževanje emisij TGP so povezani predvsem z energetske učinkovitostjo in jih podaja Tabela 6 ([Industrial Efficiency Technology Database, 2019](#)), (Chan, Petithuguenin, Fleiter, Herbst, Arens, & Stevenson, 2019).

Tabela 6: Potenciali ukrepov v proizvodnji cementa

Ukrep	Energetski prihranek	Emisijski prihranek	Investicija	Dostopnost
Izboljšanje energetske učinkovitosti	Tri ciklonske stopnje: 3,4 – 3,8 GJ/t klinkerja Štiri ciklonske stopnje: 3,2 – 3,6 GJ/t klinkerja Pet ciklonskih stopenj: 3,1 – 3,5 GJ/t klinkerja Šest ciklonskih stopenj: 3,0 – 3,4 GJ/t klinkerja	/	/	Komercialno dostopno
Uporaba alternativnih goriv	Nadomeščanje surovin z žlindro (15 %) → omogoča prihranke med 0,1 – 0,4 GJ/t klinkerja	do 117 kg CO ₂ /t klinkerja	cca. 6 milijonov €	Komercialno dostopno
Izraba odvečne toplote za soproizvodnjo električne energije	v soproizvodnjah se 80-93% vložene energije pretvori v 40-70% toplote in 20 - 45% električne energije.	/	1000 - 2000 €/kW	Komercialno dostopno

4.1.3.2 Proizvodnja stekla

Ključne tehnologije v proizvodnji stekla so peči za taljenje in obdelavo stekla (zemeljski plin, kurilno olje); peči za sušenje in procesno obdelavo (električna, zemeljski plin), kotli za pripravo pare (zemeljski plin, kurilno olje, les in lesni odpadki). Ukrepi za zniževanje emisij TGP so povezani predvsem z energetske učinkovitostjo in jih podaja Tabela 7 ([Industrial Efficiency Technology Database, 2019](#)), (Chan, Petithuguenin, Fleiter, Herbst, Arens, & Stevenson, 2019).

Tabela 7: Potenciali ukrepov v proizvodnji stekla

Ukrep	Energetski prihranek	Emisijski prihranek	Investicija	Dostopnost
Električno taljenje (zamenjava ZP z električno energijo)	-31 %	do 75 %	100 – 500 €/t	V razvoju

¹⁸ 2D gorivo je pred pripravljeno stisnjeno gorivo iz posameznih ločeno zbranih frakcij trdnih nenevarnih odpadkov, pri katerih prevladuje plastika, možni pa so še dodatki npr. tekstila, papirja, lesa, itd. Nenevarni odpadki so tudi tako imenovana 3D goriva, ki so trdno gorivo večjega premera pripravljeno iz nenevarnih odpadkov

Ukrep	Energetski prihranek	Emisijski prihranek	Investicija	Dostopnost
Oxy-fuel gorilniki	5 – 20 %	do 40 %	Zamenjava tehnologije zahteva investicijo med 4 – 5 milijoni €	Komercialno dostopno
Predgrevanje šarže	10 – 20 %	cca. 7 %	1 – 3 milijone €; oziroma 50 €/t	Komercialno dostopno (TRL 8)
Uporaba sekundarnih surovin	-15 %	do 40 %	Stroški so predvsem povezani z vzpostavitvijo mehanizmov snovne učinkovitosti	Komercialno dostopno
Uporaba biometana	/	- 75 %	Ni posebnih stroškov, smiselno ob širši uporabi sinteznega plina	Komercialno dostopno

4.1.3.3 Ostale panoge

Tehnologije in ukrepi, ki jih obravnavamo v ostalih panogah so predvsem vezane na horizontalne tehnologije, katere po večini lahko implementiramo v vseh industrijskih panogah. Od naprednih sistemov vodenja procesov in uravljanja z energijo, do različnih načinov izrabe odvečne toplote. Ukrepi za zniževanje emisij TGP so povezani predvsem z energetsko učinkovitostjo in jih podaja Tabela 8 ([Industrial Efficiency Technology Database, 2019](#)), ([Chan, Petithuguenin, Fleiter, Herbst, Arens, & Stevenson, 2019](#)).

Tabela 8: Potenciali ukrepov v ostalih industrijskih panogah

Ukrep	Energetski prihranek	Emisijski prihranek	Investicija	Dostopnost
Procesna integracija	/	/	10 €/GJ	Komercialno dostopno
Napredni sistemi procesnega vodenja	5 %, povečanje proizvodnje za 2,5 %	/	ROI (vračilna doba) med 0,5 – 2,5 let	Komercialno dostopno
Soproizvodnja toplote in električne energije	v sproizvodnjah se 80-93% vložene energije pretvori v 40-70% toplote in 20- 45% električne energije.	-50 % v primerjavi s konvencionalnimi tehnologijami	1000 €/kW	Komercialno dostopno
Izraba odvečne toplote v procesih z nizko temperaturno toploto				Komercialno dostopno
Izraba odvečne toplote	odvisno od panoge med 5 in 15 %	/		Komercialno dostopno
Napredni sistemi upravljanja z energijo	Posredni učinki (odvisno od implementacije identificiranih ukrepov)	Posredni učinki (odvisno od implementacije identificiranih ukrepov)	ROI cca. 1 leto	Komercialno dostopno
Enote Trigeneracije	80-93% vložene energije pretvori v 40 -70% toplote (hladu) in 20 - 45% električne energije.	/	S subvencijami je vračilna doba manjša od 3 let	Komercialno dostopno

4.2 Druge horizontalne tehnologije

4.2.1 Tehnični potencial učinkovitih motorskih pogonov

V sodobnem času je uporaba učinkovitih pogonskih sistemov pri gradnji industrijskih postrojev nujna in skoraj samoumevna že s stališča konkurenčnosti. Veliko starejših pogonov je bilo posodobljenih. Vsi tisti, ki se pa gradijo na novo pa zaradi zgoraj omenjene konkurenčnosti in tudi zaradi izpolnjevanja politike racionalne uporabe energije zahtevajo uporabo sodobnih (varčnejših) pogonov. S tega stališča menimo, da dodatnih potencialov na tem področju ni mogoče pričakovati.

4.2.2 Tehnični potencial tehnologij sproizvodnje elektrike in toplote (SPTE)

Tehnični potencial tehnologij zavisi od namena uporabe in različnih tehnologij sproizvodnje toplotne in električne energije. Tabela 9 podaja potenciale za tri različne tehnologije, klasična SPTE, trigeneracija in izraba odpadne toplote s pomočjo SPTE tehnologije.

Tabela 9: Potenciali ukrepov SPTE

Ukrep	Energetski prihranek	Emisijski prihranek	Investicija	Dostopnost
Sproizvodnja toplote in električne energije	v sproizvodnjah se 80 - 93 % vložene energije pretvori v 40 -70 % toplote in 20- 45 % električne energije.	-50 % v primerjavi s konvencionalnimi tehnologijami	1000 €/kW	Komercialno dostopno
Enote Trigeneracije	80 - 93 % vložene energije pretvori v 40 -70 % toplote (hladu) in 20 – 45 % električne energije.	/	S subvencijami je vračilna doba manjša od 3 let	Komercialno dostopno
Izraba odvečne toplote za sproizvodnjo električne energije	v sproizvodnjah se 80 - 93% vložene energije pretvori v 40 -70 % toplote in 20 – 45 % električne energije.	/	1000 - 2000 €/kW	Komercialno dostopno

4.2.3 Tehnični potencial tehnologij komprimiranega zraka

Pri tehnologijah priprave komprimiranega zraka je možnih več različnih ukrepov, med najpomembnejše nedvomno sodi odprava puščanj in zagotavljanje rednega vzdrževanja. Puščanje sistemov s stisnjnim zrakom je pogosta težava in lahko povzroči znatne izgube. Zaradi visokega tlaka v sistemu lahko celo majhno puščanje povzroči izgubo velike količine stisnjene zraka. Stopnja puščanja v sistemu, kjer ni zagotovljenega rednega vzdrževanja lahko znaša tudi do 50 % ([Industrial Efficiency Technology Database, 2019](#)). Zmanjšanje puščanja pa ni omejeno zgolj na prihranke energije. Zaradi puščanja lahko pride tudi do okvare opreme, s čimer skrajša življenjsko dobo le te in poveča stroške vzdrževanja.

Obstaja še vrsta drugih ukrepov za izboljšanje učinkovitosti priprave komprimiranega zraka, naj jih naštejemo le nekaj: zniževanje padca tlaka v sistemu, frekvenčna regulacija pogonov, zamenjava predimenzioniranih kompresorjev, zmanjšanje potreb po komprimiranem zraku

(uporaba zunanjega zraka, odpadni zrak, ventilatorji). Omenjeni ukrepi ponujajo možnost za prihranek energije v pripravi komprimiranega zraka, vendar je na tem mestu potrebno poudariti, da so ukrepi na komprimiranem zraku, bolj sistematične in organizacijske narave, kot pa tehnološke. Tabela 10 podaja potencial ukrepa odprave puščanja v sistemu priprave komprimiranega zraka.

Tabela 10: Potencial ukrepov v sistemih za pripravo komprimiranega zraka

Ukrep	Energetski prihranek	Emisijski prihranek	Investicija	Dostopnost
Odprava puščanja v sistemu	Odprava puščanj v kombinaciji z ustreznim vodenjem kompresorjev lahko prihrani do 20 % porabljene energije	/	1150 EUR za sisteme < 37 kW; 2750 za sisteme med 37 kW < S < 75 kW; in 4500 za sisteme večje od 75 kW	Komercialno dostopno

4.2.4 Tehnični potencial tehnologij razsvetljave

V splošnem lahko pričakujemo, da bomo v notranji razsvetljavi razmeroma hitro prešli na široko uporabo svetlečih diod, pri čemer se bodo še nekaj časa uporabljale tudi fluorescenčne sijalke, predvsem zaradi preverjene tehnologije in nizke cene.

V zunanji razsvetljavi bo prav tako vse več svetlečih diod, vendar pa bodo v uporabi ostale tudi še visokotlačne sijalke, predvsem metal-halogenidne ter natrijeve. Prve zaradi dobrega indeksa barvnega videza druge pa zaradi razmeroma dobrega svetlobnega izkoristka.

Poleg novih svetlobnih virov z boljšim svetlobnim izkoristkom pa lahko v prihodnjih letih pričakujemo tudi porast »potrebe po svetlobnem toku«. Pri kompaktnih fluorescenčnih sijalkah je bila maksimalna moč (s tem pa tudi maksimalni svetlobni tok), zaradi dolžine cevi omejena na vrednost nekaj nad 20 W. Te omejitve pri sijalkah z LED ni več in pričakujemo lahko da se bodo na tržišču spet dobili svetlobni viri s svetlobnim tokom okoli 2000 lm ali celo več (podobno kot včasih npr. 150 W ali 200 W navadna žarnica).

Podobno lahko pričakujemo, da se bo tudi na ostalih področjih notranje razsvetljave večala potreba po svetlobnem toku. Tu določene omejitve sicer predstavljajo standardi, ki se običajno spreminjajo precej počasi, vendar pa nas bodo težave starejših delavcev z vidnimi nalogami tudi na tem področju pripeljale do večjih standardiziranih vrednosti. Tehnične parametre tipičnih tehnologij v industriji podaja **Tabela 11**.

Tabela 11: Parametri tipičnih tehnologij razsvetljave v industriji (Bizjak & Kobav, 2018)

	Tehnologija	Investicija [EUR/klm]	Vzdrževanje [EUR/leto]	Življenjska doba [h]	Cena	Svetlobni tok [lm]	Pov. obr. ure [h/leto]	Električna moč [W]
Notranja razsvetljava	Navadna žarnica	0,70	0,65	1000	0,50	710	1300	60
	Halogenska žarnica	1,83	0,42	4000	1,28	700	1300	46
	Fluorescenčna sijalka T5	0,51	0,24	20000	1,68	3300	2800	54
	VT Hg sijalka	0,45	0,65	15000	3,50	7800	2800	175
	VT Na sijalka	0,63	0,74	24000	6,34	10000	2800	100
	VT MH sijalka	0,74	1,72	15000	9,21	12500	2800	150
	LED sijalka (retrofit)	7,67	0,72	30000	7,67	1000	2800	10
	LED svetilka	10,93	6,43	50000	114,75	10500	2800	150
Zunanja razsvetljava	Kompaktna fluorescenčna sijalka	1,72	1,08	8000	2,06	1200	4200	18
	VT Hg sijalka	0,45	0,98	15000	3,50	7800	4200	175
	VT Na sijalka	0,63	1,11	24000	6,34	10000	4200	100
	VT MH sijalka	2,98	7,10	15000	25,36	8500	4200	100
	LED svetilka	17,06	3,44	50000	40,95	2400	4200	30

5 Snovna učinkovitost in zmanjšanje emisij TGP 10 strani

Predelovalna industrija je eden glavnih in najbolj izvozno naravnanih sektorjev v državi, obenem pa močno odvisna od uvoza in eden glavnih porabnikov materialov, vode in energije ter eden največjih proizvajalcev odpadnih snovi. Krožne modele poslovanja in pripadajoče verige vrednosti lahko prav pri predelovalnih dejavnostih odlično implementiramo – začevši z eko dizajnom, uveljavljanjem novih materialov, energijsko učinkovitostjo, možnostjo vzdrževanja, popraviljanja, obnavljanja in v končni fazi recikliranja izdelkov. Za ohranjanje mednarodne konkurenčnosti je upoštevanje krožnih načel vedno bolj pomembno, saj številne korporacije med dobavitelji dajejo prednost tistim, ki izkazujejo inovativnost in učinkovitost na ravni krožnosti.

Ključni akterji: industrijska podjetja, ki surovine predelujejo v izdelke ter polizdelke, in podjetja, ki delujejo znotraj njihovih oskrbnih verig.

Potenciali (Vlada Republike Slovenije, 2018):

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

Izpostavljene priložnosti (Vlada Republike Slovenije, 2018):

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

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

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

Predvideva se, da bodo kljub ambicioznim strategijam zniževanja emisij TGP, emisije iz proizvodnje jekla, cementa, aluminija in plastike naraščale, kar pomeni preseganje zaveze oz. cilja ostati pod 1,5 °C. V tem kontekstu so realne možnosti doseganja ciljev brez dodatnih ukrepov minimalne. Iz teh razlogov se v nadaljevanju osredotočamo na tehnologije, pri katerih zaradi njihove narave (intenzivnost, obseg, visokotemperaturni procesi) težje uresničujemo načela zniževanja emisij TGP. Ukrepe za posamezne panoge povzemamo po (IPCC, 2014, Edenhofer, et al, 2014).

5.1.1 C17 Proizvodnja papirja

IPCC v pregledu potencialov za zmanjšanje emisij TGP po industrijskih panogah navaja za posamezne panoge naslednje možnosti (IPCC, 2014, Edenhofer, et al, 2014):

- glavni viri emisij TGP so raba goriv in energije za proizvodnjo papirja in kartona; več kot polovica energije pri proizvodnji papirja se porabi za toploto oz. sušenje papirja v papirnih strojih; po nekaterih ocenah (Laurijssen, De Gram, Worrell, & Faaij, 2010) bi lahko toplotno energijo znižali na 32 % z uporabo aditivov, povišanjem točke rosišča in rekuperacijo toplote;
- reciklaža papirja je pomemben faktor snovne učinkovitosti, sploh v luči večanja potreb po biomasi kot gorivu; možno je prilagajanje in uporaba inovativnih pristopov pri oblikovanju vhodnih zahtev reciklažnega papirja, čeprav je trg volatilen in stopnja reciklaže že sedaj zelo visoka;
- uporaba tehnologij soproizvodnje toplote in elektrike.

5.1.2 C20 Proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov

Na razpolago zelo malo podatkov. Za to panogo so precejšnje težave z zbiranjem podatkov, saj gre za zelo raznolik sektor. V veliki meri gre za povečevanje energijske učinkovitosti ter rabo obnovljivih virov energije. Snovi, ki jih uporabljajo v proizvodnji (npr. topila za ekstrakcijo, čiščenje ipd.), lahko učinkovito ponovno uporabijo s postopki regeneracije oz. destilacije.

5.1.3 C23 Proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov

Emisije TGP izhajajo iz sežiga goriv za segrevanje surovin in iz reakcije kalcinacije. Predvidene so naslednje možnosti za zmanjševanje emisij TGP:

- izboljšanje energijske učinkovitosti in zamenjave goriv, čeprav je okrog 50% emisije TGP, ki izhaja iz procesa kalcinacije, neizogibne;
- zmanjševanje rabe cementnih izdelkov z nadomestnimi gradbenimi materiali, tehnologijami gradnje in izboljševanjem snovne učinkovitosti v procesih;
- mletje in transport predstavljata okrog 10% rabe energije, ki je lahko iz nefosilnih virov;
- ciljno približevanje BAT referenčnim vrednostim (2,9 GJ/t cementa za končno rabo energije oz. za rabo primarne energije 3,4 GJ/t Portlandskega cementa);
- povečevanje rabe alternativnih virov energije, sploh biogenega izvora;
- čeprav raba alternativnih virov energije relativno povečuje specifično rabo energije (predvsem zaradi predobdelave in sušenja energentov), se emisije TGP znižujejo;
- razvoj novih tehnologij proizvodnje cementa in njegove rabe;
- snovna učinkovitost: cement se uporablja pri izdelavi betona oz. betonskih izdelkov, pri čemer lahko snovno učinkovitost dosežemo na naslednje načine:
 - z optimiranjem oz. dodajanjem manj cementa v betonsko mešanico;
 - z reciklažo betonskih delov po prvi življenjski dobi betonskega izdelka (kar je različno od recikliranja betonskih odpadkov v agregate ter uporabe predpisane količine cementa);
 - s tehnologijo gradnje in rabo betona le tam, kjer je to nujno potrebno;
 - z uporabo močnejšega cementa oz. betona je potrebna manjša masa vgrajenega betona (tudi do 40% nižje emisije CO₂ z uporabo ultra močnih betonov);
 - zmanjševanjem deleža klinkerja v cementu z uporabo polnil (sadra, žlindra, leteči pepel, rdeče blato, kalcit in druge naravne ali predelane snovi (npr. pucolani));
 - podaljševanje uporabne dobe stavb in infrastrukture (npr. z boljšim vzdrževanjem) oz. intenzivnejša raba le-teh.

5.1.4 C24 Proizvodnja kovin

Slovenija nima primarne proizvodnje železa, ima pa jeklarne. Trg reciklaže jekel je razvit in operativen več desetletij, čeprav ima določene pomanjkljivosti, npr. zmanjševanje vrednosti materialov zaradi postopnega mešanja nečistoč in neželenih kovin v jeklene litine, kar se trenutno rešuje po načinu »end-of-pipe« glede na zbiranje sekundarnih surovin namesto med procesom ločevanja in obvladovanja tokov sekundarnih surovin in kovinskih odpadkov.

Zaradi visokotemperaturnih procesov ter režimov ohlajanja so možna izboljšanja rekuperacije toplote ter energije iz procesnih plinov, izdelkov in tokov odpadkov oz. sekundarnih surovin (npr. žlindre), kar omogoča načrtovanje procesov (npr. z načeli vitke proizvodnje), logistike proizvodnje oz. posameznih procesov, kjer prihaja do ohlajanja vmesnih zalog ter dogrevanja pred obdelavo v naslednjem procesu. Sodelovanje sicer konkurenčnih tovarn in korporacij preko platform najboljše prakse oz. najboljših razpoložljivih tehnologij (primerjava oz. benchmarking) omogoča prepoznavanje dobrih praks ter uvajanje le-teh v proizvodnje s podpovprečnimi rezultati glede energijske in snovne uspešnosti.

Ker v Sloveniji nimamo proizvodnje železa so emisije v zrak iz proizvodnje jekel zaradi pretežne uporabe električne energije oz. zemeljskega plina sorazmerno manj problematične, vseeno pa v procesih proizvodnje in obdelave jekel nastajajo tudi tokovi odpadkov oziroma sekundarnih surovin, ki pa so v glavnem uporabne v gradbeni industriji.

Trenutno razmerje stroškov dela in vhodnih materialov (železa oz. reciklažnega jekla) še vedno daje prednost (dražjemu) delu, kar ni stimulatívno za povečevanje kroženja jeklenih materialov, saj reciklaža vključuje sorazmerno večje stroške dela. Seveda pa lahko celotna industrija, ki uporablja jeklene izdelke, z razvojem svojih izdelkov znižuje oz. minimizira relativno vsebnost jekla v njih, kar velja tako za avtomobilsko, kot gradbeno industrijo (npr. gradnja za daljše dobe uporabe). Tudi povečevanje intenzivnosti rabe tako vozil kot zgradb (deljenje, najemanje, ipd.) lahko precej zniža dolgoročne emisije TGP zaradi manjše primarne proizvodnje, res pa je, da podaljševanje uporabne dobe delno povečuje tudi emisije med samo rabo izdelkov, kjer je zato potrebno najti primeren optimum.

Za proizvodnjo kovin se predvidevajo naslednji ukrepi:

- raba električne energije iz OVE;
- reciklaža, zaradi energijske intenzivnosti proizvodnje primarnega aluminija je industrija zbiranja in reciklaže razvita, saj je raba energije za proizvodnjo aluminija iz recikliranega aluminija na ravni 5% rabe energije za proizvodnjo primarnega aluminija, kamor pa ni všteto procesiranje in transport sekundarnega aluminija; velik problem predstavljajo tudi elementi v zlitinah, ki jih je potrebno nadzorovati v snovnih tokovih; dodatno emisijo TGP poleg CO₂ predstavljajo v proizvodnji še reducenti ter zaščitni plini (pri proizvodnji aluminija CF₄ in C₂F₆, pri proizvodnji magnezijapa SF₆);
- uporaba ostankov štancanja aluminija z lepljenjem in ne pretaljevanjem;
- izboljšanje izkoristka pri vlivanju (manj odpada);
- ponovna uporaba okenskih aluminijastih okvirjev in fasadnih oblog pri rušenju stavb; modularna gradnja za daljšo življenjsko dobo ter večjo možnostjo ponovne uporabe prefabriciranih izdelkov.

Tabela 12 podaja ukrepe snovne učinkovitosti za posamezno energetska intenzivno panogo, kot jih predvideva Mednarodna agencija za energijo IEA ([International Energy Agency, 2015](#)).

Predelovalna industrija je eden glavnih in najbolj izvozno naravnanih sektorjev v državi, obenem pa močno odvisna od uvoza in eden glavnih porabnikov materialov, vode in energije ter eden največjih proizvajalcev odpadnih snovi. Krožne modele poslovanja in pripadajoče verige vrednosti lahko prav pri predelovalnih dejavnostih odlično implementiramo – začevši z eko dizajnom, uveljavljanjem novih materialov, energijsko učinkovitostjo, možnostjo vzdrževanja, popraviljanja, obnavljanja in v končni fazi recikliranja izdelkov.

Tabela 12: Pregled sektorskih ukrepov snovne učinkovitosti v industriji (International Energy Agency, 2015)

Sektor	Ukrep	Opis
Proizvodnja kovin	Povečanje deleža reciklaže	Delež zbiranja odpadnega železa izrabljenih naprav doseže 94 % v letu 2040
	Povečanje stopnje donosa	Stopnje donosa se povišajo za 4 % do leta 2040
	Ponovna uporaba	Delež odpadnega železa izrabljenih naprav, ki ga lahko neposredno uporabimo v proizvodnih procesih doseže 17 % v letu 2040
	Zmanjšanje teže izdelkov (light-weighting) in večja intenzivnost uporabe	Zmanjšanje uporabe jekla v posameznih proizvodih, pri čemer se poveča število proizvodov; uporaba jekla se zniža za 6 % do leta 2040
	Izraba odpadnega železa	V letu 2040 se 9 % odpadnega železa se ponovno uporabi brez intenzivne toplotne obdelave
	Povečanje življenske dobe jeklenih izdelkov	Povečanje življenske dobe jeklenih izdelkov in komponent na 60 let
Proizvodnja cementa	Ponovna uporaba in večja intenzivnost uporabe	Ponovna uporaba cementnih proizvodov in večja intenzivnost rabe v zgradbah, potreba po cementu se v letu 2040 zniža za 5 %
	Zmanjšanje deleža klinker-cement	Z uporabo alternativnih materialov (npr. elektrofiltrski pepel) se delež klinke-cement zniža na 0,66 v letu 2040
Proizvodnja plastičnih mas	Povečanje deleža reciklaže	Delež reciklaže, predvsem v embaliranju, doseže 30 % v letu 2040
	Zmanjšanje teže izdelkov (light-weighting) in večja intenzivnost uporabe	Zmanjšanje uporabe plastičnih izdelkov za 5 % v letu 2040
Proizvodnja papirja	Povečanje deleža reciklaže	Povečanje deleža recikliranega starega papirja na 75 % v letu 2040
	Zmanjšanje teže izdelkov (light-weighting) in večja intenzivnost uporabe	Zmanjšanje potrebe po papirju z zmanjševanjem teže pisarniškega papirja na 70 g/m ² in na 42 g/m ² za časopisni papir
Proizvodnja aluminija	Povečanje deleža reciklaže	Delež zbiranja odpadnega materiala doseže 87 % v letu 2040
	Povečanje stopnje donosa	Stopnje donosa se povišajo za 10 % do leta 2040
	Ponovna uporaba	Delež odpadnega materiala, ki ga lahko neposredno uporabimo v proizvodnih procesih doseže 19 % v letu 2040
	Zmanjšanje teže izdelkov (light-weighting) in večja intenzivnost uporabe	Zmanjšanje uporabe aluminija v posameznih proizvodih, pri čemer se poveča število proizvodov; uporaba aluminija se zniža za 8 % do leta 2040
	Izraba odpada	V letu 2040 se 5 % odpadnega materiala ponovno uporabi brez intenzivne toplotne obdelave
	Povečanje življenske dobe izdelkov	Povečanje življenske dobe izdelkov in komponent iz aluminija na 29 let

6 Sezname

6.1 Seznam oznak in kratic

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
BAT	(best available technology), najboljša razpoložljiva tehnologija
CCS	(Carbon Capture and Storage), zajem in shranjevanje ogljika
CCU	(Carbon Capture, Utilisation), zajem in uporaba ogljika
COS	ogljikov sulfid
CPOEF	Center poslovne odličnosti Ekonomske fakultete
DO	daljinsko ogrevanje
DPSS	Dolgoročna podnebna strategija Slovenije do leta 2050
DSEPS 2050	Dolgoročna strategija energetske prenove stavb do leta 2050
EAF	Electric arc furnace
EE	(Energy efficiency), energetska učinkovitost
EGS	(Enhanced geothermal systems), napredni geotermalni sistemi
ELEK	ELEK, načrtovanje, projektiranje in inženiring, d. o. o., partner projekta LIFE Podnebna pot 2050
ESHA	European Small Hydropower Association
ETS	(EU Emission Trading Scheme), shema za trgovanje z emisijami EU
EU	(European Union), Evropska unija
EU ETS	sistem trgovanja z emisijami (angl. EU Emissions Trading System)
EWE	European Wind Energy Technology Platform
EWEA	European Wind Energy Association
GC	gorivne celice
GHG	(greenhouse gas), toplogredni plin
GI ZRMK	Gradbeni Inštitut ZRMK, partner projekta LIFE Podnebna pot 2050
HCl	vodikov klorid
HE	hidroelektrarne
HVAC	(Heating, Ventilation and Air Conditioning), sistemi za ogrevanje, prezračevanje in klimatizacijo
IEA	(International Energy Agency), Mednarodna energetska agencija
IER	Inštitut za ekonomska raziskovanja, partner projekta LIFE Podnebna pot 2050
IJS	Institut "Jožef Stefan", vodilni partner projekta LIFE Podnebna pot 2050
IPCC	(Intergovernmental Panel on Climate Change), Medvladni forum za spremembo podnebja
JRC	Joint research centre
KIS	Kemijski inštitut Slovenije, partner projekta LIFE Podnebna pot 2050
LB	lesna biomasa
LED	(light-emitting diode), svetleča dioda
LTS	Long-term climate strategy
LULUCF	(Land Use, Land Use Change and Forestry), Raba tal, sprememba rabe tal in gozdarstvo
NECP	National Energy and Climate Plan
NEPN	nacionalni energetski in podnebni načrt

NIR	(National Inventory Report), Nacionalne evidence emisij
NT	nizko tlačna
OECD	(Organisation of Economic Cooperation and Development), Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj
OP NOZ	Operativni program nadzora nad onesnaževanjem zraka
ORC	organski Rankinov krožni proces (angl. Organic Rankine Cycle)
OVE	obnovljivi viri energije
PAH	policiklični aromatski ogljikovodiki
PEFC	polimer electrolyte fuel cell
PFC	prefluorirani ogljikovodiki
PM	plinski motor
PNZ	PNZ svetovanje projektiranje, d. o. o., partner projekta LIFE Podnebna pot 2050
PV	Premogovnik Velenje
RES	renewable energy
SKD	Standardna klasifikacija dejavnosti
SM	Stirlingov motor
SOFC	(Solid Oxide Fuel Cel), keramične gorivne celice
SPT	soproizvodnja toplote in električne energije
STV	sanitarna topla voda
SURS	Statistični urad Republike Slovenije
TGP	toplogredni plini
UNFCCC	(United Nations Framework Convention on Climate Change), Okvirna konvencija Združenih narodov o spremembi podnebja
URE	učinkovita raba energije
VE	vetrna elektrarna
VOC	(Volatile organic compounds) hlapne organske spojine
VT	visoko tlačna
ZGD	Zakon o gospodarskih družbah
ZP	zemeljski plin

6.2 Seznam slik

Slika 1: Emisije CO ₂ v predelovalnih dejavnostih po panogah (vir: UNFCCC: NIR, 2019)	12
Slika 2: Raba energije v predelovalnih dejavnostih po občinah in struktura goriv v 2017	13
Slika 3: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v predelovalnih dejavnostih (vir: SURS, 2019).....	14
Slika 4: Struktura rabe energije v predelovalnih dejavnostih v letu 2017 (vir: SURS, 2019).....	15
Slika 5: Struktura rabe energije v panogi C24 - proizvodnja kovin v letu 2017 (SiStat - Baza Statističnega urada Slovenije, 2019).....	16
Slika 6: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v panogi C24 - proizvodnja kovin (vir: SURS, 2019).....	16
Slika 7: Struktura rabe energije v panogi C17 - proizvodnja papirja in izdelkov iz papirja v letu 2017 (vir: SURS, 2019)	17
Slika 8: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v panogi C17 - proizvodnja papirja in izdelkov iz papirja (vir: SURS, 2019)	18

Slika 9: Struktura rabe energije v panogi C23 - proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov v letu 2017 (vir: SURS, 2019)	19
Slika 10: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v panogi C23 - proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov (vir: SURS, 2019)	19
Slika 11: Struktura rabe energije v panogi C20 - proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov v letu 2017 (vir: SURS, 2019)	20
Slika 12: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v panogi C20 - proizvodnja kemikalij, kemičnih izdelkov (vir: SURS, 2019)	21
Slika 13: Struktura rabe energije v ostalih ind. panogah v letu 2017 (vir: SURS, 2019)	22
Slika 14: Gibanje proizvodnje in struktura rabe energije v ostalih industrijskih panogah (vir: SURS, 2019)	22
Slika 15: Gibanje deleža OVE v energiji za toploto po panogah (vir: SURS, 2019).....	23
Slika 16: Emisije CO ₂ v predelovalnih dejavnostih in delež procesnih emisij (vir: UNFCCC: NIR, 2019)	24
Slika 17: Procesne emisije po panogah (vir: UNFCCC: NIR, 2019)	24
Slika 18: Trije ključni elementi učinkovitega izkoriščanja odvečne toplote.....	35
Slika 19: Tehnologije rabe odvečne toplote glede na razpoložljivi temperaturni nivo in toplotno moč (Waste Heat, 2019)	36
Slika 20: Rankinov cikel z dvostopenjsko ekspanzijo in vmesnim pregrevanjem pare (Machlectures, 2019).....	38
Slika 21: Proizvodnja električne energije iz nizkoogljčnih obnovljivih virov: hidro, sonce in veter	40
Slika 22: Končna raba obnovljivih virov energije.....	40
Slika 23: Raba bioplinov v transformaciji	41
Slika 24: Glavni deli vetrne elektrarne	42
Slika 25: Konvencionalni pristopa za izkoriščanje geotermalne energije po principu uparjanja na površju (Geothermal Energy, 2018).....	43
Slika 26: Konvencionalni pristopa za izkoriščanje geotermalne energije po principu uparjanja pod površjem (Geothermal Energy, 2018)	44
Slika 27: Binarni sistem za izkoriščanje geotermalne energije (Geothermal Energy, 2018)	44
Slika 28: Izkoristek navadnih in energijsko učinkovitih motorjev v odvisnosti od moči.....	46
Slika 29: Hidravlična (Voith) regulacijska sklopka.....	46
Slika 30: Blokovna shema frekvenčnega pretvornika	47
Slika 31: Zastopanost anketiranih podjetij po panogah (N=20)	50
Slika 32: Struktura anketiranih podjetij glede na velikost po ZGD-1 (N=20)	51
Slika 33: Delež energije za toploto po namenih rabe (N=20).....	52
Slika 34: Delež energije za toploto po namenih rabe (N=20).....	52
Slika 35: Delež učinkovitih elektromotornih pogonov in delež frekvenčno vodenih (N=16)	53
Slika 36: Ukrepi na kotlih (N=11)	54
Slika 37: Ukrepi URE in OVE (N=14).....	55
Slika 38: Potenciali in možnosti za ukrepe zniževanja TGP (N=19)	57
Slika 39: Finančni mehanizmi (N=19)	58
Slika 40: Ovire za implementacijo ukrepov zniževanja TGP v industriji (N=19).....	59
Slika 41: Dolgoročna vizija razvoja energetike (N=16)	60

6.3 Seznam tabel

Tabela 1: Izkoristki malih SPTE oziroma trigeneracijskih naprav	48
Tabela 2: Specifikacije tipičnih tehnologij razsvetljave v industriji (Bizjak & Kobav, 2018)	49
Tabela 3: Potenciali ukrepov v proizvodnji jekla	61
Tabela 4: Potenciali ukrepov v proizvodnji aluminija	62
Tabela 5: Potenciali ukrepov v proizvodnji papirja in papirnih izdelkov	62
Tabela 6: Potenciali ukrepov v proizvodnji cementa	63
Tabela 7: Potenciali ukrepov v proizvodnji stekla	63
Tabela 8: Potenciali ukrepov v ostalih industrijskih panogah.....	64
Tabela 9: Potenciali ukrepov SPTE	65
Tabela 10: Potencial ukrepov v sistemih za pripravo komprimiranega zraka	66
Tabela 11: Parametri tipičnih tehnologij razsvetljave v industriji (Bizjak & Kobav, 2018).....	67
Tabela 12: Pregled sektorskih ukrepov snovne učinkovitosti v industriji (International Energy Agency, 2015)	72

6.4 Viri in literatura

- (3. 6 2018). Pridobljeno iz Geothermal Energy:
<https://people.uwec.edu/piercech/210webs/renewable/geothermal.htm>
- (3. 3 2019). Pridobljeno iz Waste Heat: <https://www.waste-heat.eu/about-waste-heat/waste-heat-technologies>
- (3. 3 2019). Pridobljeno iz Machlectures: <https://www.mechlectures.com/vapor-power-cycles>
- ARSO. (2012). *Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnologijah v industriji železa in industriji jekla.*
- ARSO. (2013). *Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnikah v industriji cementa in industriji apna.*
- ARSO. (2014). *Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnologijah v industriji celuloze in papirja.*
- ARSO. (2016). *Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnologijah v industriji barvnih kovin.*
- BCS Incorporated for US Department of Energy. (2008). *Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry.* Industrial Technologies Program.
- Bizjak, G., & Kobav, M. B. (2018). *Razsvetljava v Sloveniji do leta 2050.* Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo.
- Chan, Y., Petithuguenin, L., Fleiter, T., Herbst, A., Arens, M., & Stevenson, P. (2019). *Industrial Innovation: Pathways to deep decarbonisation of Industry. Part 1: Technology Analysis.*

ICF Consulting Services Limited and Fraunhofer ISI to the European Commission, DG Climate Action.

Deep Geothermal Days. (2014). *Deep Geothermal Energy in the EU Framework Programme Horizon 2020*. Paris.

ESHA. (2010). *State of the art Small Hydropower in EU -25*.

EWE - European Wind Energy Technology Platform. (2014). *Strategic Research Agenda - Market Deployment Strategy*.

EWEA - European Wind Energy Association. (2015). *Aiming High - Rewarding Ambition in Wind Energy*.

Fatur, T., & Šolinc, H. (1998). *Varčno z energijo pri elektromotorskih pogonih - Energijsko učinkovite tehnologije in postopki*. Ljubljana: Inštitut „Jožef Štefan“ - Center za energetska učinkovitost.

Heating and cooling. (3. 3 2019). Pridobljeno iz <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling>

Industrial Efficiency Technology Database. (3. 3 2019). Pridobljeno iz <http://ietd.iipnetwork.org/>

International Energy Agency. (2015). *World Energy Outlook 2015*. OECD/IEA.

IPCC, 2014, Edenhofer, et al. (2014). *IPCC: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge.

Košnjek, Z., Bugeza, M., & Kopše, D. (2018). *ŠTUDIJA LIFE - Potenciali tehnologij*. ELEK.

Laurijssen, J., De Gram, F., Worrell, E., & Faaij, A. (2010). Optimizing the energy efficiency of conventional multi-cylinder dryers in the paper industry. *Energy*, Vol. 35(9), pp. 3738-3750.

Remus, R., Monsonet, M. A., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2013). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production*. JRC REFERENCE REPORT.

Renewables First - The Hydro and Wind Company. (2018). *Hydro Consultant - Renewables First - Feasibility, Design, Engineering*.

Schorcht, F., Kourti, I., Scalet, B. M., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2013). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide*. JRC REFERENCE REPORTS.

SiStat - Baza Statističnega urada Slovenije. (3. 3 2019). Pridobljeno iz <https://pxweb.stat.si/SiStat/>

Suhr, M., Klein, G., Kourti, I., Gonzalo, M. R., Santonja, G. G., Roudier, S., in drugi. (2015). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board.* JRC Science and Policy Reports.

Talum. (3. 3 2019). Pridobljeno iz <http://www.talum.si/>

UNFCCC. (2019). *UNFCCC National Inventory Report (NIR) 2019 za Slovenijo.* UNFCCC.

Uradni list Evropske unije 2014/687/EU. (2014). *IZVEDBENI SKLEP KOMISIJE o določitvi zaključkov o najboljših razpoložljivih tehnikah (BAT) v skladu z Direktivo 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta za proizvodnjo celuloze, papirja in kartona.*

Uradni list Evropske unije L 70/63. (2012). *IZVEDBENI SKLEP KOMISIJE o določitvi zaključkov o najboljših razpoložljivih tehnologijah (BAT) iz Direktive 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta o industrijskih emisijah za proizvodnjo železa in jekla (2012/135/EU).*

Vestas Wind Systems. (2017). *4MW Platform.*

Vlada Republike Slovenije. (2018). *Kažipot prehoda v krožno gospodarstvo Slovenije.*

Voith Turbo GmbH & Co. KG. (2012). *Voith Variable-Speed Turbo Couplings.*

ZGD-1. (2009). *Zakon o gospodarskih družbah (Uradni list RS, št. 65/09 – uradno prečiščeno besedilo, 33/11, 91/11, 32/12, 57/12, 44/13 – odl. US, 82/13, 55/15, 15/17 in 22/19 – ZPosS).*

Priloga 1: Zmanjševanje emisij TGP v industriji – anketni vprašalnik