



Zeleni poslovni modeli u metaloprerađivačkoj industriji

IMPRESSUM

IZDAVAČ

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn and Eschborn,
Savezna Republika Njemačka, COVID-19 Investment Response – komponenta Green Recovery

ADRESA

Zmaja od Bosne 7-7a, Importanne Centar O3/IV, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

AUTORI

Prof. dr. Sanda Midžić Kurtagić, dipl.inž.građ-
v. prof. dr. Rejhana Blažević, dipl.inž.maš
M.A Ajla Sijarić, dipl.inž.maš.
Ena Markotić, dipl.inž.hem
Centar za energiju, okoliš i resurse – CENER 21

RECENZENTI

Prof. dr Ejub Džaferović
v. prof. dr Halima Hadžiahmetović

LEKTORISANJE

Profis d.o.o. Agencija za prevođenje i lektorisanje

DIZAJN

OD Operta Sarajevo, dizajn Ivana Ramljak Kopic

GODINA IZDAVANJA

2024.

Ova publikacija objavljena je u okviru komponente Green Recovery projekta Covid-19 Investment Response, koji finansira Ministarstvo za ekonomsku saradnju i razvoj Savezne Republike Njemačke (BMZ), a implementira Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Green Recovery za cilj ima adresiranje sve većeg pritiska koji zelena tranzicija predstavlja za sve relevantne aktere u BiH, uključujući mala i srednja poduzeća, aktere na srednjem nivou i predstavnike vlasti.

Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH i ne odražava nužno stavove Ministarstva za ekonomsku saradnju i razvoj Savezne Republike Njemačke (BMZ).

© 2024 Green Recovery – Sva prava pridržana

PREDGOVOR

Knjiga Zeleni poslovni modeli u metaloprerađivačkoj industriji nastala je kao odgovor na brojne izazove u postizanju karbonske neutralnosti, resursne efikasnosti, hemikalijske sigurnosti i uspostave cirkularnih poslovnih modela pred kojima se nalazi metaloprerađivačka industrija. Posebni izazovi leže pred lokalnim malim i srednjim poduzećima da udovolje zahtjevima međunarodnih poduzeća da se pridržavaju okolišnih i društvenih zahtjeva, kao partnera u njihovom lancu snabdijevanja. Knjiga je fokusirana na zelene proizvodne procese i operacije i prikazuje primjere trenutnih tehnoloških postignuća. Imajući u vidu široki opseg metoda zelenog poslovanja i dinamiku inovacija u pristupu i tehnološkim rješenjima, ova knjiga može se smatrati materijalom koji se treba kontinuirano dopunjavati.

Knjiga sadrži veliki broj primjera dobre prakse za postizanje energijske efikasnosti i primjene obnovljivih izvora energije, vodne efikasnosti i cirkularnosti materijalnih tokova koji trebaju poslužiti kao vodič i inspiracija metaloprerađivačkoj industriji za uvođenje nekih od prikazanih mjera, ali može biti vrlo korisna i stručnjacima iz prakse i inženjerima u industriji. Knjiga će biti korisna i studentima tehničkih fakulteta, posebno mašinskih fakulteta, koji teorijske osnove mogu bolje razumjeti kroz prikazanu praktičnu primjenu.

Čitateljima koji se žele detaljnije upoznati s problematikom i dalje istraživati dostupan je bogat pregled referentnih literaturnih i internetskih izvora.

Sarajevo, februar 2024. godine

Urednica MA Šejla Mahmutović, dipl.inž.maš., Centar za energiju, okoliš i resurse, CENER21

SADRŽAJ

1. UVOD	9
2. KLJUČNE POLITIKE POKRETAČI ZELENOG POSLOVANJA	13
3. METALOPRERAĐIVAČKI SEKTOR U BOSNI I HERCEGOVINI	17
4. ODRŽIVO UPRAVLJANJE ENERGIJOM	18
4.1 Potrošnja energije u industriji obrade metala	18
4.2 Tehnike za kontrolu potrošnje u vršnom opterećenju i reaktivne energije	19
4.2.1 Instalacija sistema za kompenzaciju reaktivne energije	19
4.2.2 Instalacija frekventnih regulatora	20
4.2.3 Plansko uključivanje visokih potrošača električne energije	22
4.3 Energijski efikasnija rasvjeta	22
4.3.1 Korištenje LED-rasvjete	25
4.3.2 Primjena sistema za kontrolu i regulaciju osvjetljenja	25
4.4 Energijski efikasniji sistemi s komprimiranim zrakom	26
4.4.1 Regulacija sistema komprimiranog zraka	27
4.4.2 Popravka cijevne mreže sistema komprimiranog zraka	29
4.4.3 Ugradnja spremnika komprimiranog zraka	32
4.4.4 Zamjena klipnih kompresora vijčanim kompresorima	33
4.4.5 Korištenje električnih puhaljki za potrebe čišćenja radnog prostora	34
4.5 Energijski efikasniji sistemi hlađenja	35
4.6 Energijski efikasnija kotlovska postrojenja	37
4.6.1 Povećanje efikasnosti rada kotla odgovarajućom pripremom i kontrolom kotlovske vode	38
4.6.2 Odmuljivanje i odsoljavanje kotla	39
4.6.3 Postavljanje/zamjena toplotne izolacije na cjevovodima	41
4.6.4 Povrat kondenzata	46
4.6.5 Prilagođavanje omjera zraka i goriva	48
4.6.6 Izrada projekta sistema grijanja	48
4.7 Cirkularnost otpadne toplote	49
4.7.1 Cirkularnost otpadne toplote kompresora (rekuperacija)	50
4.7.2 Ugradnja ekonomajzera i predgrijača zraka	53
4.7.3 Iskorištavanje otpadne toplote kogeneracijom	55

4.7.4	Energija dobivena toplotnim pumpama	57
4.8	Korištenje solarne energije	62
5.	ODRŽIVO UPRAVLJANJE HEMIKA LIJAMA	65
5.1	Potrošnja hemikalija u industriji obrade metala	65
5.2	Efikasno upravljanje hemikalijama	66
5.3	Skladištenje hemikalija	68
5.4	Upotreba alternativnih zelenih hemikalija	69
5.5	Hemijski lizing	71
5.6	Mjere za optimiziranje potrošnje hemikalija	73
5.7	Cirkularnost hemikalija i hemijskih rastvora	74
5.7.1	Regeneracija hlorovodonične kiseline u postupku pripreme metala	74
5.7.2	Tehnike za ponovnu upotrebu istrošenih kiselina u preradi metala	75
5.8	Zbrinjavanje otpadnih hemikalija	75
6.	ODRŽIVO UPRAVLJANJE VODAMA	77
6.1	Potrošnja vode u industriji obrade metala	77
6.2	Tehnike za smanjenje emisija u vodu	78
6.3	Tehnike za postizanje vodne efikasnosti	80
6.4	Cirkularnost otpadnih voda	82
7.	TEHNIKE ZA KONTROLU EMISIJA U ZRAK	84
7.1	Vrste emisija	84
7.2	Tehnologije prečišćavanja	85
8.	TEHNIKE ZA SMANJENJE OTPADA U METALOPRERAĐIVAČKOM SEKTORU	86
8.1	Primjena principa LEAN-menadžmenta u proizvodnji	87
8.2	Cirkularnost ostataka iz metaloprerađivačke industrije	90
9.	SMJERNICE ZA UVOĐENJE ZELENIH POSLOVNIH MODELA	92
10.	LITERATURA	95

POPIS SLIKA

Slika 1. Ključne komponente zelenih lanaca snabdijevanja	10
Slika 2. Cirkularnost materijalnog toka u cirkularnoj ekonomiji	11
Slika 3. Prikaz predviđenog rasta upotrebe sirovina u svijetu 2017–2060. (Gt) [1]	12
Slika 4: Proces podnošenja CBAM-izvještaja [4]	15
Slika 5. Struktura potrošača električne energije u industrijskom sektoru u BiH (2021) [10]	18
Slika 6. Razlika u troškovima za energiju nakon instalacije kondenzatora za period od 6 mjeseci	20
Slika 7. Neprilagođenost rasvjete potrebama skladišnog prostora [17]	23
Slika 8. Hala s prirodnim i vještačkim osvjetljenjem [19]	23
Slika 9. Rasvjeta postavljena neposredno iznad radnog mjesta [20]	24
Slika 10. Oštećenost distributivne mreže komprimiranog zraka (pojava curenja)	29
Slika 11. Detekcija gubitaka ultrazvučnim detektorom	30
Slika 12. Mašina za izradu jezgra u tvornici aluminija	31
Slika 13. Vijčani kompresor (lijevo) i klipni kompresor (desno)	33
Slika 14. Električna puhaljka za čišćenje Bosch professional [33]	34
Slika 15. Gubici energije kod sistema za proizvodnju i distribuciju pare [43]	37
Slika 16. Iskorištenje rashladne vode u rezervoaru za pripremu vode [45]	39
Slika 17. Gubici toplote kroz oplatu kotlova, oštećena izolacija kotlova i parovoda (arhiva autora)	41
Slika 18. Neizoliranost ventila (arhiva autora)	41
Slika 19. Neizoliranost spremnika kondenzata (arhiva autora)	42
Slika 20 Gubici toplotne energije usljed isticanja pare na priрубnicama (arhiva autora)	42
Slika 21. Odvojiva izolacija od kompozitnih materijala [46]	42
Slika 22. Fiksna izolacija [47]	42
Slika 23. Odvojiva izolacija cilindričnog kotla [48]	43
Slika 24. Fiksna izolacija cilindričnog kotla [49]	43
Slika 25. Odvojiva izolacija cijevi [50]	43
Slika 26. Fiksna izolacija cijevi [51]	43
Slika 27. Uklonjiva izolacija na ventilima i efekti primjene [55]	44
Slika 28 Prikaz mjerenja temperature na cjevovodu sa i bez izolacije [54]	44
Slika 29. Odvojiva izolacija ventila [55]	45
Slika 30. Odvojiva izolacija na cirkulacijskim pumpama [56]	45
Slika 31. Princip povrata ukupnog kondenzata uz pomoć mehaničke kondenzacijske pumpe [58]	47
Slika 32. Struktura gubitaka u tipičnom kompresorskom sistemu [26]	51
Slika 33. Iskorištavanje otpadne toplote s kompresora putem kanala za odsis toplog zraka [31]	51

Slika 34. Iskorištavanje otpadne toplote kompresora putem ventilacijskog kanala [30]	52
Slika 35. Prikaz IT za iskorištavanje toplote ulja [30]	52
Slika 36. Glavni dijelovi generatora pare koji koristi ugalj kao gorivo [66]	54
Slika 37. Shema CHP-postrojenja s plinskom turbinom [69]	56
Slika 38. Sheme industrijskog procesa pogonjenog fosilnim gorivom i toplotnom pumpom [72]	58
Slika 39. Grijanje i hlađenje postrojenja za lakiranje putem parnog kotla (lijevo) i nakon ugradnje toplotne pumpe (desno)	59
Slika 40. Shema procesa galvanizacije s ugrađenom toplotnom pumpom	60
Slika 41. Toplotna pumpa instalirana u čeličani i valjaonici	61
Slika 42. Integracija visokotemperaturne toplotne pumpe u proces sinterovanja	61
Slika 43. Solarni paneli na krovu hale	62
Slika 44. Solarni kolektori: pločasti i vakuumski [78]	63
Slika 45. Vakuumski kolektori na krovu kompanije [79]	64
Slika 46. Primjer sistema za solarno grijanje industrijske kade [79]	64
Slika 47. Solarni kolektori na krovu kompanije [79]	64
Slika 48. Sigurno skladištenje hemikalija [86]	69
Slika 49. Prikaz web-ekrana i informacija sa SIN-liste	70
Slika 50. Prikaz web-ekrana alata Marketplace	71
Slika 51. Skladište otpadnih hemikalija [95]	76
Slika 52. Sankeyjev dijagram tvornice za livenje metala [89]	81

POPIS TABELA

Tabela 1. Cijene frekventnih regulatora u zavisnosti od snage [14]	21
Tabela 2. Najčešći problemi koji povećavaju potrošnju energije u kompresorskim stanicama proizvodnih pogona [26]	27
Tabela 3. Troškovi curenja zraka pod pritiskom [26]	29
Tabela 4. Ušteda energije postavljanjem izolacije na ventilima [57]	45
Tabela 5. Koraci u provođenju programa efikasnog korištenja hemikalija [86]	68
Tabela 6. Status prije i poslije primjene modela hemijskog lizinga	72
Tabela 7. Prednosti efikasnog upravljanja otpadom [100]	86

POPIS SKRAĆENICA

BiH	Bosna i Hercegovina
BRICS	Brazil, Russia, India, China, South Africa (Brazil, Rusija, Indija, Kina, Južna Afrika)
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism (Mehanizam prilagodbe granice ugljika)
CCF	Corporate Carbon Footprint (korporativni karbonski otisak)
CEAP	Circular Economy Action Plan (Akcijski plan za cirkularnu ekonomiju)
CFL	Compact Fluorescent Lamp (kompaktne fluorescentne sijalice)
CHP	Combined Heat and Power (istovremena proizvodnja toplotne i električne energije)
CLP	Uredba o razvrstavanju, pakiranju i označivanju hemikalija (1272/2008/EU) poznata kao CLP (Classification, Labelling and Packaging)
COP	Coefficient of Performance (Faktor performansi)
DAF	Dissolved Air Flotation (flotacija otopljenim zrakom)
ECHA	European Chemical Agency (Evropska agencija za hemikalije)
ERP	Enterprise Resource Planning (planiranje resursa poduzeća)
ETS	Emissions Trading System (Sistem trgovanja emisijama)
EU	Evropska unija
FiT	Feed-in tariff (feed-in tarifa)
FN	Fotonapon
GHG	Greenhouse gas (staklenički plinovi)
LED	Light-emitting diode (svijetleća dioda)
LPG	Liquid Petroleum Gas (tečni naftni plin)
MRP	Materials Requirements Planning (planiranje zahtjeva za materijalima)
NECP	National Energy and Climate Plan (Nacionalni energetske i klimatski plan)
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development (Organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj)
OEE	Overall Equipment Effectiveness (ukupna efikasnost opreme)
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (registracija, evaluacija, autorizacija i ograničavanje hemikalija)
SCR	Selective Catalytic Reduction (selektivna katalitička redukcija)
SIN	Substitute It Now (Zamijenite odmah)
SNCR	Selective non-catalytic reduction (selektivna nekatalitička redukcija)
TPM	Total Productive Maintenance (ukupno produktivno održavanje)
VOC	Volatile Organic Compounds (hlapivi organski spojevi)

1. UVOD

Zeleni poslovni modeli postaju sve značajniji kako bi odgovorili na rastuće zahtjeve za održivošću i zaštitom okoliša. Zeleni poslovni modeli grade se na održivim praksama, inovacijama u upravljanju resursima i smanjenju uticaja na okoliš. To uključuje implementaciju obnovljivih izvora energije, efikasno korištenje resursa, usklađivanje sa okolišnim standardima i oporabu materijala. Oporaba znači svaki postupak čiji je glavni rezultat upotreba otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale koje bi inače trebalo upotrijebiti za tu određenu svrhu, ili otpad koji se priprema kako bi ispunio tu svrhu, u tvornici ili u širem gospodarskom smislu. Osim toga, zeleni poslovni modeli često promoviraju društvenu odgovornost, podržavaju lokalne zajednice i teže stvaranju održivog ekonomskog sistema.

Zeleni poslovni modeli uključuju zelene proizvode, zelene proizvodne procese i operacije i zeleno upravljanje lancima snabdijevanja.

Zeleni proizvodi smanjuju štetne učinke materijala koji je uključen u proizvod ili njegovu ambalažu. Ovo se postiže izbjegavanjem upotrebe škodljivih i toksičnih tvari, smanjenjem korištenja neobnovljivih materijala i umjesto njih, korištenjem neškodljivih obnovljivih resursa. Na primjer, “Zeleni čelik” je čelik proizveden korištenjem okolišno prihvatljivih i održivih metoda, koje obično uključuju korištenje obnovljivih izvora energije, smanjenje emisije ugljičnog dioksida te smanjenje i recikliranje otpada tokom proizvodnog procesa. To se može postići na različite načine, kao što je smanjenje upotrebe redukcijskih sredstava i goriva na bazi ugljika u peletiranju, zamjenom tehnologije taljenja u visokim pećima sa taljenjem u elektrolučnim pećima koje se napajaju energijom proizvedenom iz obnovljivih izvora, ili zamjenom fosilnih pogonskih goriva vodikom u svim ostalim procesima.

Zeleni proizvodni procesi i operacije rezultiraju minimalnim i neškodljivim emisijama gasova i čestica u zrak, otpadne vode i otpada, proizvodnja je resursno efikasna, a zdravlje zaposlenika, kupaca i stanovništva lokalne zajednice je zaštićeno.

Zelena poduzeća preuzimaju odgovornost za cijeli životni vijek svojih proizvoda, od ekstrakcije sirovina, proizvodnje, uporabe i konačnog tretmana, a zapravo su odgovorna za cijeli lanac snabdijevanja.

Zeleni lanac snabdijevanja odnosi se na ideju integriranja okolišno održivih procesa u tradicionalni lanac snabdijevanja, što uključuje nabavku, proizvodnju i distribuciju, ali umjesto jednosmjernog kretanja proizvoda od proizvođača do potrošača on uključuje i povratne logističke aktivnosti (Slika 1).

Povratna ili obrnuta logistika se odnosi na proces vraćanja proizvoda od krajnjih korisnika nazad kroz lanac snabdijevanja do trgovca ili proizvođača na oporabu, popravak,

recikliranje ili zbrinjavanje.

Slika 1. Ključne komponente zelenih lanaca snabdjevanja



Prakse **zelene distribucije** predstavljaju ključni segment održivog lanca opskrbe, obuhvatajući niz inovativnih rješenja s ciljem smanjenja utjecaja distribucijskih procesa na okoliš. Distribucija uključuje različite aktivnosti i discipline kao što su transport, pakiranje, skladištenje, upravljanje zalihama. Ključni okolišni aspekt zelene distribucije je postizanje karbonske neutralnosti uz korištenje neškodljivih materijala i tehnologija. Pa tako naprimjer, korištenje zelenih materijala za pakiranje doprinosi smanjenju potrošnje resursa i stvaranju manjeg okolišnog otiska. Ovo uključuje upotrebu recikliranih ili biorazgradivih materijala, čime se smanjuje količina otpada i podržava princip održivosti. Energijski efikasna i/ili skladišta koja se napajaju energijom iz obnovljivih izvora, također, pridonose smanjenju emisija stakleničkih plinova. Zelene prakse u transportu, kao jedan od važnih aspekata zelene distribucije, uključuju korištenje vozila s niskom emisijom štetnih plinova ili vozila na električni pogon kako bi se smanjile emisije štetnih plinova tokom transporta proizvoda. Razvoj alternativnih goriva, kao i implementacija tehnologija za optimizaciju rute i povećanje iskoristivosti vozila, doprinose efikasnijem i okolišno prihvatljivijem prijevozu. Sve ove prakse zajedno čine integrirani pristup zelenoj distribuciji koji ne samo da smanjuje negativne utjecaje na okoliš, već i doprinosi stvaranju održivijeg i odgovornijeg poslovnog modela.

Zeleni poslovni modeli uključuju cirkularnu ekonomiju, ekonomiju dijeljenja i zamjenu neželjenih i toksičnih supstanci. Ovi modeli kombiniraju ekonomske ciljeve sa smanjenjem negativnog utjecaja na okoliš, stvarajući pozitivne ishode za poslovanje, okoliš i društvo.

Cirkularna ekonomija je ekonomski sistem zasnovan na ponovnoj upotrebi i regeneraciji materijala ili proizvoda, s ciljem nastavka proizvodnje na održiv i okolišno prihvatljiv način. Cilj cirkularne ekonomije je pokretanje tranzicije s tradicionalnog linearnog modela

proizvodnje i potrošnje po principu “uzmi-napravi-odbaci” na onaj koji se fokusira na efikasnost resursa, smanjenje otpada i kontinuiranu upotrebu materijala unutar sistema zatvorene petlje (slika 2).

Slika 2. Cirkularnost materijalnog toka u cirkularnoj ekonomiji



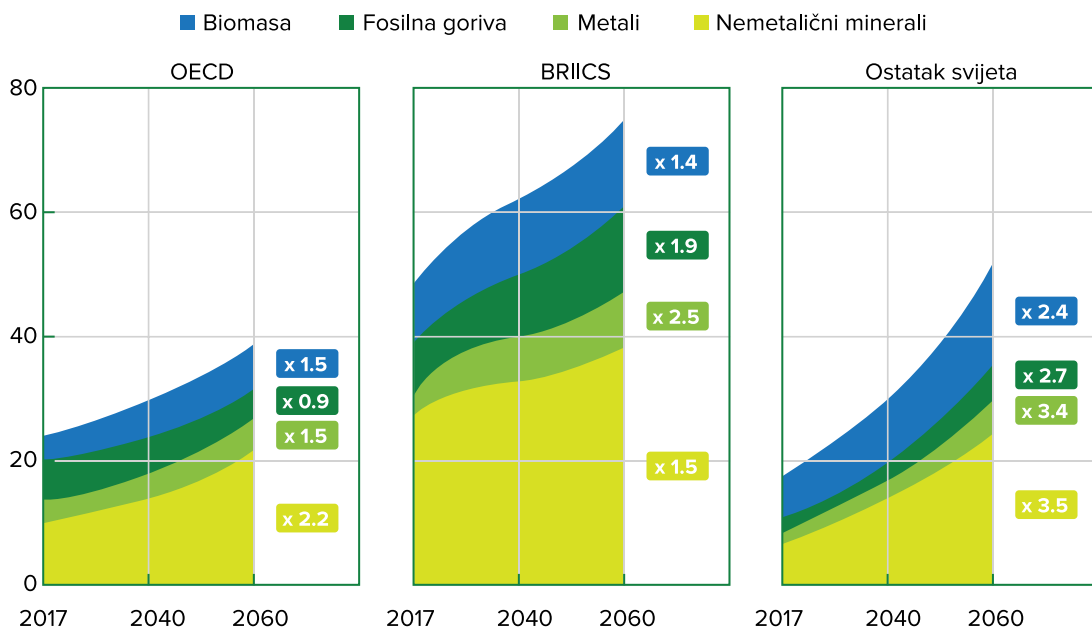
Težnja ka resursno efikasnijoj proizvodnji i cirkularnosti materijalnih tokova potaknuta je opasnošću od nedostatka neobnovljivih sirovina kao što su metali i energenti. OECD (Organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj)¹ predviđa da će se svjetska ekonomija do 2050. učetverostručiti, a globalna populacija porasti s današnjih 7 milijardi na preko 9,2 milijarde, što će predstavljati dodatni izazov za materijalne i energijske resurse kao i okoliš.

Povećat će se upotreba svih resursa (biomasa, fosilna goriva, metali i nemetalični minerali), posebno u zemljama u razvoju, kojima pripada i BiH. Prognozirano je povećanje potrošnje metala za 3,4 puta u odnosu na 2017. godinu (Slika 3) [1].

Ovi trendovi ukazuju na hitnu potrebu za promjenama u načinu korištenja resursa i razvoja industrije kako bi se sačuvali dostupni resursi i zaštitio okoliš od daljnjeg zagađivanja. Naime, nekontrolirano povećanje potrošnje resursa osim što dovodi do smanjenja dostupnih rezervi, ima i negativne utjecaje na okoliš kroz povećanje emisija u zrak, vodu, tlo, degradaciju i destrukciju zemljišta. Neracionalno korištenje prirodnih resursa može dovesti do smanjenja dostupnih količina obnovljivih resursa poput vode i šuma, čije zalihe, ako se iscrpe prekomjerno i nerazumno, zahtijevaju dug period za obnovu.

1. Organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj (Organization for Economic Cooperation and Development) je međunarodna organizacija koja okuplja države članice s ciljem promoviranja ekonomske saradnje, održivog razvoja i poboljšanja životnog standarda.

Veći fokus na zelene poslovne modele može osigurati da poslovanje poduzeća bude pripremljeno za buduće zakonske zahtjeve, zahtjeve kupaca, sigurnije snabdijevanje energijom, nedostupnost već sada oskudnih resursa, zabranu odlaganja otpada, zabranu korištenja opasnih i rizičnih supstanci itd.



Slika 3. Prikaz predviđenog rasta upotrebe sirovina u svijetu 2017–2060. (Gt) [1]

2. KLJUČNE POLITIKE POKRETAČI ZELENOG POSLOVANJA

Evropski zeleni plan, usvojen od Evropskog parlamenta u januaru 2020. godine, postavlja sveobuhvatne ciljeve i strategije za prilagodbu svih sektora politike unutar Evropske unije prema postizanju klimatske neutralnosti do 2050. godine. Plan sadrži pedeset konkretnih političkih mjera, s ključnom inicijativom u obliku Zakona o klimatskim promjenama. Putem tog zakona države članice EU obavezuju se da do 2050. godine postignu neto nultu emisiju CO₂.

U skladu s ovim ciljevima Evropska komisija u martu 2020. godine usvojila je Akcijski plan za cirkularnu ekonomiju. Ovaj plan predstavlja temeljnu komponentu nove evropske agende za održiv rast. Akcijski plan teži ka promoviranju inicijativa koje uzimaju u obzir čitav životni ciklus proizvoda. Glavni je cilj promovirati dizajniranje proizvoda tako da se materijali koje sadrže mogu ponovo iskoristiti ili reciklirati nakon upotrebe, čime se nastoji potaknuti uspostavljanje sistema koji podržava cirkularnost materijala i održivu potrošnju, kako bi se spriječilo stvaranje otpada i produžilo zadržavanje resursa unutar ekonomije EU tokom dužeg perioda. Akcijski plan također osigurava odgovorno korištenje snabdijevanja sirovina i sprječava rasipanje ključnih sirovina tokom životnog ciklusa proizvoda.

Inicijativa o sirovinama koja je postavila strategiju za suočavanje s pitanjem pristupa sirovinama u EU usvojena je 2008. godine. Inicijativa ima za cilj osigurati pravično i održivo snabdijevanje sirovinama s globalnog tržišta, održivo snabdijevanje sirovinama unutar EU, efikasno korištenje resursa i snabdijevanje sekundarnim sirovinama putem recikliranja [2].

Postoji niz direktiva i regulativa koje imaju značajne implikacije za industriju obrade metala. Direktiva o industrijskim emisijama (2010/75/EU) ima ključnu ulogu u smanjenju negativnih utjecaja industrijske aktivnosti na okoliš i zdravlje ljudi. Okvirna direktiva o sigurnosti i zdravlju na radu (89/391/EU) osigurava minimalne standarde za zaštitu radnika u sektorima kao što je industrija obrade metala. Direktiva o otpadu (2008/98/EU) i ograničavanju upotrebe opasnih supstanci u elektroničkim proizvodima (2011/65/EU) ističu važnost upravljanja otpadom i zaštite zdravlja i okoliša, što ima poseban značaj za metalnu industriju, koja proizvodi različite vrste otpada i rizika. Direktiva o energijskoj efikasnosti ukazuje na važnost smanjenja potrošnje energije u industriji, s ciljem smanjenja karbonskog otiska. Propisi i regulative koji se odnose na hemikalije su Uredba o registraciji, evaluaciji, autorizaciji i ograničavanju hemikalija tzv. REACH direktiva (1907/2006/EU), što zahtijeva prikupljanje podataka i registriranje hemikalija u bazu podataka i Uredba o razvrstavanju, pakiranju i označavanju hemikalija i smjesa (1272/2008/EU). Nova strategija EU za hemijsku održivost, koja je dio planova EU za postizanje nulte stope zagađenja, ima za cilj zabraniti štetne hemikalije u potrošačkim proizvodima i promovirati „zelenu“ hemiju, koja uključuje korištenje obnovljivih resursa za proizvodnju materijala i energije.

Mehanizam prilagodbe granice ugljika (Carbon Border Adjustment Mechanism – CBAM) ključni je element zakonodavnog paketa Evropskog zelenog plana, usvojen 25. aprila 2023. godine. CBAM se primjenjuje na uvoz proizvoda/robe u EU iz industrija s intenzivnom emisijom ugljika. Cilj mu je izjednačavanje troškova ugljika sadržanih u domaćim i uvezenim proizvodima naplaćivanjem naknade za emisije CO₂ nastale pri proizvodnji uvezenih proizvoda. Za poduzeća i uvoznike koji ne pripadaju EU, a što se odnosi i na Bosni i Hercegovinu, ovaj mehanizam predstavlja veliki izazov, ali i potencijal za poboljšanje njihovih proizvodnih praksi. U Bosni i Hercegovini primjena CBAM-a definirana je međunarodnim obavezama poput Pariškog sporazuma (čiji je član i Bosna i Hercegovina) i Sofijskom deklaracijom (koju je prihvatila i Bosna i Hercegovina). U ovom periodu izvještavanje je obavezujuće za poduzeća iz BiH koja izvoze na tržište EU i koja se bave proizvodnjom cementa, željeza i čelika, aluminija, đubriva, električne energije i vodika. U cilju usmjerenja privrednih subjekata prema njihovim obavezama izvještavanja, Evropska komisija usvojila je 17. augusta 2023. godine Provedbenu uredbu komisije (EU) 2023/1773, kojom se utvrđuju pravila za primjenu Uredbe (EU) 2023/956 Evropskog parlamenta, uključujući metodologiju za procjenu emisija prema CBAM-u tokom prijelaznog perioda.

Prema Vodiču za metodologiju izračuna faktora emisija i uklanjanja stakleničkih plinova [3] staklenički plinovi izračunavaju se odnosno procjenjuju pomoću podataka o aktivnosti (kao što je količina upotrijebljenog goriva) i primjenom relevantnih faktora emisija/ uklanjanja i faktora konverzije (npr. ogrjevne vrijednosti, oksidacijski faktori itd.). Ti faktori omogućavaju organizacijama i pojedincima da izračunaju emisije stakleničkih plinova iz niza aktivnosti, uključujući korištenje energije, potrošnju vode, odlaganje i recikliranje otpada te transportne aktivnosti. U sklopu izračuna karbonskog otiska emisije se klasificiraju u tri kategorije:

- Direktna emisija stakleničkih plinova: emisije iz izvora stakleničkih plinova u vlasništvu ili pod kontrolom poduzeća.
- Energijske indirektna emisije stakleničkih plinova: emisije iz proizvodnje kupljene energije koju koristi poduzeće (električna energija, toplota ili para).
- Ostale indirektna emisije stakleničkih plinova: emisije iz poslovnih putovanja zaposlenika, prijevoza proizvoda i materijala, otpada koji stvara organizacija itd.

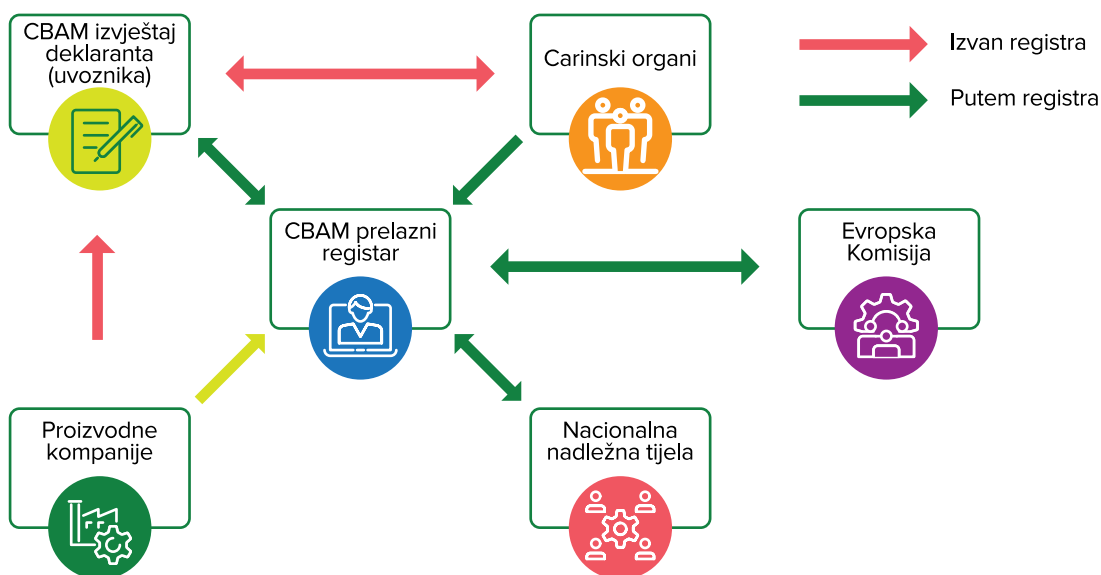
Obveznici pripreme izvještaja su uvoznik, odnosno deklarant koji carini robu, kao i izvoznik, odnosno proizvođač robe za izvoz, na slici 4 prikazan kao Proizvodna kompanija. Izvještaji se postavljaju na registar, koji je trenutno tzv. prijelazni registar jer je prema Uredbi period od oktobra 2023. godine do kraja decembra 2025. godine označen kao prijelazni. U prijelaznom periodu deklaranti su samo u obavezi da podnose CBAM-izvještaje o uvezenim CBAM-proizvodima, ali ne i da plate certifikate na ugrađene emisije na date proizvode. Također, prijelazni period osmišljen je kao pilot-period u smislu da se identificiraju svi mogući problemi i nedoumice u vezi s izvještavanjem te da se odredbe Uredbe modificiraju i prilagode do 2026. godine, kada stupa na snagu u potpunom obliku. Proizvođačka firma uključuje informacije o direktnim i indirektnim emisijama ugrađenim u svoj proizvod, a na tu vrijednost dodaje i vrijednosti direktnih i indirektnih emisija prekursora tj. ulazne sirovine koja je korištena u proizvodnji ako je to proizvod s liste.

Carinski organi zemalja članica EU imaju pristup CBAM-registru i uz carinsku deklaraciju provjeravaju je li uvoznik podnio CBAM-izvještaj kroz registar. Evropska komisija pregleda i verificira dostavljene CBAM-izvještaje te vraća na dopune deklarantima ukoliko ima potrebe ili ukoliko se ustanovi greška u proračunima. Nacionalna nadležna tijela su ministarstva iz EU koja trebaju biti imenovana za provedbu Uredbe CBAM (Slika 4).

Proizvođači iz BiH izvještaje dostavljaju svojim klijentima iz EU kojima prodaju svoje CBAM-proizvode.

Kada trajni sistem uspostave CBAM-mehanizma stupi na snagu 1. januara 2026. godine, uvoznici će svake godine morati deklarirati količinu proizvoda koja je uvezena u EU u prethodnoj godini i ugrađene emisije stakleničkih plinova u navedene proizvode (željezo i čelik, aluminij, vodik, đubriva, cement i električna energija) uz predaju odgovarajućeg broja CBAM-certifikata. Cijena certifikata će biti izračunata u zavisnosti od sedmične prosječne aukcijske cijene dozvola u okviru EU sistema za trgovanje emisijama (EU Emissions Trading System - EU ETS) izražene u €/toni emitiranog CO₂. Postepeno ukidanje besplatne dodjele u okviru EU ETS-a odvijat će se paralelno sa uvođenjem CBAM-a u periodu 2026-2034.

Proizvodi iz metalnog sektora koji su uključeni područjem primjene novih obaveza izvještavanja u okviru CBAM-mehanizma detaljno su navedeni u Prilogu I Uredbe (EU) 2023/956 Evropskog parlamenta i Vijeća o uspostavljanju mehanizma za prekogranično poravnanje emisija ugljika [4].



Slika 4: Proces podnošenja CBAM-izvještaja [4]

Ključni strateški dokument koji pokreće tranziciju cirkularne ekonomije u Bosni i Hercegovini je Zelena agenda za zapadni Balkan, zajedno s njenim Akcijskim planom, koji uključuje sedam tematskih stubova. On daje konkretne preporuke za postizanje sljedećih ciljeva:

- Uskladiti regiju s ambicijom EU da do 2050. godine od Evrope napravi ugljični neutralni kontinent,

- Otključati potencijal cirkularne ekonomije,
- Borba protiv zagađenja zraka, vode i zemljišta,
- Promovirati održive metode proizvodnje i snabdijevanja hranom i
- Iskoristiti ogroman turistički potencijal regije, fokusirajući se na zaštitu biološke raznolikosti i obnovu ekosistema.

Jedan je od ciljeva energetske politike EU i promoviranje obnovljivih oblika energije. Povećana upotreba energije iz obnovljivih izvora važan je dio paketa mjera potrebnih za smanjenje emisija stakleničkih plinova i usklađivanje s Pariškim sporazumom o klimatskim promjenama i Okvirom za klimatsku i energetska politiku u periodu 2020–2030. Direktiva o obnovljivim izvorima energije iz 2018. uključuje obavezu da se do 2030. postigne najmanje 32% snabdijevanja energijom iz obnovljivih izvora (RE).

BiH je, također, pripremila nacrt Integriranog eneretskog i klimatskog plana (National Energy and Climate Plan - NECP) u skladu sa svojim obavezama prema Energetskoj zajednici. U okviru ovog plana, zemlja sveobuhvatno integrira svoje energetske i klimatske ciljeve, politike i mjere. NECP se zasniva na pet dimenzija: dekarbonizacija (emisija stakleničkih plinova i obnovljivi izvori energije), energijska efikasnost, energetska sigurnost, unutrašnje energetska tržišta, te istraživanje, inovacije i konkurentnost. NECP se sveobuhvatno bavio biološkim ciklusom kružne ekonomije, sa posebnim fokusom na proizvodnju energije i korištenje iz industrijskog otpada (kružnost biomase za proizvodnju energije, povrat otpadne toplote).

3. METALOPRERAĐIVAČKI SEKTOR U BOSNI I HERCEGOVINI

Metaloprerađivački sektor u Bosni i Hercegovini, uz proizvodnju osnovnih metala, tradicionalno je najsnažnija i najuspješnija industrija i izvozni sektor u zemlji. U cjelini čini oko 37% ukupnog izvoza zemlje, što mu daje snažnu prednost nad vodećim kategorijama izvoza. Razvoj sektora obrade metala u Bosni i Hercegovini omogućen je prirodnim bogatstvima zemlje (kao što su ugalj, željezna ruda i boksit) i ljudskim kapitalom. Sektor je prilično velik i uključuje preradu crnih i obojenih metala, uglavnom željeza i čelika, aluminija, olova, cinka i bakra. Postoje tehnički kapaciteti za obradu lima, zavarivanje, plazma-rezanje, savijanje, mašinsku obradu, ekstruziju aluminija, odljevanje i otkivanje. Sektor konsistentno bilježi pozitivan trgovinski bilans u većini svojih podsegmenata [4]. Značajan broj poduzeća se bavi i završnom obradom metala, jedan manji broj uključuje i livenje. [6]

Prema podacima iz 2016. godine, poduzeća iz metalnog sektora čine 3,57% od ukupnog broja poduzeća u BiH, ali imaju najveći udio u broju poduzeća iz prerađivačke industrije, njih 1.149, pored poduzeća iz sektora prerade drveta (1.328) i proizvodnje hrane i pića (954) [7]. Najveći broj njih proizvodi metalne konstrukcije i dijelove konstrukcija (30%), pruža usluge mašinske obrade (24%), proizvodi metalna vrata i prozore (12%), dok ostali proizvode različite metalne proizvode (9%) [6].

Ključni izazovi u ovim sektorima uključuju potrebu za modernizacijom tehnologije, povećanjem materijalne efikasnosti, digitalizacijom proizvodnih procesa i postizanjem okolišne održivosti. To podrazumijeva uvođenje praksi za upravljanje okolišem, unapređenje sistema za upravljanje otpadom i recikliranje, te promociju ponovne upotrebe u proizvodnom procesu.

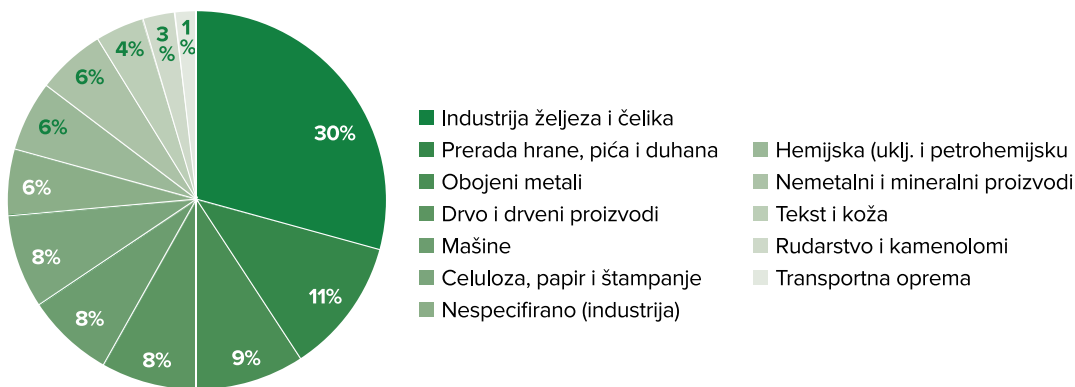
Metaloprerađivački sektor u Bosni i Hercegovini još uvijek je energijski neefikasan, jer se oslanja na niske troškove energije. Postoji rizik da se to promijeni u budućnosti, naročito pod pritiskom Evropske unije kako bi smanjila emisije CO₂, posebno kada Bosna i Hercegovina postane dio sistema trgovanja energijom ili bude podložna mehanizmu prilagodbe granice ugljika (CBAM) [8].

4. ODRŽIVO UPRAVLJANJE ENERGIJOM

4.1 POTROŠNJA ENERGIJE U INDUSTRIJI OBRADJE METALA

Obrada metala predstavlja postupak kojim se metalu mijenjaju dimenzije, oblik ili neka svojstva kako bi se kasnije mogao upotrebljavati za daljnje postupke. Metal kao takav može se obrađivati ručno ili mašinski, mehaničkom, toplotnom i/ili hemijskom obradom. U kontekstu potrošnje energije uglavnom se koristi električna energija za pogon mašina i unutrašnji transport materijala, te rasvjetu pogona. Toplotna energija koristi se u slučaju toplotne obrade metala, gdje se pod utjecajem toplote na metal mijenjaju svojstva metala radi povećanja čvrstoće, žilavosti i kako bi se omogućilo preoblikovanje. Toplotnu energiju obično osiguravaju peći s pogonom na plin ili električnu energiju. Naprimjer, proces ekstruzije aluminija energijski je intenzivan. Električna energija koristi se za predgrijavanje gredica i kalupa u peći za predgrijavanje i za napajanje hidrauličke prese za ekstruziju, grijača kontejnera za izradu aluminijskih ekstruzija, sječiva za rezanje krajeva i pomoćne opreme. Za peći za predgrijavanje umjesto električne energije koristi se i plin. Primarna energija predgrijavanja i ekstruzije gredice veća je nego za pretapanje aluminija u reciklaži [9].

U finalnoj potrošnji električne energije u BiH u 2021. godini industrija željeza i čelika učestvovala je sa 30%, a industrija obojenih metala 9% (Slika 5) [10].



Slika 5. Struktura potrošača električne energije u industrijskom sektoru u BiH (2021) [10]

Prekomjerna potrošnja energije može značajno povećati operativne troškove, stoga je nužno kontinuirano nadzirati i analizirati potrošnju energije s ciljem primjene mjera energijske efikasnosti.

4.2 TEHNIKE ZA KONTROLU POTROŠNJE U VRŠNOM OPTEREĆENJU I REAKTIVNE ENERGIJE

Elektroenergetski je sistem složen dinamički sistem, čiji je zadatak da sigurno, pouzdano i ekonomično snabdijeva potrošače dovoljnim količinama kvalitetne električne energije. Ovo u suštini znači da u svakom trenutku elektroenergetski sistem treba osigurati napajanje potrošača bez obzira na to koliko ih je uključeno. Da bi se ekonomičnije eksploatirao elektroenergetski sistem, industrijskim potrošačima pored preuzete aktivne energije naplaćuje se i vršna (obračunska) snaga, te prekomjerno preuzeta reaktivna električna energija. Dnevni dijagram opterećenja zavisi od tehnologije rada. Odnos prosječne i maksimalne angažirane snage može biti tako nepovoljan da u obračunu za utrošenu električnu energiju iznos za angažiranu snagu premašuje iznos za utrošenu aktivnu energiju. Preuzimanjem reaktivne energije iz distributivne mreže nepotrebno se opterećuju transformator, kablovi, sklopni elementi i ostala oprema, zbog čega se ona i dodatno naplaćuje. Za potrošače kod kojih je faktor snage $\cos \varphi < 0,71$ troškovi za reaktivnu električnu energiju iznose oko 16% ukupnih troškova.

4.2.1 Instalacija sistema za kompenzaciju reaktivne energije

Kada je riječ o reaktivnoj energiji, nju je moguće eliminirati instalacijom sistema za kompenzaciju, budući da se na taj način reaktivna snaga potrebna za napajanje potrošača generira u blizini potrošača. Kompenzacije mogu biti pojedinačne, grupne, mješovite i centralne u zavisnosti da li služe za kompenzaciju reaktivne energije na jednom elektromotoru ili na grupi potrošača. Česta je praksa da se izvodi centralna, odnosno grupna kompenzacija za čitavu kompaniju na jednom mjestu.

Kao mjera prisustva reaktivne energije u sistemu koristi se faktor snage. Faktor snage predstavlja odnos aktivne i prividne snage nekog potrošača. Maksimalna vrijednost faktora snage iznosi 1, što znači da je prividna snaga jednaka aktivnoj, odnosno da potrošač ne zahtijeva reaktivnu energiju. Korekcija (povećanje) faktora snage u poduzeću se može ostvariti na sljedeće načine:

- upotrebom energijski efikasnih motora,
- smanjivanjem neefikasnih opterećenja,
- osiguranjem (nabavljanjem i instaliranjem) eksternih (vanjskih) kondenzatora na mašinama/motorima ili na razvodnoj opremi,
- upotrebom sinhronih umjesto indukcijskih motora [11].

Kompenzacijom reaktivne energije smanjuje se prividna snaga, a time i struja u priključnim vodovima potrošača, što rezultira:

- rasterećenjem transformatora, generatora i vodova od prijenosa reaktivne energije i
- smanjenjem troškova za prekomjernu preuzetu reaktivnu energiju.

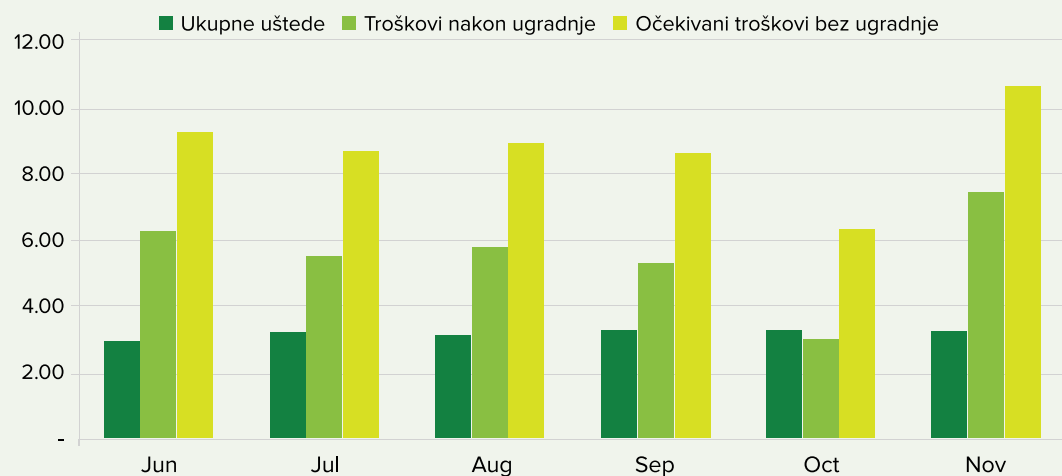
Na osnovi iskustvenih podataka instaliranjem sistema za kompenzaciju moguće je uštedjeti do 4% godišnjih troškova električne energije s najčešćim periodom povrata investicije do 1 godinu.

Primjer dobre prakse: Korekcija faktora snage [12]

Kompanija koja je specijalizirana za proizvodnju čeličnih boca za LPG ističe se velikom potrošnjom električne energije. Glavni potrošači uključuju aparate za zavarivanje, električne prese te peć za žarenje. Nadalje, značajni potrošači električne energije uključuju elektromotore na ostalim mašinama, rasvjetu i klimatizacijski sistem. S obzirom na rastuće mjesečne troškove električne energije, kao i konstantno povećanje cijena, kompanija je odlučila primijeniti mjeru korekcije faktora snage kako bi smanjila troškove reaktivne energije unutar ukupnih troškova za električnu energiju. Prema ugovoru sa isporučiteljem energije, kompanija plaća posebnu naknadu kada je faktor snage manji od 0,9.

U skladu s tim, instalirana je kondenzatorska baterija snage 200 kVA. Nakon instalacije, faktor snage poboljšao je sa 0,68 na 0,82. Unatoč proširenju kapaciteta proizvodnje ove kompanije, nakon instalacije kondenzatora, vršna potrošnja električne energije smanjena je sa 240 kVA na 160 kVA. Ova mjera je rezultirala uštedama u ukupnim prosječnim mjesečnim troškovima za električnu energiju za 36% uzimajući u obzir i povećanje kapaciteta proizvodnje nakon instaliranja kondenzatora.

Iako primjenjiv na sve vrste industrija koje koriste nekoliko induksijskih motora u svom radu, ovaj primjer posebno može koristiti malim i srednjim poduzećima koja se bave preradom metala i aluminija.



Slika 6. Razlika u troškovima za energiju nakon instalacije kondenzatora za period od 6 mjeseci

4.2.2 Instalacija frekventnih regulatora

Značajan potrošač energije u industriji su elektromotori. Energija se može uštedjeti ako brzina obrtanja motora odgovara zahtjevima pri bilo kojem momentu opterećenja. Frekventni regulatori su elektronski uređaji koji omogućavaju upravljanje brzinom trofaznih motora modulirajući mrežni napon, frekvenciju i struju koji su fiksirane vrijednosti u promjenljive veličine. Frekventni regulatori ne zahtijevaju održavanje. Kada se koriste za upravljanje motorima, radni vijek pogona se povećava.

Ako kompanija zabilježi u ukupnim troškovima električne energije udio troškova vršnog

opterećenja (obračunate snage, kW) od preko 10%, potrebno je razmotriti opciju instalacije frekventnih regulatora.

Na bazi istraživanja i obavljenih energijskih audita [12], [13] u 26 kompanija ustanovljeno je da je cijena obračunate snage i do 80 puta skuplja od obračunate električne energije u kWh. U zavisnosti od veličine i intenziteta rada motora ugradnjom regulatora moguće je eliminirati do 50% obračunate snage i time ostvariti uštede u troškovima električne energije.

Okvirna cijena frekventnih regulatora za 2022. godinu u BiH u zavisnosti od snage motora data je u tabeli u nastavku.

Tabela 1. Cijene frekventnih regulatora u zavisnosti od snage [14]

Snaga motora (kW)	Cijena (KM)	Snaga motora (kW)	Cijena (KM)
0,75	1.083,53	22	4.248,07
1,5	1.218,49	30	5.038,22
2,2	1.392,56	37	6.025,92
3	1.568,58	45	7.172,03
4	1.871,73	55	8.484,40
5,5	2.135,77	75	10.072,53
7,5	2.507,38	90	12.088,99
11	2.808,58	110	14.320,59
15	3.348,39	130	16.675,41
18,5	3.839,30	150	19.217,99

Primjer dobre prakse: Primjena frekventne regulacije i zamjena motora [16]

Kompanija koja mjesečno proizvodi oko 394.800 m cijevi od nehrđajućeg čelika za različite industrije kao što su automobilska, prehrambena, farmaceutska i petrohemijska, postavila je frekventne regulatore radi smanjenja troškova električne energije kroz optimizaciju vršnog opterećenja.

Proizvodni proces kompanije obuhvata izvlačenje cijevi od nehrđajućeg čelika kroz kalupe radi smanjenja njihovog prečnika i/ili debljine stijenke. Ključna mašina u ovom procesu, koja vrši otprilike 1.200 izvlačenja dnevno, koristi motor od 150 KS pokretan 24 sata dnevno na 1.800 o/min. te je bila jedan od glavnih potrošača električne energije.

S ciljem optimizacije zamijenjeni su magnetni pokretač i spojka na mašini za izvlačenje frekventnim regulatorom i linijskom prigušnicom. Također je postojeći motor od 150 KS, 1.800 o/min. zamijenjen visokoefikasnim motorom od 200 KS, 1.200 o/min.

Ovim poboljšanjima mašina za izvlačenje cijevi efikasnije troši energiju unatoč povećanju snage motora. Ukupna godišnja potrošnja energije mašine za izvlačenje smanjena je sa 439.065 kWh na 290.218 kWh, donoseći 34% smanjenja ukupnih troškova električne energije. Dodatno, procijenjena ušteda od 2.762 radnih sati godišnje obuhvata vrijeme ne samo rada mašine za izvlačenje već i drugih operacija poput odmašćivanja, rezanja, savijanja i žarenja. Posmatrajući ukupno ostvarene uštede (uštede u energiji, vremenu rada i drugim direktnim uštedama) u iznosu od 70.300 eura, uz investiciju od 31.000 eura period povrata investicije iznosio je približno pola godine.

4.2.3 Plansko uključivanje visokih potrošača električne energije

Planiranjem upravljanja proizvodnim procesom moguće je optimizirati troškove vršnog opterećenja. To uključuje detaljnu analizu rasporeda aktivnosti visokih potrošača električne energije kako bi se identificirali periodi visoke potrošnje. Na temelju ove analize, određuju se specifični vremenski intervali kada su ti visoki potrošači električne energije aktivni, s ciljem izbjegavanja njihovog istovremenog uključivanja. Ovaj pristup omogućuje bolje upravljanje raspodjelom opterećenja tokom dana, što može rezultirati smanjenjem potrebe za vršnim opterećenjem i smanjenjem ukupnih troškova električne energije. Osim toga, takvo planiranje može doprinijeti stabilnijem radu električne mreže i smanjenju rizika od preopterećenja ili prekida u opskrbi energijom. Planiranje upravljanja proizvodnim procesom se obično primjenjuje na industrijske procese, mašine, uređaje i druge sisteme koji zahtijevaju značajne količine električne energije. Ovaj pristup omogućuje kompaniji da bolje upravlja svojom potrošnjom električne energije, optimizira troškove i poveća svoju održivost.

Primjer dobre prakse: Reorganizacija proizvodnog procesa u cilju uštede energije [16]

Kompanija specijalizirana za razvoj i proizvodnju šasija i karoserija u automobilske industriji implementirala je mjere za uštedu energije na dvije hidrauličke prese zbog značajne potrošnje energije koje su zabilježene kod njih. Prva hidraulična presa s maksimalnom silom probijanja od 3.500 tona operativna je od 16 do 24 sata dnevno, pet do šest dana u sedmici. Primjenom automatskog isključivanja glavnih hidrauličnih pumpi u toku svakog produženog zastoja (uključujući zaustavljanja, prekide, popravke itd.) postignuta je ušteda energije od 15% u ukupnoj potrošnji energije.

Druga hidraulična presa, koja radi 24 sata dnevno pet do šest dana u sedmici s ručnim upravljanjem (uključivanjem/isključivanjem od strane operatera), također je postigla slične energijske uštede kao i prva presa, što čini oko 15% ukupne potrošnje energije. Ovim strategijama isključivanja energijski zahtjevnih potrošača u toku neaktivnih razdoblja poput pauza, prekida ili vremena za održavanje ostvarene su godišnje uštede u rasponu od 90.000 do 140.000 eura.

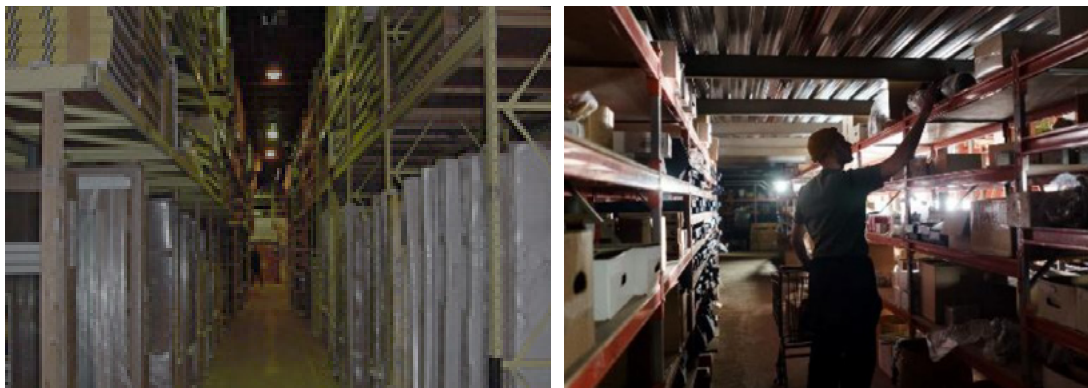
4.3 ENERGIJSKI EFIKASNIJA RASVJETA

Obrada metala uključuje složene i precizne zadatke poput sječenja, savijanja, tokarenja, zavarivanja i brušenja, što zahtijeva dobru osvijetljenost radi osiguranja optimalne vidljivosti prilikom rada. Rasvjeta predstavlja značajan trošak energije u industrijskim malim i srednjim poduzećima, posebno u objektima koji koriste zastarjelu ili loše konfiguriranu tehnologiju rasvjete.

Osim što zahtijeva znatnu količinu električne energije za osvijetljavanje radnih prostora, stari sistemi rasvjete često imaju nisku energijsku efikasnost, što dodatno povećava troškove. Ti stari sistemi često uključuju neefikasne sijalice ili svjetiljke, kao i loše postavljeno ili nepravilno konfigurirano osvijetljenje koje može rezultirati neujednačenim osvijetljenjem ili nepotrebnim gubicima energije. Neprilagođenost osvijetljenja potrebama radnog prostora je jedan od najčešćih problema koji se javljaju u metaloprerađivačkoj industriji te utječe na

smanjenje efikasnosti proizvodnje i radnih uvjeta (Slika 7).

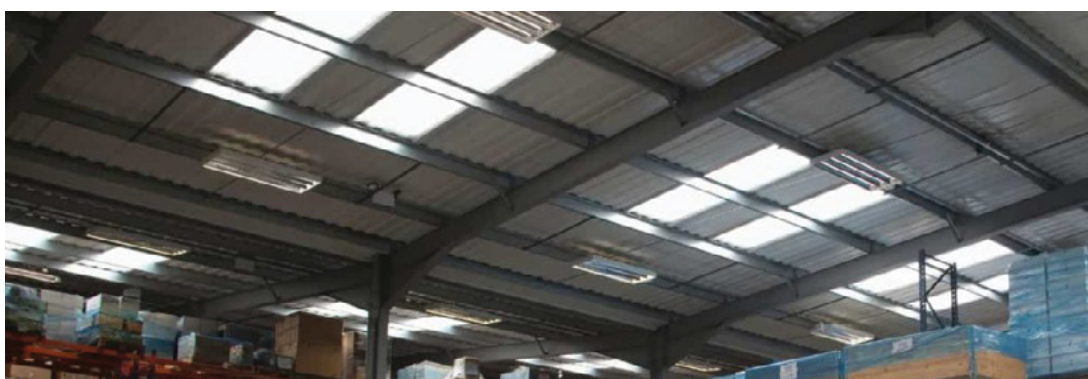
Poboljšanjem sistema rasvjete poduzeće može ostvariti značajne uštede energije. Pored smanjenja potrošnje energije poboljšani sistemi rasvjete uključuju bolju sigurnost radnika i kvalitet proizvoda.



Slika 7. Neprilagođenost rasvjete potrebama skladišnog prostora [17]

Neke mjere za poboljšanje energijske efikasnosti su:

- Optimizacija rasvjete prema zadacima koji se obavljaju na različitim područjima objekta, naprimjer više svjetla na područjima ključnim za proizvodnju, kontrolu kvaliteta, sigurnost i udobnost radnika.
- Postavka sistema upravljanja rasvjetom, senzora za detekciju prisutnosti, koji će omogućiti upotrebu rasvjete isključivo u situacijama odvijanja aktivnosti u prostoru. Sistemi upravljanja rasvjetom mogu ostvariti uštedu energije od 80% u poređenju s konvencionalnim sistemima rasvjete.
- Zamjena postojećih rasvjetnih tijela energijski efikasnijim, npr. LED-svjetlima. Kako bismo bili sigurni da su LED-sijalice s dobrim kvalitetom boje i energijskom efikasnošću, a koje su jednako dobre ili bolje od fluorescentnih sijalica, na proizvodu treba potražiti simbol ENERGY STAR.
- Ostaviti otvore na krovu i boku hale koji propuštaju prirodno dnevno svjetlo kako bi umanjili potrebu za potpunim vještačkim osvjetljenjem prostora (Slika 8).



Slika 8. Hala s prirodnim i vještačkim osvjetljenjem [19]

- Optimizacija visine postavljanja rasvjetnog tijela – kod obrade metala potrebno je osigurati optimalnu rasvjetu na komadu koji je predmet obrade, a rasvjeta radnog prostora može biti i smanjena, odnosno treba osiguravati dovoljno svjetlosti za kretanje i manipulaciju. U takvim slučajevima rasvjeta se postavlja neposredno iznad radnog mjesta, na posebnim nosačima podesive visine (Slika 9).
- Polufinalni proizvodi podvrgavaju se različitim postupcima finalne obrade, često stvarajući značajne količine prašine i otpada, što smanjuje vidljivost u neposrednom radnom okruženju. Iz tog razloga neophodno je instalirati sisteme rasvjete u proizvodnim objektima s visokim stepenom zaštite od prašine.
- Redovno čistiti svjetiljke, kao i prozore, zidove i stropove kako intenzitet svjetlosti ne bi opao.



Slika 9. Rasvjeta postavljena neposredno iznad radnog mjesta [20]

Primjer dobre prakse: Zamjena postojeće rasvjete energijski efikasnijom [21]

Energijski audit proveden u livnici čelika ukazao je na to da je rasvjeta odgovorna za jednu trećinu ukupne potrošnje energije livnice. Korišteni sistemi rasvjete sastojali su se od metalhalogenih i natrijevih (HPS) sijalica visokog pritiska i T-12 fluorescentne cijevi za niske instalacije i poslovne zgrade.

Zamjenom svih rasvjetnih tijela (kompletna rekonstrukcija) efikasnijim T5HO i T8 cijevima za niske instalacije i uredske prostore i korištenjem inteligentnog sistema upravljanja industrijskom rasvjetom s ciljem prilagođavanja nivoa osvjetljenja u odnosu na zauzetost tvorničkih područja kompanija je uštedjela 300.000 kWh energije, odnosno oko 9% godišnje potrošnje energije. Smanjenje potrošnje električne energije kompaniji je uštedjelo 200.000 KM godišnje. Trošak investicije iznosio je 0,8 miliona eura.

4.3.1 Korištenje LED-rasvjete

LED (engl.: *Light Emitting Diodes*) je trenutno znatno efikasnija i dugotrajnija od bilo koje druge vrste izvora svjetlosti. LED je poluvodički čip ugrađen u plastičnu kapsulu. LED-rasvjeta se veoma razlikuje od drugih vrsta rasvjete kao što su sijalice sa žarnom niti i kompaktne fluorescentne sijalice CFL (engl.: *Compact fluorescent lamp*). Ključne razlike uključuju:

- Izvor svjetlosti: LED-diode su veličine komadića bibera i mogu emitirati svjetlost u nizu boja. Kombinacija crvene, zelene i plave LED-diode ponekad se koristi za stvaranje bijele svjetlosti.
- Smjer: LED-diode emitiraju svjetlost u određenom smjeru, smanjujući potrebu za reflektorima i difuzorima koji mogu uhvatiti svjetlost. Ova karakteristika čini LED-diode efikasnijim za mnoge namjene, kao što su ugradbena downlights i radna rasvjeta. Kod drugih vrsta rasvjete svjetlost se mora reflektirati u željenom smjeru i više od polovine svjetla nikada neće napustiti uređaj.
- Toplota: LED-diode emitiraju vrlo malo toplote. Poređenja radi, sijalice sa žarnom niti oslobađaju 90% svoje energije u obliku toplote, a CFL-i oslobađaju oko 80% svoje energije u obliku toplote.
- Životni vijek: LED-rasvjetni proizvodi obično traju mnogo duže od drugih vrsta rasvjete. Kvalitetna LED-sijalica može trajati 3 do 5 puta duže od CFL i 30 puta duže od sijalice sa žarnom niti [21].

Primjer dobre prakse: Zamjena postojeće rasvjete efikasnijim LED-sijalicama [17]

Kompanija koja se bavi proizvodnjom metalnih dijelova za medicinsku opremu osvijetljavala je svoj objekt površine 3.380 m² s preko 100 metalhalogenih sijalica, svaka snage 400 W. Mjerenja su otkrila da su te sijalice, iako navodno snage 400 W, zapravo radile na 440 W, čineći povećanje od 10% ukupne potrošnje energije. Nadalje, zbog njihove niske efikasnosti postojeće sijalice imale su radni vijek od maksimalno dvije godine uz prosječan broj radnih sati od 15.000.

U cilju unapređenja efikasnosti osvijetljenja metalhalogene sijalice zamijenjene su LED-sijalicama snage 150 W. Instalirane visokoefikasne LED-sijalice zapravo su imale potrošnju energije 5–10% nižu od očekivanih 150 W, predstavljajući dodatni bonus za uštedu ukupne električne energije pri održavanju konsistentnog nivoa osvijetljenja. Ovim promjenama postignuto je smanjenje potrošnje električne energije za više od 68%.

4.3.2 Primjena sistema za kontrolu i regulaciju osvijetljenja

Upotrebom sistema za kontrolu rasvjete može se uštedjeti od 10% do 20% ukupne energije utrošene za rasvjetu [24]. Sistemi za automatsku regulaciju osvijetljenja, uključivanje i intenzitet umjetne rasvjete podešavaju se na osnovi vremenski zadanog okvira (vremenski upravljani sistemi), na osnovi dostupnosti dnevnog osvijetljenja (fotosenzori) ili na osnovi prisutnosti zaposlenika u prostoru (senzori pokreta).

Funkcija uređaja za vremensko upravljanje je upravljanje rasvjetom uz poznati raspored ili događaj, tj. gašenje svjetla kada ono nije potrebno.

Fotosenzori koriste elektroničke komponente koje transformiraju vidljivu radijaciju (svjetlo) u električni signal, koji se tada koristi za upravljanje rasvjetnim tijelom. Upravljački signal može aktivirati dva načina operacija: u prvom izlaz fotosenzora aktivira jednostavnu sklopku „uključeno-isključeno“ ili relej, a u drugom se varijabilni izlazni signal uspostavlja i šalje kontroleru, koji kontinuirano podešava izlaz električne rasvjete.

Senzori pokreta pružaju lokalno upravljanje rasvjetnim tijelima „uključeno-isključeno“ u odnosu na prisutnost zaposlenika u prostoru. Prisustvo se detektira zvučnim, ultrazvučnim, pasivnim infracrvenim ili optičkim sredstvima. Kada senzor otkrije prisutnost zaposlenika, automatski upravlja rasvjetom, omogućavajući uključivanje svjetala čim zaposlenik uđe u prostoriju. Senzori održavaju svjetla uključenima sve dok se zaposlenik zadržava u prostoru, pružajući optimalno osvjetljenje za radne aktivnosti. Svjetla se automatski gase nakon što senzor detektira odlazak zaposlenika, čime se sprječava nepotrebno osvjetljenje neiskorištenih prostorija. Ovaj dinamički pristup upravljanju rasvjetom omogućuje znatne uštede energije. Prema istraživanjima, primjena senzora pokreta može rezultirati smanjenjem troškova energije za rasvjetu i do 80%.

4.4 ENERGIJSKI EFIKASNIJI SISTEMI S KOMPRESIRANIM ZRAKOM

U mnogim proizvodnim pogonima sistemi komprimiranog zraka najmanje su energijski efikasni u odnosu na ostalu opremu, stoga postoji ogroman potencijal za primjenu mjera energijske efikasnosti komprimiranog zraka.

Najveći udio u ukupnim troškovima za rad pogona komprimiranog zraka čine troškovi energije i to 70–80%. Razlog tome su izuzetno veliki energijski gubici u sistemu komprimiranog zraka – npr. od ukupno uložene energije za pogon kompresora svega 10–30% zaista bude predato potrošaču, a ostatak predstavlja gubitke. S obzirom na to da su troškovi proizvodnje i upotrebe komprimiranog zraka veoma visoki, potrebno je da njegov cjelokupan sistem bude uvijek u optimalnom stanju [23], [24].

Osnovne komponente sistema komprimiranog zraka su: filter, sušać komprimiranog zraka, separator i sistem distribucije. Prisutnost filtera, separatora i sušaća zraka ukazuju na to da su glavni problemi, osim komprimiranja zraka, vezani za uklanjanje čestica, ulja i vlage. Sistemi distribucije zraka više ili manje uvijek su projektirani tako da slijede položaj krajnjih korisnika.

Pored toga, motori za pogon kompresora igraju značajnu ulogu u cjelokupnom sistemu. Naprimjer [25]:

- Ugradnjom frekventnih regulatora za pogon vijčanog kompresora moguće je ostvariti godišnju uštedu energije od 15%.
- Ugradnjom visokoefikasnih motora u kompresorske sisteme smanjuje se godišnja

potrošnja energije za 2%, pri čemu razdoblje povrata investicije traje kraće od 3 godine.

Tabela 2 prikazuje najčešće probleme koji se mogu javiti pri radu kompresora, kao i moguća rješenja.

Tabela 2. Najčešći problemi koji povećavaju potrošnju energije u kompresorskim stanicama proizvodnih pogona [26]

Nedostatak	Opis	Moguće rješenje
Sistem bez regulacije	Kompresori rade bez regulacije pritiska i protoka komprimiranog zraka.	Instalacija mjerača pritiska i ventila za regulaciju protoka komprimiranog zraka
Oštećenost cijevne mreže	Oštećenje cijevne mreže dovodi do pojave curenja komprimiranog zraka.	Pravilna sanacija cijevne mreže
Korištenje komprimiranog zraka za potrebe čišćenja	Korištenje komprimiranog zraka za čišćenje odjeće, radnih površina, gotovih proizvoda	Korištenje električnih puhaljki
Sistem bez spremnika komprimiranog zraka	Sistem radi bez skladištenja komprimiranog zraka.	Ugradnja spremnika komprimiranog zraka
Neiskorištavanje otpadne toplote	Gubici energije	Rekuperacija otpadne toplote kompresora
Korištenje neefikasnih kompresora	Veća potrošnja električne energije usljed korištenja klipnih kompresora	Zamjena vijčanim kompresorom

Procjena stanja sistema komprimiranog zraka prvi je korak u poboljšanju energijske efikasnosti. Potrebno je imati sistemski pristup, to jest ispitati stanje pojedinačnih komponenti i način njihove interakcije. Kada se procjenjuje korištenje energije, sistemi se moraju analizirati kao cjelina, a ne kao suma sastavnih dijelova.

Kompanija Kaser, koja proizvodi kompresorske sisteme, nudi web alat za proračun ušteda u energiji primjenom različitih mjera koje poboljšavaju energijsku efikasnost kompresora. Alat je dostupan na adresi:

<https://hr.kaeser.com/servis/znanje/kalkulator/>

4.4.1 Regulacija sistema komprimiranog zraka

Regulacija je najbolji način za upravljanje sistemom komprimiranog zraka. Moderni regulacijski sistemi mogu uštedjeti 5–20% ukupnih troškova proizvodnje komprimiranog zraka uz relativno male kapitalne troškove.

S obzirom na to da su pogonski uvjeti ponekad vrlo promjenljivi (više nego što je pretpostavljeno tokom projektiranja procesa), važno je provjeriti da li postojeći regulacijski sistem pravilno obavlja svoj zadatak. Izlaz kompresora treba biti reguliran kako bi bio usklađen s potrošnjom. To se može izvesti na dva načina:

- Mjerenjem pritiska kod potrošača tako da je kompresor u punom pogonu dok pritisak u prijemniku ne dosegne definiranu granicu, nakon čega se kompresor gasi ili „rasterećuje“ – ovo je najčešća metoda.
- Prilagođavanje protoka zraka na ulazu kompresora korištenjem regulatora protoka zraka. Ova ugradnja često rezultira time da kompresor prelazi u stanje rasterećenja pri oko 20–60% od punog opterećenja, ovisno o vrsti kompresora.

Pritisak na kojem rade pneumatske komponente često je niži od pritiska koji generira kompresor. Osim toga, pritisak može varirati zbog načina rada kompresora i različitih opterećenja potrošača. Zato je važno imati regulator pritiska koji osigurava stabilan željeni (podešeni) radni pritisak nezavisno od promjena pritiska u mreži. Regulatori pritiska štite opremu od previsokog pritiska koji bi mogao uzrokovati oštećenje opreme te se na taj način produžava životni vijek sistema i radne opreme. Pravilno podešeni regulatori pritiska mogu smanjiti potrošnju energije kompresora a samim tim i troškove rada sistema. Cilj svakog snižavanja radnog pritiska u sistemu komprimiranog zraka je reduciranje gubitaka nastalih curenjem zraka, manji utrošak električne energije, više komprimiranog zraka (veći pritisak – veći gubici – veći utrošak energije = manja efikasnost). U suštini, regulatori pritiska su ključni elementi koji osiguravaju pouzdan rad sistema za komprimiranje zraka, čime doprinose povećanju efikasnosti, sigurnosti i optimalnom funkcioniranju pneumatskih sistema i uređaja. Naprimjer, kada se u kompanijama koriste pneumatski alati bez regulatora pritiska, alati će koristiti puni pritisak dostupan u mreži, što može biti znatno viši pritisak od potrebnog (npr. 8 bara umjesto 5,5 bara). Bitno je napomenuti da svaki dodatni bar pritiska povećava troškove energije prosječno za 7%. Pored toga, ovako povećan pritisak povećava i trošenje opreme, što dovodi do većih troškova održavanja i skraćanja životnog vijeka opreme [27].

Današnja tehnologija također uvijek uključuje frekventni regulator za upravljanje opterećenjem, prilagođavajući brzinu kompresora trenutnim potrebama procesa koji koristi komprimirani zrak. S energetske gledišta ovaj je sistem regulacije najbolji. Primjena pogona s promjenjivom brzinom naročito se preporučuje za kompanije koje rade u tri smjene i bez prekida rada za vikend, a pri tome imaju znatne fluktuacije u potrebi za komprimiranim zrakom.

Primjer dobre prakse: Regulacija sistema komprimiranog zraka [28]

U postojećem stanju aluminijske industrije korišten je jedan glavni kompresor zraka snage 55 kW uz dodatni pomoćni kompresor zraka snage 40 kW. Glavni kompresor gotovo je uvijek radio pri punom opterećenju, dok se pomoćni kompresor povremeno koristio tokom dana. Ukupno opterećenje iznosilo je prosječno 71 kW.

Kako bi unaprijedila energijsku efikasnost, industrija je provela projekt zamjene postojećeg sistema jednim frekventno reguliranim kompresorom snage 80 kW. Istovremeno je zadržan kompresor snage 55 kW kao rezervni sistem ili za neplanirane situacije. Ukupni kapitalni troškovi za ovu promjenu iznosili su 35.000 eura.

Rezultat ovog projekta donio je značajnu uštedu energije od 30%, što se odrazilo kao finansijska ušteda od 15.030 eura godišnje. Projekt se pokazao izuzetno isplativim s periodom povrata ulaganja od 2,5 godine i unutrašnjom stopom povrata od 43%.

4.4.2 Popravka cijevne mreže sistema komprimiranog zraka

Najčešća preporuka u sistemima komprimiranog zraka je da se redovno provjeravaju cijevi za zrak radi otkrivanja i popravke pukotina.

U standardnim postrojenjima koja se redovno održavaju curenja su u rasponu od 2 do 10% od ukupnog kapaciteta, ali mogu porasti i do 40% u postrojenjima koja se ne održavaju na odgovarajući način. Smatra se da se može tolerirati ako je curenje manje od 10% ukupne proizvodnje, međutim kontrola curenja zraka treba biti dio programa preventivnog održavanja [27]. Slika 10 prikazuje mjesto oštećenja i pojave curenja u cijevnoj mreži, te nepravilnu popravku oštećenja.



Slika 10. Oštećenost distributivne mreže komprimiranog zraka (pojava curenja)

Osnovni faktori koje je potrebno uzeti u obzir prilikom procjene ukupnih troškova curenja zraka pod pritiskom u sistemu komprimiranog zraka su: veličina curenja, radni pritisak u sistemu, vrijeme trajanja curenja, cijena energije, redovnost održavanja i efikasnost sistema. Uvođenjem mjera za rano otkrivanje i popravak curenja moguće je u velikoj mjeri smanjiti ove troškove i poboljšati energijsku efikasnost sistema komprimiranog zraka.

U Tabeli 3 prikazani su troškovi curenja zraka pod pritiskom u zavisnosti od veličine curenja, pri čemu je pri proračunu korišteno da je u sistemu pritisak od 6 bara, cijena električne energije 0,2 EUR/kWh (na osnovi prosječnih troškova industrijske električne energije u EU) i da sistem radi 8.000 h godišnje, a da je cijena pripreme zraka pod pritiskom 0,02 EUR/m³ [26].

Tabela 3. Troškovi curenja zraka pod pritiskom [26]

Prečnik rupe	Gubitak zraka pri pritisku od 6 bara		Gubitak energije	Troškovi proizvodnje na godišnjem nivou	Troškovi proizvodnje, pripreme i distribucije na godišnjem nivou
mm	l/min	m ³ /h	kW	EUR	EUR
1	80	4,8	0,4	320	768
3	670	40	4	3.200	6.432
5	1.857	111	10	8.000	17.827
10	7.850	471	43	34.400	75.360

Osim povećane potrošnje energije, curenja mogu učiniti pneumatske alate manje efikasnim i nepovoljno utjecati na proizvodnju, skratiti vijek trajanja opreme, dovesti do dodatnih potreba za održavanjem i povećanih neplaniranih zastoja. Ako postoji curenje, kompresor se mora češće uključivati i raditi duže kako bi kompenzirao izgubljeni zrak a to dovodi do povećane potrošnje električne energije. Kompresor koji ima veći broj uključivanja ili konstantno radi kako bi nadoknadio izgubljeni zrak može imati povećano trošenje dijelova, što zahtijeva češće održavanje i zamjenu komponenti a to na kraju rezultira povećanim troškovima održavanja.

Najčešća mjesta curenja su spojnice, crijeva, cijevi, fitinzi, rezervoari i spremnici, sistemi za odzračivanje, regulatori pritiska, otvoreni odvodnici kondenzata i zaporni ventili, spojevi cijevi, rastavljači i brtvila za navoje.

Poduzeća bi trebala kontinuirano provoditi programe otkrivanja curenja i popravaka. Jednostavan način otkrivanja velikih curenja je nanošenje vode sa sapunicom na sumnjiva područja ili korištenje vrećice za praćenje brzine zraka koji ispunjava vrećicu, iako to može oduzimati mnogo vremena. Najbolji način za otkrivanje curenja je korištenje ultrazvučnog akustičnog detektora, koji može prepoznati visokofrekventne zvukove siktanja povezane s curenjem zraka. Nakon identifikacije curenja treba pratiti, popraviti i verificirati. Popravkom curenja i održavanjem curenja se mogu smanjiti na manje od 10%, što može rezultirati smanjenjem godišnje potrošnje energije sistema komprimiranog zraka od 20% [25].

Primjer dobre prakse: Kontrola i sanacija curenja [25]

U cilju unapređenja energijske efikasnosti sistema komprimiranog zraka tvornica za proizvodnju automobila uvela je praksu redovne kontrole mreže za distribuciju komprimiranog zraka. Program je uključivao podršku uprave, kao i linijskih radnika i kvalificiranih obrtnika. Detekcija je obavljena ultrazvučnim akustičnim detektorom (Slika 11).

Nakon detekcije i sanacije pukotina na distributivnoj mreži zabilježene su uštede od 77.100 eura godišnje. Period povrata investicije bio je kraći od mjesec dana.



Slika 11. Detekcija gubitaka ultrazvučnim detektorom

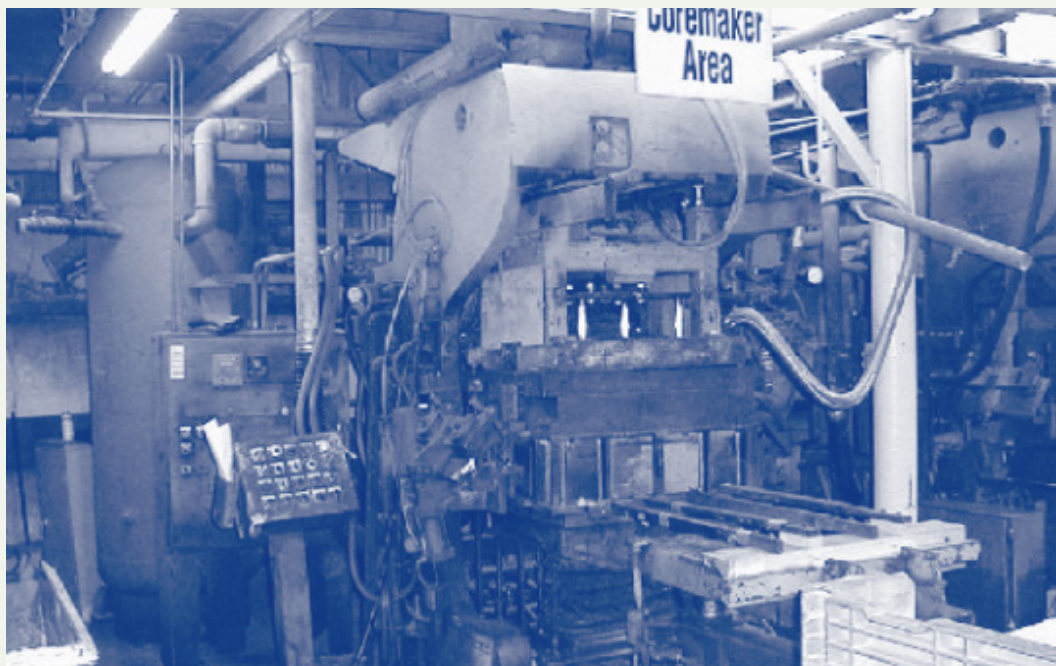
Primjer dobre prakse: Kontrola i sanacija curenja [25]

Proizvođač aluminijskih komponenti proizvodi širok spektar preciznih aluminijskih komponenti za odbrambenu, svemirsku/avionsku i automobilsku industriju. U cilju unapređenja energijske efikasnosti sistema komprimiranog zraka u postrojenju je proveden projekt evaluacije sistema komprimiranog zraka.

Glavni problem identificiran evaluacijom bila je veličina i konfiguracija ispusnog cjevovoda kompresora. Ova ispusna cijev bila je premala za količinu zraka koja se slala kroz nju. Ispusni cjevovod također je bio spojen na prijelazni komad od 90°. Ova konfiguracija cjevovoda uzrokovala je fluktuacije pritiska i snažan protupritisak jer su se kompresori morali boriti protiv otpora ispusnog cjevovoda. Protupritisak je davao lažne signale kontrolama kompresora, što je dovelo do preranog pražnjenja kompresora. Fluktuacija pritiska povezana s konfiguracijom ispusnog cjevovoda bila je naročito izražena u situacijama povećane potražnje zraka u glavnim mašinama. U momentu uključivanja mašina za jezgrovanje (Slika 12) potražnja za komprimiranim zrakom naglo bi porasla, što je dovodilo do opadanja pritiska u sistemu prije nego što su kompresori mogli reagirati. Pregledom sistema komprimiranog zraka otkrivena su i curenja, loše funkcioniranje predfiltera i naknadnih filtera na sušačima, koji su povećali gubitak pritiska i neefikasno odvođenje kondenzata.

Projektom je izvršena zamjena 3 inča (76.2 mm) ispusne cijevi s 5 inča (127 mm) cijevi, zamjena prijelaznog komada 90° komadom od 30°, kao i odvojeno snabdijevanje zrakom mašina za izradu jezgra od mašina u ostatku postrojenja. Poboljšanje sistema uključivalo je i sanaciju curenja. Nakon što je projekt proveden, pritisak u sistemu se stabilizirao i snizio, a performanse postrojenja su poboljšane. Zbog svojih poboljšanih performansi i efikasnosti postrojenje je moglo smanjiti upotrebu kompresora bez ikakvog utjecaja na proizvodnju.

Provođenjem ovog projekta proizvođač aluminijskih komponenti smanjio je godišnje troškove energije za 74.650 eura, dok je svoju potrošnju električne energije smanjio za 716.000 kWh. S ukupnim troškovima za prvu fazu projekta od 85.390 eura period otplate bio je nešto više od 1 godine.



Slika 12. Mašina za izradu jezgra u tvornici aluminija

Primjer dobre prakse: Sanacija curenja [25]

Program sanacije curenja implementiran je u kompaniji za proizvodnju automobilskih dijelova još 1989. godine. Otklanjanjem curenja, ustanovljeno je da su uštede troškova od smanjene električne energije iznosile 520.000 eura godišnje, što predstavlja smanjenje potrošnje električne energije od 11,5% (8,9 miliona kWh godišnje). Takođe, došlo je do smanjenja habanja svih komponenti unutar sistema (kompresori, sušači, cjevovodi, filteri, krajnja upotreba) zbog nižeg pritiska u postrojenju.

4.4.3 Ugradnja spremnika komprimiranog zraka

Spremnici komprimiranog zraka služe kao rezervoari za pohranu viška komprimiranog zraka proizvedenog tokom perioda niske potrošnje. Kada je potreba za zrakom manja od kapaciteta kompresora, spremnik se puni, čime se omogućava akumulacija zraka. Tokom perioda visoke potrošnje, kada potreba za zrakom iznenada poraste, spremnik komprimiranog zraka može pružiti dodatni izvor zraka kako bi se osigurao stabilan rad sistema smanjujući na taj način potrebu za trenutnim opterećenjem kompresora. Ugradnjom spremnika moguće je smanjiti broj uključivanja i isključivanja kompresora tako što će se pomoću spremnika osigurati dodatni zrak tokom perioda niske potrošnje. Na ovaj način je moguće smanjiti troškove održavanja, produžiti vijek trajanja kompresora i poboljšati energijsku efikasnost.

Postavljanjem spremnika veće zapremine omogućava se smanjenje rasteretnog pritiska kompresora. Sa malim spremnikom za zrak, pritisak se brzo mijenja, što od operatera zahtijeva postavljanje više zadane vrijednosti pritiska na kompresoru. To je potrebno kako bi se osiguralo da potrošači zraka uvijek dobivaju minimalni pritisak, čime se sprječava često uključivanje i isključivanje kompresora (uključivanje i isključivanje svakih nekoliko sekundi). S velikim spremnikom promjene u pritisku su veoma spore. To dozvoljava postavljanje malog diferencijalnog pritiska (razlika između zadane vrijednosti opterećenja i rasterećenja) i omogućuje postavljanje ukupno nižeg pritiska – budući da kompresor ima dosta vremena da se pokrene prije nego pritisak padne prenisko. Smanjivanje pritiska za 0,1 bar smanjit će račun za električnu energiju za 0,7% [30].

Zapremina rezervoara može se odrediti kao funkcija kapaciteta kompresora, pritiska, odstupanja u pritisku i broja uključivanja na sat, gdje je p_0 usisni pritisak približno 1 bar, Δp razlika pritisaka pri kojoj se uključuje kompresor, a z broj uključivanja na sat.

$$V = \frac{15 \times Q \times p_0}{\Delta p \times z}$$

U slučaju da se kompresorska stanica formira od više kompresora veličinu spremnika treba prilagoditi najvećem kompresoru, a ostali se uključuju u zavisnosti od potrošnje zraka. Jedna od preporuka je da zapremina spremnika (l) bude 6–10 puta veća od zapremine kompresora (l/s) [27].

4.4.4 Zamjena klipnih kompresora vijčanim kompresorima

Za snabdijevanje proizvodnih procesa komprimiranim zrakom u industriji koriste se najčešće vijčani i klipni kompresori. Međutim, vijčani kompresori znatno su efikasniji i boljih karakteristika u odnosu na klipne, te se preporučuju za korištenje naročito u onim industrijama koje bilježe veliki broj radnih sati.

Osnovne prednosti vijčanih kompresora su [30], [32]:

- **Ušteda energije:** Štedi se pomoću vijčanih blokova najnovije generacije i automatskog upravljanja dovodom zraka. Prema literaturi vijčani kompresori troše 30% manje električne energije u odnosu na klipne kompresore istih karakteristika.
- **Niski troškovi održavanja:** U prosjeku je održavanje sklopova klipa potrebno za svakih 500 sati rada. Mašine s navojem trebaju pregled nakon 4.000–8.000 sati rada.
- **Duži vijek trajanja:** Kompresori s vijčanim principom rada mogu raditi bez popravaka nekoliko godina za redom. Ključni faktori koji doprinose dugovječnosti ovih kompresora su: nedostatak složenih sistema ventila koji se koriste u drugim vrstama kompresora, postojanje jednostavnog sistema za podmazivanje koji smanjuje potrebu za složenim održavanjem i produžuje radni vijek kompresora, prisustvo sistema za hlađenje koji osigurava da komponente kompresora ostanu unutar optimalnih temperatura tokom rada te jednostavnost konstrukcije u odnosu na druge vrste kompresora. Na parnim vijcima proizvođač jedinice daje dvije godine garancije. Međutim, praksa pokazuje da uređaji mogu raditi bez zamjene vijaka 7–8 godina. Za to vrijeme, zavisno od kompanije, potrebno je promijeniti oko pet klipnih kompresora sličnog kapaciteta.
- **Niski troškovi ugradnje i puštanja u pogon:** Vijčane jedinice su male i gotovo ne proizvode buku i vibracije. Stoga se novac štedi na instalaciji opreme, budući da ih nije potrebno instalirati na temelj ili u zasebnu prostoriju.
- **Izvršne tehničke karakteristike:** Vijčani sklopovi su visoko konkurentna oprema sa sljedećim tehničkim karakteristikama: efikasnost do 95% (s klipnim jedinicama efikasnost ne dostiže 60%), kapaciteta preko 40 m³/min., izlazni pritisak do 8,8 bar (9 kgf/cm²).

Primjer dobre prakse: Zamjena klipnih vijčanim kompresorima [14]

Kompanija za potrebe proizvodnog procesa koristi dva klipna kompresora snage 55 kW i 75 kW, koji su stari preko 40 godina. Oba kompresora rade u prosjeku 2.640 h godišnje.

Kompanija je postojeće klipne kompresore zamijenila s nova dva vijčana kompresora: jedan snage 55 kW, a drugi 75 kW. Ukupna investicija za nabavku nova dva kompresora iznosila je 51.743 KM. Uz ostvarenu uštedu od 6.831,4 KM period povrata investicije iznosio je 7,5 godina.



Slika 13. Vijčani kompresor (lijevo) i klipni kompresor (desno)

4.4.5 Korištenje električnih puhaljki za potrebe čišćenja radnog prostora

U metalnoj industriji veoma je česta praksa korištenja komprimiranog zraka direktno s kompresora za čišćenje radnog mjesta i radne odjeće. Ovu praksu treba izbjegavati jer upotreba komprimiranog zraka od 4 bara (pritisak u instalaciji) za 8 radnih sati dnevno zahtijeva mjesečnu potrošnju od 40 eura. Umjesto toga potrebno je instalirati električne puhaljke za čišćenje (Slika 14). Električne puhaljke dolaze u različitim veličinama i snagama, od manjih ručnih modela do većih i snažnijih industrijskih verzija. Električne puhaljke obično koriste električnu energiju za generiranje zraka, dok komprimirani zrak zahtijeva rad kompresora koji koristi električnu energiju ili druge izvore energije. Električne puhaljke su energijski efikasnije i često zahtijevaju manje održavanja u poređenju sa sistemom komprimiranog zraka. To može rezultirati smanjenjem ukupnih troškova, uključujući troškove energije i održavanja opreme. Npr., električna puhaljka snage 600 W pri dnevnom radu od 8 h potroši mjesečno 144 kWh električne energije, odnosno 8 eura, dok upotreba komprimiranog zraka od 4 bar (pritisak u instalaciji) za isti broj radnih sati dnevno zahtijeva mjesečnu potrošnju od 40 eura [23].



Slika 14. Električna puhaljka za čišćenje Bosch professional [33]

4.5 ENERGIJSKI EFIKASNIJI SISTEMI HLAĐENJA

Hlađenje igra ključnu ulogu u procesima obrade metala, obavljajući važnu funkciju tokom različitih operacija kao što su rezanje, vruće i toplo valjanje te izvlačenje žice. Ove operacije često generiraju visoke temperature koje mogu uzrokovati oštećenje alata ili promjenu svojstava materijala, te je efikasno hlađenje ključno za održavanje kvalitete i preciznosti obrade. Za hlađenje se koriste različite tehnike, a hlađenje fluidima, poput vode, ulja ili emulzije, spada u tradicionalne tehnike.

Općenito, postoje dva glavna tipa rashladnih sistema koji se koriste u industrijskim okruženjima: centralizirani sistemi za hlađenje i decentralizirani sistemi za hlađenje. Centralizirani sistemi za hlađenje opslužuju više alatnih mašina ili procesnih jedinica, dok decentralizirani sistemi za hlađenje opslužuju samo jednu alatnu mašinu ili procesnu jedinicu. Oba tipa sistema imaju svoje prednosti i mane, a izbor između njih obično zavisi od specifičnih zahtjeva proizvodnog procesa, veličine postrojenja i drugih faktora. Glavni potrošači energije u rashladnom sistemu su kompresor rashladnog ciklusa, pumpa hladnovodnog ciklusa i ventilator kondenzatora [34].

Većina tekućina za obradu metala koje se primjenjuju za hlađenje formulirana je iz mineralnih ulja koja se izdvajaju iz sirove nafte. Zbrinjavanje ovih otpadnih mineralnih ulja zahtijeva postupke koji se primjenjuju na opasan otpad [34]. Kao odgovor na okolišne dimenzije problema hlađenja upotrebom fluida razvijaju se alternativne tehnike poput kriogenog hlađenja, podmazivanja s minimalnom količinom (engl. minimum quantity lubrication – MQL), zračnog hlađenja, nanofluida i biljnih ulja kao čistije alternative konvencionalnim rashladnim tekućinama na bazi minerala i hemikalija itd. Sve tehnike hlađenja imaju svoje karakteristike u smislu cijene, potrošnje, efikasnosti, odlaganja kao i opasnosti za okoliš [36].

Analiza dosadašnjih istraživanja pokazuje da okolišno prihvatljive metode obrade kao što su MQL, nanofluidi s MQL i MQL uz pomoć hladnog zraka imaju veliki potencijal jer mogu prevladati poteškoće uočene tokom suhe mašinske obrade i ekonomičnije su od kriogenog hlađenja. S druge strane razvoj biljnih ulja pokazuje da rashladne tekućine na biološkoj osnovi mogu imati zadovoljavajuće dobre rezultate uz dodatnu prednost biorazgradivosti [37].

U hladnim valjaonicama potrebna je voda za hlađenje kako bi se odvela prekomjerna toplota iz procesa valjanja (energija valjanja) i iz peći za žarenje (energija grijanja). Tako zagrijana rashladna voda može se hladiti na dva načina: putem rashladnih tornjeva ili, kao energijski efikasnija opcija, ponovnim hlađenjem pomoću industrijske vode u pločastim izmjenjivačima toplote. Ponovno hlađenje rashladne vode putem izmjenjivača toplote ne samo da pridonosi energijskoj efikasnosti, već također nosi značajne okolišne prednosti. Kroz ovaj proces, znatne količine hemikalija koje se inače koriste u rashladnoj vodi, kao što su inhibitori korozije, stabilizatori tvrdoće, disperzanti i biocidi, mogu se značajno uštedjeti. Ova ušteda hemikalija ne samo da je ekonomski isplativa, već također smanjuje potencijalne negativne utjecaje na okoliš. Izmjenjivači toplote omogućuju ponovno iskorištavanje i očuvanje kvalitete rashladne vode, čime se smanjuje potreba za redovitim dodavanjem hemikalija i izbjegava ispuštanje tih hemikalija u kanalizacijski sistem. [38].

Primjer dobre prakse: Unapređenje sistema hlađenja radnih mašina u pogonu [39]

Kompanija za proizvodnju automobila suočila se s izazovom održavanja adekvatne radne temperature mašina unutar proizvodnog pogona. Postojeći sistem hlađenja nije bio dovoljan za održavanje optimalnih uvjeta u slučaju proširenja proizvodnog pogona novim mašinama koje bi generirale dodatnu otpadnu toplotu. Glavni cilj kompanije bio je optimizirati energijsku efikasnost postojećeg sistema hlađenja i spriječiti povećanje temperature unutar proizvodnog pogona bez proširenja klimatizacijske infrastrukture.

Kako bi odgovorila na ove izazove, kompanija je sarađivala s iskusnim tehnološkim partnerom i razvila sveobuhvatno rješenje. Osnovna strategija temeljila se na proširenju postojećeg kruga rashladne vode za vodeno hlađenje mašina i djelomično hlađenje razvodnih ormara. U tom smislu dodate su jedinice na radne mašine s kompaktnim sistemom za hlađenje fluid-voda, a koje su zamijenile konvencionalne rashladne uređaje. Ove jedinice sastoje se od pločastog izmjenjivača toplote, spremnika s cirkulacijskom pumpom i dodatnih komponenti.

Radni medij glikol prenosi se pumpom do mašina radi apsorpcije toplote, a zatim se zagrijava glikol hladi rashladnom vodom kroz pločasti izmjenjivač toplote u sistemu hlađenja. Nakon hlađenja ohlađeni glikol vraća se u spremnik. Ovaj međufazni krug hlađenja pruža konstantan kvalitet rashladnog medija te osigurava zaštitu od korozije u svakom trenutku, bez obzira na promjene pritiska ili protoka rashladne vode.

Dodatno, ove jedinice opremljene su regulacijskim ventilima za kontrolu protoka vode, pružajući mehaničko ili elektroničko upravljanje, radi dodatne efikasnosti. Kompanija je implementirala ovaj sistem na 220 radnih mašina kako bi osigurala ujednačen sistem hlađenja u cijelom pogonu.

Također, radi postizanja uniformnog sistema hlađenja u svim dijelovima pogona ova rješenja unaprijed su integrirana u tehničke specifikacije radnih mašina, što je potaklo dobavljače da implementiraju slične sisteme fluidno-vodenog hlađenja u svoje nove radne mašine.

Ovo inovativno rješenje rezultiralo je optimizacijom sistema hlađenja i smanjenjem potrošnje energije za 20% te omogućilo brzi povrat investicije unutar 1,5 godine. Osim toga, postignute su i brojne druge koristi, uključujući smanjenje troškova servisiranja, minimalnu potrošnju rashladnog sredstva, niže nivoe buke te bolje iskorištenje prostora unutar proizvodnih pogona.

Primjer dobre prakse: Centralizacija sistema hlađenja [40]

Kompanija koja je jedan od vodećih evropskih proizvođača tračnih pila i noževa ističe se po dosljednosti i kvalitetu svojih proizvoda. Kako bi održala ovaj nivo kvaliteta, unaprijedila je efikasnost rashladnog sistema kako bi osigurala optimalan rad svojih mašina pri odgovarajućim temperaturama.

Raniji sistem bio je decentraliziran, sačinjen od dvije rashladne mašine: jedna smještena vani, a druga unutar objekta. S obzirom na to da su se postojeći rashladni uređaji bližili kraju svog životnog ciklusa i postajali sve manje energijski efikasni i skuplji za rad, kompanija je implementirala novi dizajn rashladnog sistema. Naime, centralizirani rashladni sistem, koji se sastoji od jednog uređaja snage 84 kW, zamijenio je prethodna dva uređaja.

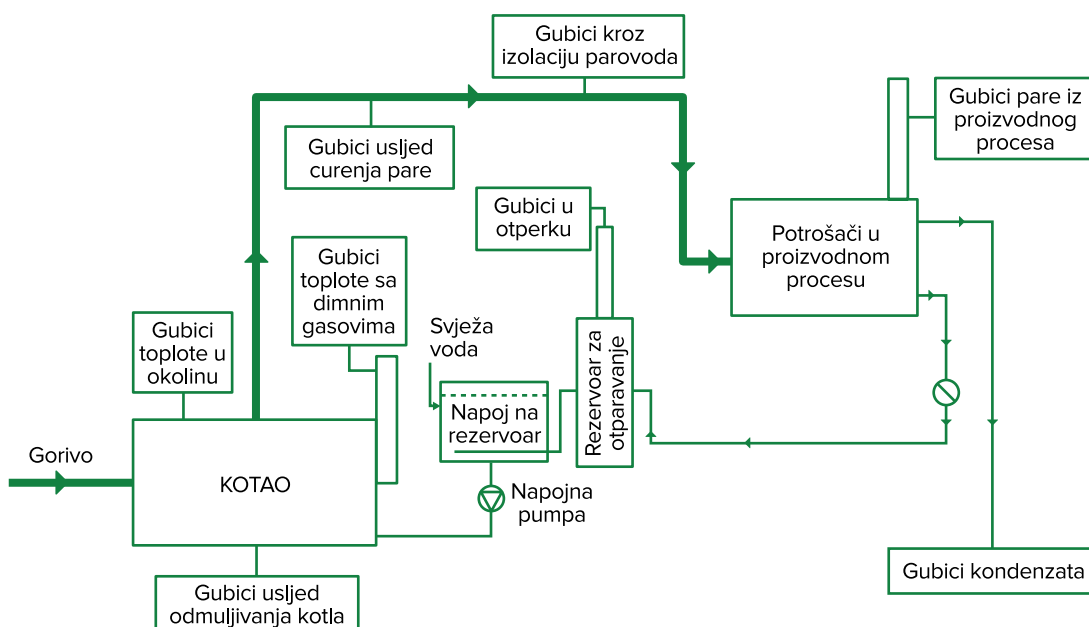
Ovom centralizacijom poboljšana je efikasnost i pouzdanost sistema hlađenja. Postignuta je značajna ušteda energije od 59% u odnosu na prethodni rad rashladnih uređaja, što je rezultiralo godišnjom uštedom od 11.760 eura. S ulaganjem od 10.636 eura period povrata investicije bio je nešto kraći od godinu dana.

4.6 ENERGIJSKI EFIKASNIJA KOTLOVSKA POSTROJENJA

Općenito je namjena kotlovskih postrojenja u industriji proizvodnja toplote za zagrijavanje prostora i proizvodnja pare za odvijanje industrijskih procesa. U metaloprerađivačkom sektoru koriste se za zagrijavanje radnog prostora kao i za potrebe odvijanja proizvodnog procesa (zagrijavanje niskotemperaturnih peći, zagrijavanje kabina za sušenje obojenih profila, rad peći za polimerizaciju itd.). Rezultati provedeni u 37 metaloprerađivačkih kompanija pokazali su da grijanje čini 29% ukupne energije koja se troši u metaloprerađivačkoj industriji [41]. U prosjeku potrošnja energije industrijskih parnih sistema čini oko 30% potrošnje energije u proizvodnoj industriji širom svijeta [42].

Kad se govori o energijskoj efikasnosti proizvodnje energije u industrijskim kotlovnica, potrebno je obuhvatiti cijeli sistem za proizvodnju i distribuciju energije, odnosno: kotlovnica, parovod, krajnje potrošače i sistem za povrat kondenzata. Energija se obično gubi na više mjesta u sistemu za proizvodnju i distribuciju pare (Slika 15):

- gubici kroz plašt kotla,
- gubici usljed odmuljivanja kotla,
- gubici toplote u dimnim plinovima,
- gubici usljed curenja pare,
- gubici kroz izolaciju parovoda,
- gubici pare u proizvodnom procesu,
- gubici kondenzata,
- gubici u otparku.



Slika 15. Gubici energije kod sistema za proizvodnju i distribuciju pare [43]

Identificiranje i rješavanje potencijalnih područja gubitaka energije u cijelom sistemu za proizvodnju i distribuciju pare ključno je za poboljšanje energijske efikasnosti u industrijskim kotlovnica. To zahtijeva integrirani pristup koji uključuje redovno održavanje, poboljšanu izolaciju, upotrebu visokoefikasnih tehnologija i praćenje potrošnje energije kako bi se osiguralo optimalno funkcioniranje sistema uz minimalne gubitke.

4.6.1 Povećanje efikasnosti rada kotla odgovarajućom pripremom i kontrolom kotlovske vode

Povećanje efikasnosti rada kotla može se postići primjenom odgovarajuće pripreme i kontrole kotlovske vode. Ove mjere igraju ključnu ulogu u održavanju optimalnih uvjeta rada kotla, produženju njegovog vijeka trajanja i poboljšanju energijske efikasnosti. Tvrdća, ukupno rastvorene čvrste čestice (TDS), ukupna količina suspendiranih čestica (TSS), nivo pH, silicijdioksid SiO_2 , i rastvoreni plinovi ključni su parametri kvaliteta vode koji utječu na rad kotla. Tvrdća vode potiče od rastvorenih supstanci u vodi, uglavnom soli kalcija i magnezija, od čega zavisi stvaranje kamenca. Utvrđivanjem vrijednosti parametara pH utvrđuje se je li voda bazična (alkalna), kisela ili neutralna. Visoka bazičnost može izazvati stvaranje pjene, što za posljedicu ima zaprljanje pare, kao i stvaranje kamenca. Veoma kisela voda izazvat će koroziju, jednako kao i jako bazična voda.

Vrijednosti najviše dozvoljene koncentracije ovih parametara propisane su standardom BAS EN 12952-12:2006 – Vodocijevni kotlovi i pomoćne instalacije – Dio 12: Zahtjevi za kvalitet napojne i kotlovske vode. U standardu su posebno dati kompleti standarda za cilindrične kotlove i kotlove s vodogrijnim cijevima. Vrijednosti su definirane u odnosu na pritiske, odnosno za kotlove 0,5–20 bara, 20–40 bara i 40–100 bara. Pažljiva kontrola sastava kotlovske vode doprinosi povećanju efikasnosti rada kotla, smanjenju potrošnje energije, produženju vijeka trajanja opreme i smanjenju troškova održavanja. Ukoliko voda ne zadovoljava propisane parametre, potrebno ju je tretirati. Tretman može biti vanjski, koji se fokusira na uklanjanje soli, i unutrašnji, gdje se kotlovskoj vodi direktno dodaju hemikalije za tretman. Vanjski tretman moguće je obaviti primjenom sljedećih tehnologija: omekšavanje jonskom izmjenom, dealkalizacija, demineralizacija, reverzna osmoza, deaeracija, bistrenje vode. Izbor načina tretmana ovisi o kvalitetu napojne vode.

Za odgovarajuću pripremu vode od ključnog je značaja doziranje hemikalija kako bi se osigurala njihova stalna koncentracija u mjeri koja omogućava postizanje zahtijevanih vrijednosti parametara kvaliteta. Poželjno je osigurati kontinuirano i automatizirano doziranje hemikalija. Kod automatiziranog doziranja vrši se automatsko reguliranje, podešavanje i doziranje, pomoću signala koje šalju mjerni instrumenti. Time se izbjegava utjecaj ljudskog faktora, koji je kod ručne kontrole presudan, a pri kojoj radnik dozira hemikaliju iz spremnika na bazi očitanih parametara kvaliteta vode. Kod automatiziranog sistema doziranje se vrši na bazi vremenskih intervala, promjene pritiska, odnosno protoka, ili na bazi automatske kontrole kvaliteta vode, što je i najsigurniji a ujedno i najefikasniji način.

4.6.2 Odmuljivanje i odsoljavanje kotla

Da bi kotao efikasno i pouzdano radio, ne smije se dozvoliti stvaranje naslaga kamenca ili korozije, pa se vrši njegovo plansko odmuljivanje/odsoljavanje s ciljem održavanja koncentracije soli i ostalih nepoželjnih materija u kotlovskoj vodi u dozvoljenim granicama. Odmuljivanje kotlova podrazumijeva povremeno izbacivanje napojne vode sa dna kotla kako bi se eliminirale nečistoće, minerali i druge tvari koje se nakupljaju u kotlu tokom procesa grijanja. Nakon toga ispuštenu količinu vode je potrebno nadoknaditi novom, svježom vodom. Međutim, ova procedura iziskuje dodatnu količinu energije kako bi se nova voda zagrijala na radnu temperaturu kotla. Ovo zagrijavanje predstavlja dodatno opterećenje sistema grijanja i rezultira povećanom potrošnjom energije. Optimalan stepen odmuljivanja je presudan, budući da previsok stepen odmuljenja rezultira toplotnim gubicima s obzirom na to da je temperatura vode od odmuljivanja jednaka temperaturi pare u kotlu. Optimiziranjem ciklusa odmuljivanja smanjuju se troškovi vode za dopunu i troškovi hemijske pripreme vode. Nizak stepen odmuljenja povećava koncentraciju nepoželjnih materija u kotlovskoj vodi.

Ne postoji čvrsto definirano pravilo za optimalnu vrijednost stepena odmuljenja budući da kvalitet napojne vode značajno varira, a kreće se u intervalu od 1% pa sve do 25% (u odnosu na protok napojne vode u kotlu) [43].

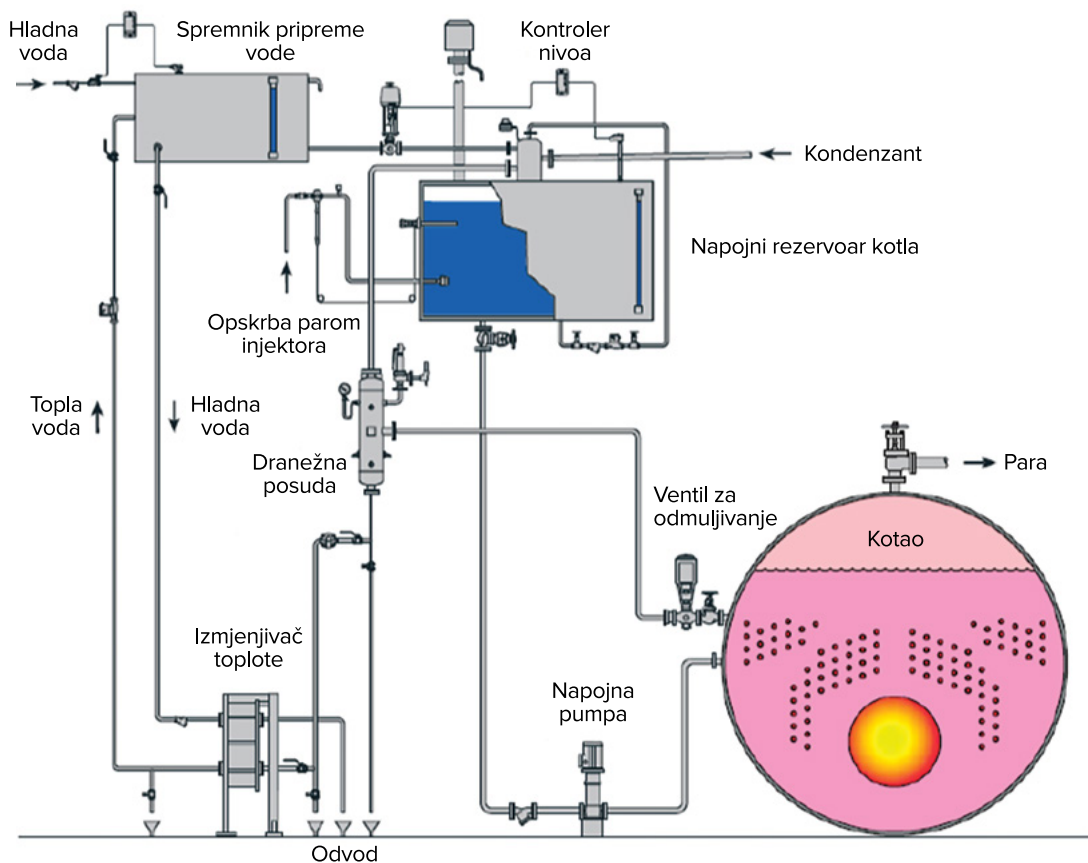
Postoje tri načina odmuljivanja i odsoljavanja kotlova: kontinualno, ručno i automatsko. Kontinualno odmuljivanje i odsoljavanje uključuje stalno praćenje i održavanje kotlova kako bi se spriječilo nakupljanje mulja i soli. Proces uključuje upotrebu sistema za filtriranje i separatora kako bi se redovno uklanjale suspendirane čestice i soli iz vode koja ulazi u kotao. Na ovaj način se sprječava taloženje nečistoća na unutarnjim površinama kotla, čime se održava efikasnost i dugovječnost kotla. Ručno odmuljivanje i odsoljavanje podrazumijeva periodično čišćenje i odsoljavanje kotla ručnim intervenisanjem od strane osoblja. To može uključivati ručno uklanjanje mulja, taloga i naslaga soli s unutarnjih površina kotla pomoću alata poput četki, strugača ili drugih mehaničkih uređaja. Ovaj postupak zahtijeva obustavu rada kotla i fizički rad osoblja, te je zbog toga često manje efikasan i zahtijeva više vremena i resursa. Automatsko odmuljivanje i odsoljavanje podrazumijeva korištenje automatiziranih sistema i uređaja za praćenje i održavanje čistoće vode u kotlu. Automatski sistemi mogu uključivati upotrebu sonde za mjerenje nivoa soli i mulja u vodi, kao i uređaje poput solarnih uređaja i elektrolitičkih uređaja koji automatski uklanjaju nečistoće iz vode. Ovi sistemi omogućavaju kontinuiranu kontrolu i održavanje čistoće vode u kotlu bez potrebe za ručnim intervencijama, čime se smanjuje potreba za radnom snagom i povećava efikasnost procesa.

Obzirom da voda koja se ispušta tokom postupka odmuljivanja ima visoku temperaturu od otprilike 95°C, potrebno je provesti postupak njenog hlađenja prije nego što bude ispuštena u kanalizacijski sistem. Hlađenje se vrši obično gradskom vodom u procesu direktnog miješanja, što predstavlja još jedan dodatni trošak za kompaniju. Ova energija može se iskoristiti na efikasniji način korištenjem izmjenjivača toplote. Korištenjem izmjenjivača toplote, kompanija može optimizirati troškove hlađenja i istovremeno povećati energijsku efikasnost, pridonoseći održivosti procesa odmuljivanja i smanjenju

ukupnih operativnih troškova. U ovom procesu se, pomoću rashladne vode koja se dovodi u izmjenjivač toplote, hladi voda od odmuljivanja kotla do dozvoljene temperature, koja iznosi 30°C za prirodni recipijent, odnosno 40°C za kanalizaciju. [44].

Ohlađena voda od odmuljivanja kotla zatim se ispušta u odvod otpadne vode, dok rashladna voda, koja je korištena za hlađenje vode od odmuljivanja, prolazi kroz proces daljnjeg iskorištavanja. Ova rashladna voda, sada već zagrijana, usmjerava se prema napojnom rezervoaru kotla. Budući da se rashladna voda, koja je korištena za hlađenje vode od odmuljivanja, ponovno koristi i preusmjerava u napojni rezervoar kotla, postiže se značajna energijska efikasnost. Uzimajući u obzir da se rashladna voda već zagrijala tokom procesa hlađenja vode od odmuljivanja, potrebno je manje energije za njeno ponovno zagrijavanje u napojnom rezervoaru kotla. Ovaj pristup rezultira smanjenom potrošnjom kotlovske goriva u ukupnom bilansu, pridonoseći tako održivosti, smanjenju troškova energije i optimizaciji resursa (Slika 16).

Slika 16. Iskorištenje rashladne vode u rezervoaru za pripremu vode [45]

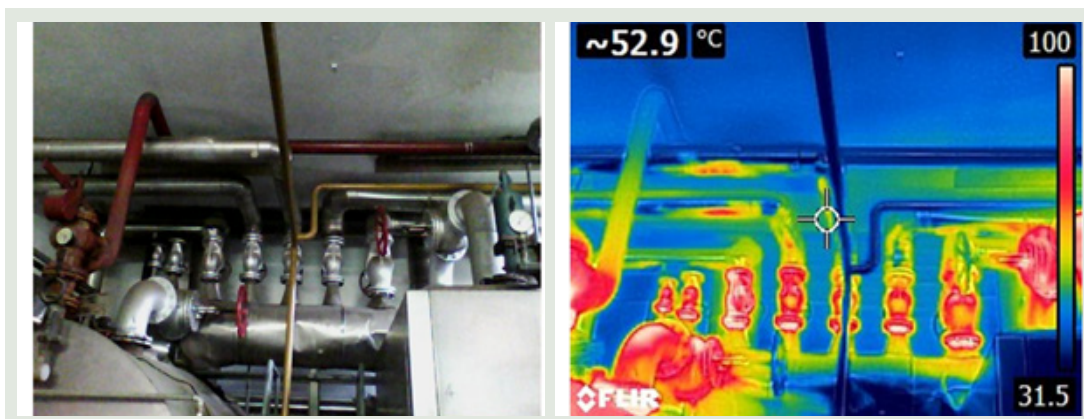


4.6.3 Postavljanje/zamjena toplotne izolacije na cjevovodima

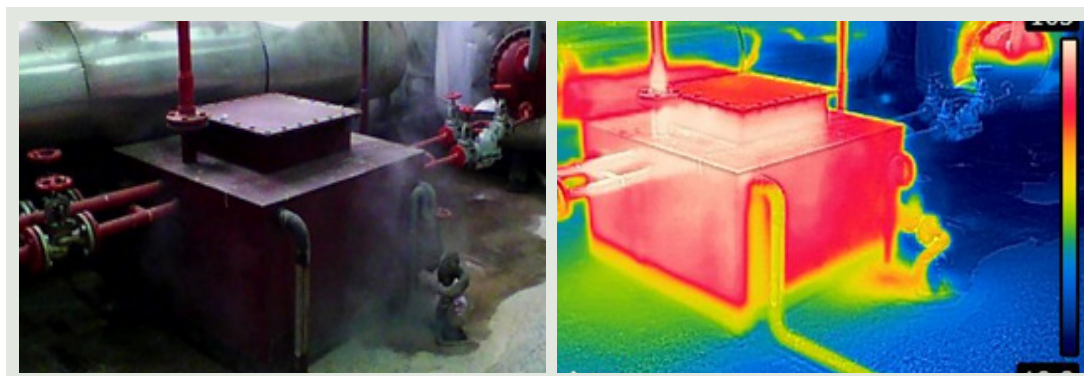
S ciljem smanjenja gubitaka topline i povećanja energijske efikasnosti u industriji i energetici primjenjuje se toplotna izolacija opreme i instalacija (kotlovi, rezervoari, posude, cjevovodi i cijevne armature). Transport pare i vode do potrošača, kao i transport kondenzata nazad do kotla ostvaruje se cjevovodima koji trebaju biti toplotno izolirani. Veoma su česti gubici energije na cjevovodima usljed curenja pare i neizoliranosti cjevovoda i ventila, zatim neizoliranosti kotla i spremnika kondenzata. Za izolaciju se koriste različiti materijali i oblici izolacije prilagođeni za cijevi, ventile i druge dijelove. U nastavku su prikazani fotosnimci i snimci termovizijskom kamerom, sačinjeni u kotlovnici jedne prehrambene industrije u Bosni i Hercegovini. Snimci pokazuju gubitke topline na plaštu kotla, ventilima, parovodu i spremniku kondenzata, kao i gubitke toplotne energije usljed istjecanja pare na priрубnicama (Slika 17, Slika 18, Slika 19, Slika 20). Osim detekcije gubitaka pomoću termovizijske kamere, mjesta na kojima dolazi do najvećih gubitaka topline mogu se detektirati i eliminirati opipavanjem, vizualnim pregledom izolacije ili korištenjem površinskog ili radijacijskog termometra. Kombinacija ovih metoda može pružiti detaljne informacije o područjima s najvećim gubicima topline te omogućiti efikasno planiranje i provođenje mjera za smanjenje tih gubitaka. Redovno korištenje ovih tehnika može pomoći u održavanju energijske efikasnosti sistema i smanjenju troškova energije.



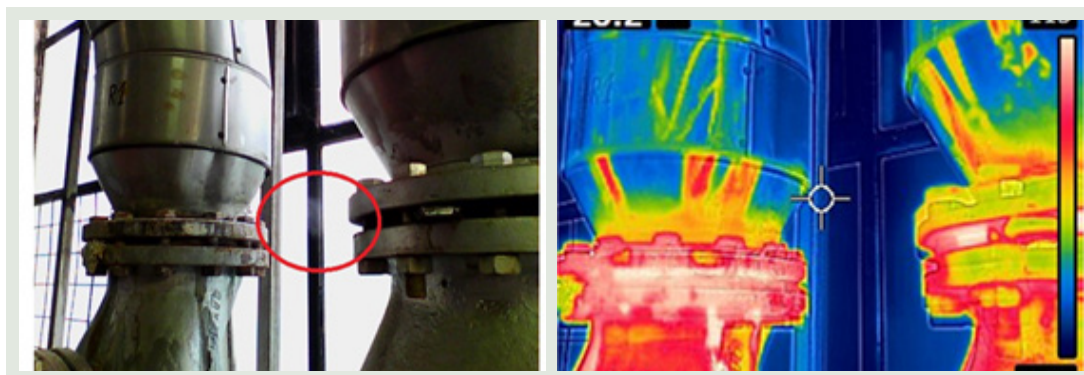
Slika 17. Gubici topline kroz oplatu kotlova, oštećena izolacija kotlova i parovoda (arhiva autora)



Slika 18. Neizoliranost ventila (arhiva autora)



Slika 19. Neizoliranost spremnika kondenzata (arhiva autora)



Slika 20. Gubici toplotne energije usljed isticanja pare na prirubnicama (arhiva autora)

Od posebnog je značaja također izbor adekvatnog izolacijskog materijala i debljine izolacije. Izbor materijala za izolaciju ovisi o nizu faktora kao što su temperatura koju cjevovod mora izdržati, uvjeti okoline, zahtjevi za zaštitu od požara, mehanički uvjeti te drugi specifični zahtjevi za pojedine sisteme. Izolacija može biti fiksna instalacija ili uklonjiva (napravljena u odvojivim dijelovima) kako bi se omogućio brz pristup za održavanje i pregled (Slika 21, Slika 22, Slika 23, Slika 24, Slika 25, Slika 26) [46].



Slika 21. Odvojiva izolacija od kompozitnih materijala [46]



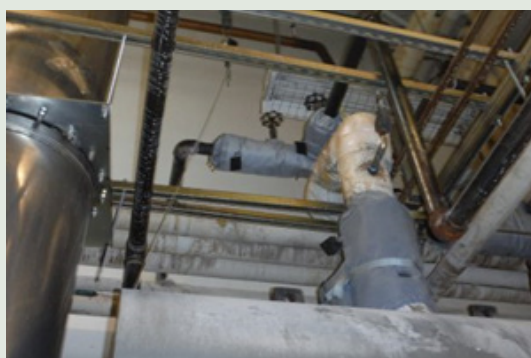
Slika 22. Fiksna izolacija [47]



Slika 23. Odvojiva izolacija cilindričnog kotla [48]



Slika 24. Fiksna izolacija cilindričnog kotla [49]



Slika 25. Odvojiva izolacija cijevi [50]

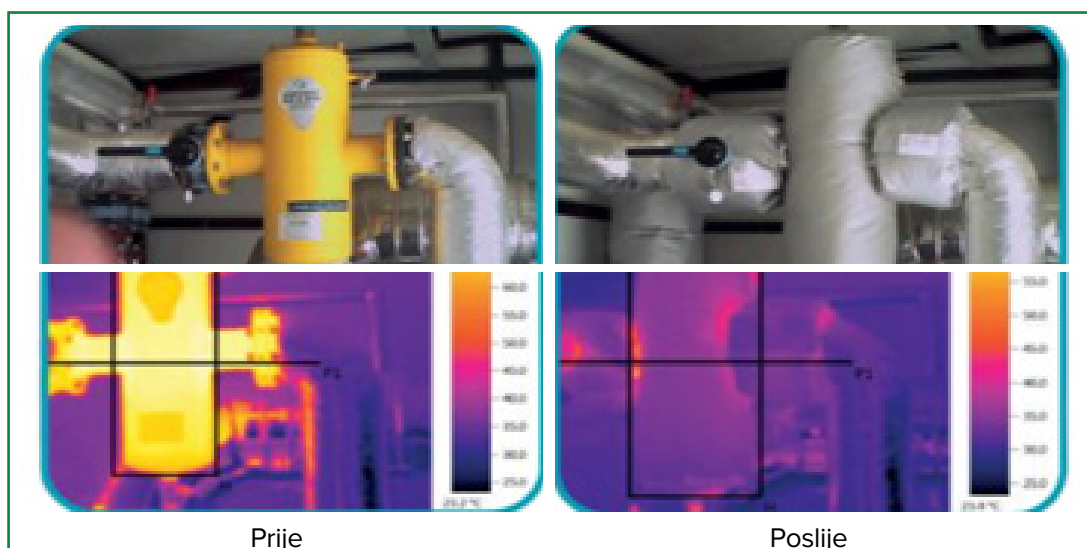


Slika 26. Fiksna izolacija cijevi [51]

Temperatura površine cijevi ili posude neznatno se razlikuje od temperature medija koji se nalazi u posudi ili koji struji kroz cjevovod. Zbog toga neizolirani vodovi za distribuciju pare i povrat kondenzata predstavljaju stalni izvor izgubljene energije. Dobra izolacija obično može smanjiti toplotne gubitke za 90% i pomoći u održavanju odgovarajućeg pritiska pare u postrojenju. Preporučuje se izoliranje svih površina koje su izložene temperaturama iznad 50°C. To uključuje površine bojlera, povratne cijevi pare i kondenzata, cjevovoda za grijanje ili hlađenje, te druge termičke komponente i opremu [53].

Naprimjer, gubici toplote za neizolirani cjevovod nazivnog prečnika 100 mm kroz koji struji pregrijana vodena para pritiska 10 bara iznose 1.052 W/m. Postavljanjem toplotne izolacije (CaSiO_4) debljine 65 mm na ovaj cjevovod gubici toplote smanjuju se na 73 W/m. Kod toplotno neizolirane cijevne armature (ventili, zasuni i dr.) gubici toplote su ekvivalentni gubicima toplote neizoliranog cjevovoda dužine 1,1 do 1,3 m. Kada su u pitanju neizolirane prirubnice kod cjevovoda, gubici toplote su ekvivalentni gubicima toplote neizoliranog cjevovoda dužine 0,3 do 0,4 m [54].

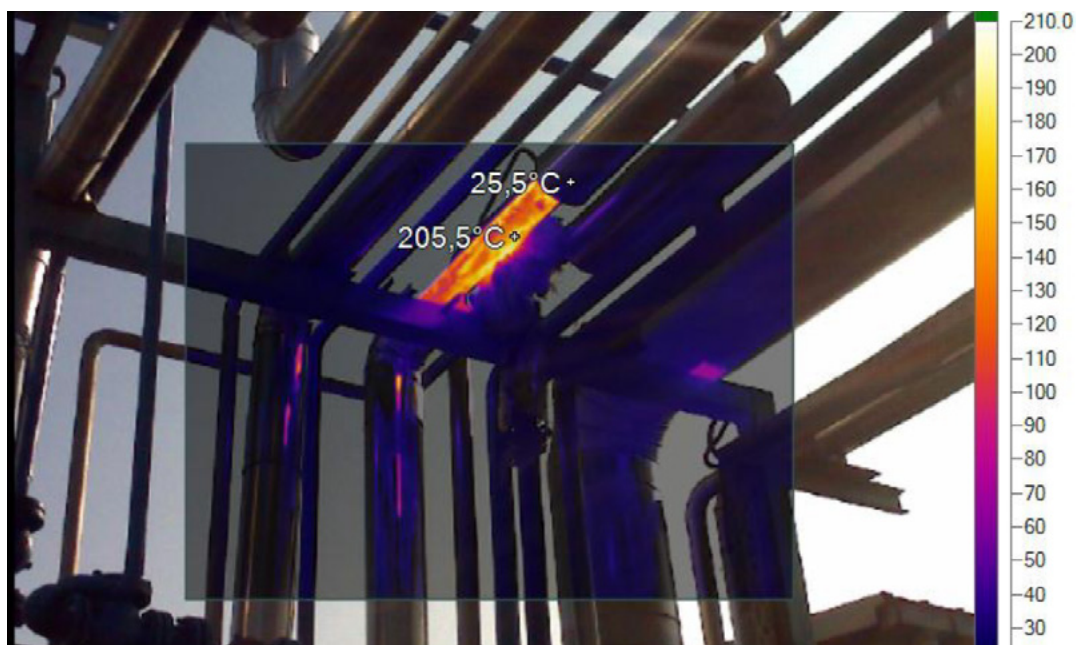
Termovizijski snimci izoliranog i neizoliranog ventila i dijela cjevovoda (Slika 27) jasno pokazuju efekte primjene izolacije. Temperatura neizoliranog ventila i cijevi se kretala u rasponu od 65 do 72,5°C, dok je na izoliranom ventilu i cijevi izmjerena temperatura znatno niža, 30-35°C, sa maksimumom na prijelazu između fazonskih komada 40-45°C.



Slika 27. Uklanjanje izolacije na ventilima i efekti primjene [55]

Utjecaj toplotne izolacije na smanjenje gubitaka toplote može se demonstrirati na primjeru cjevovoda kroz mjerenje temperature na dva mjesta duž njegove površine. Prvo mjesto mjerenja nalazi se na vanjskoj površini cijevi izrađene od ugljeničnog čelika, dok se drugo mjesto mjerenja nalazi na vanjskoj površini aluminijskog lima, unutar kojeg se nalazi izolacija od mineralne vune debljine 70 mm. Vanjski prečnik cjevovoda iznosi 88,3 mm, a kroz cjevovod prolazi pregrijana vodena para pod pritiskom od 3,6 bara.

Rezultati mjerenja termovizijskom kamerom pokazali su da je temperatura na površini cijevi koja je toplotno izolirana niža od temperature na površini cijevi bez izolacije za oko 180°C (Slika 28).



Slika 28 Prikaz mjerenja temperature na cjevovodu sa i bez izolacije [54]

Kao izolacijski materijali u industriji najviše se primjenjuju kamena i staklena vuna i poliuretanska pjena. Nosiva konstrukcija toplotne izolacije najčešće se izrađuje od metalnih profila kružnog poprečnog presjeka. Izolacijski materijali postavljaju se u oplatu od aluminijskog lima, pocinčanog lima, pocinčanog obojenog lima ili lima koji predstavlja kombinaciju više legirajućih elemenata. Spajanje oplate od limova vrši se vijcima ili zakovicama [53].

U slučaju fiksne izolacije, materijali poput termičkih izolacijskih ploča ili obloga ostaju stalno postavljeni na određenim dijelovima opreme ili cijevi. S druge strane, uklonjiva izolacija sastoji se od odvojivih dijelova, omogućavajući jednostavan pristup komponentama sistema kada je to potrebno. Odvojiva izolacija, također pruža fleksibilnost u pristupu različitim dijelovima sistema. Ugradnjom odvojive izolacije moguće je efikasnije obavljati poslove održavanja ili zamjene dijelova bez gubitka vremena na kompleksno uklanjanje i ponovno postavljanje cjelokupne izolacije, smanjiti vrijeme potrebno za izvođenje radova i optimizirati radne postupke. Ugradnja uklonjive (odvojive) izolacije je moguća na svim dijelovima sistema, uključujući ventile, pumpe i druge ključne komponente (Slika 29, Slika 30).



Slika 29. Odvojiva izolacija ventila [55]



Slika 30. Odvojiva izolacija na cirkulacijskim pumpama [56]

U Tabeli 4 su prikazane uštede energije koje se postižu korištenjem odvojive izolacije za različite veličine ventila i radne temperature.

Tabela 4. Ušteda energije postavljanjem izolacije na ventilima [57]

Ušteda energije primjenom odvojive izolacije na ventilima ² (kW)						
Radna temperatura (°C)	Veličina ventila (cm)					
	7,6	10,2	15,2	20,3	25,4	30,5
93	0,5	0,6	0,88	1,18	1,4	1,77
149	1,06	1,27	1,9	2,54	3,02	3,81
204	1,83	2,19	3,28	4,37	5,2	6,6
260	2,85	3,42	5,09	6,79	8,06	10,2
315	4,15	4,95	7,42	9,9	11,76	14,85

2. Odnosi se na ventile sa prirubnicom od 68 kg, izolovane sa izolacijom od 5 cm i temperaturu okoline od 18°C.

4.6.4 Povrat kondenzata

Povrat kondenzata je proces prikupljanja i ponovne upotrebe kondenzirane vode koja se formira kao nusproizvod u različitim industrijskim procesima. Uređaji koji se koriste za odvajanje kondenzata, tj. tečnosti koja se formira kada vodena para kondenzira, od pare ili plina koji prolazi kroz sistem nazivaju se odvajači kondenzata. Također, odvajači kondenzata pomažu u održavanju suhe pare ili plina, što je posebno važno u procesima gdje se zahtijeva čista i suha para, poput procesa grijanja, klimatizacije, ili proizvodnje pare za industrijske svrhe. Odvajači kondenzata pare često se zanemaruju zbog svoje lokacije na teško dostupnim mjestima. Postavljanje cjevovoda i odvajača kondenzata na mjestima koja su teško dostupna može otežati njihovo redovno održavanje i nadzor, što može dovesti do problema u radu i čestih kvarova. Nedostatak pravilnog održavanja i nadzora može uzrokovati nakupljanje nečistoća i naslaga u odvajačima kondenzata, što može smanjiti njihovu efikasnost i prouzročiti začepljenje ili blokiranje. Osim toga, teško dostupne lokacije mogu otežati provođenje redovnih pregleda i čišćenja, što može rezultirati propuštanjem simptoma problema koji se mogu pogoršati s vremenom. Za rješavanje ovog problema, važno je osigurati da se odvajači kondenzata pare postavljaju na pristupačna mjesta koja olakšavaju održavanje i nadzor. Vraćanje parnog kondenzata u kotlovski sistem omogućava smanjenje potrošnje vode i obrade iste. Smanjenjem količine energije potrebne za pretvaranje kondenzata iz pare pri 160°C u vodu pri 40°C, moguće je ostvariti uštedu energije [41].

Vraćanjem kondenzata moguće je značajno poboljšati efikasnost parnih postrojenja. Povrat kondenzata s izmjenjivača topline i druge opreme unutar parnog procesa opravdano je i s ekonomskog i s tehničkog aspekta jer povrat kondenzata pozitivno utječe na efikasnost procesa, njegovu stabilnost, ali i duži životni vijek opreme. Neke od prednosti iskorištavanja topline otpadnog kondenzata značajno su smanjenje potrošnje energije jer se toplota kondenzata potpuno iskorištava, a pritom kondenzat predstavlja hemijski pripremljenu vodu, tako da se štedi i na hemijskoj i na termičkoj pripremi napojne vode.

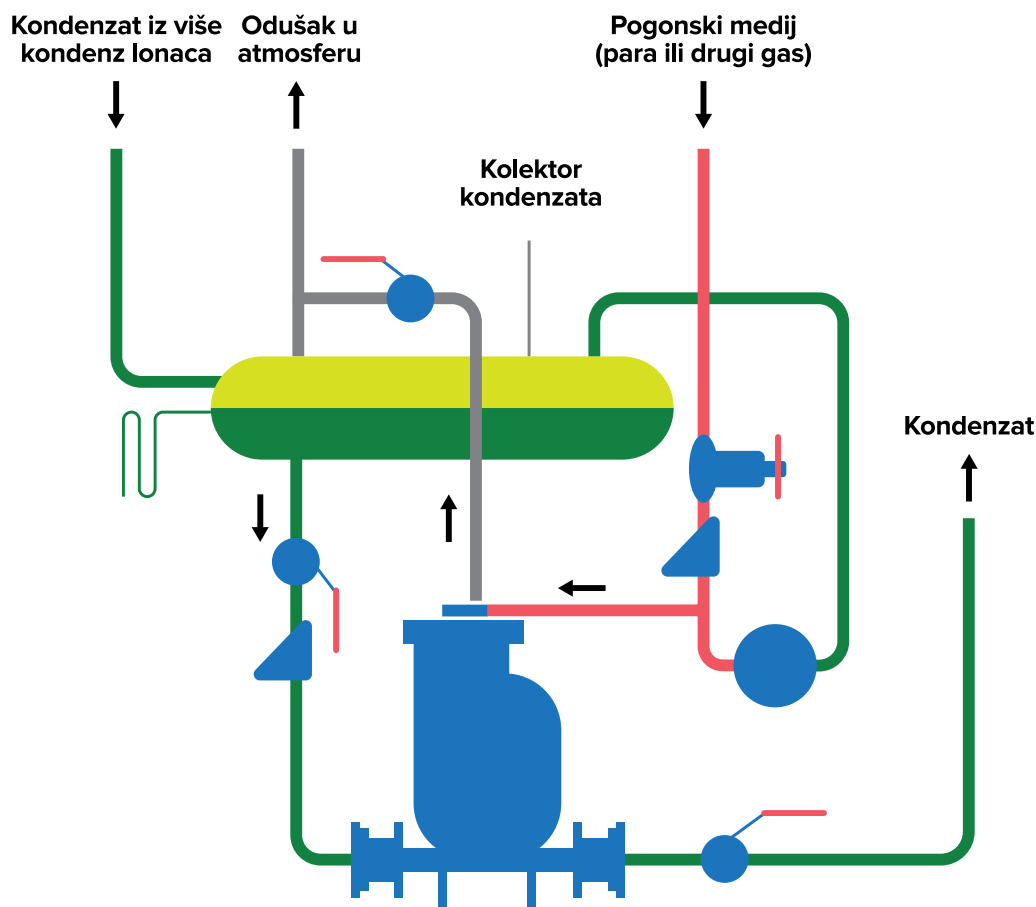
Povrat kondenzata predstavlja relativno veliki potencijal za uštedu energije unutar kotlovskog postrojenja. Kondenzat predstavlja akumuliranu toplotu i srazmjerno je potrebno 1% manje goriva za 6°C višu temperaturu u napojnom rezervoaru. S obzirom na to da kondenzat predstavlja hemijski pripremljenu vodu, u tom slučaju ne samo da se uštedi na cijeni vode već i na hemikalijama za pripremu i obradu vode [59].

Primjenom ove mjere pretpostavlja se postizanje uštede energije od 10% s periodom povrata investicije od 1,1 godinu [55]. Da bi se dostigao, a potom i održao visok nivo povrata kondenzata, prvenstveno je važan dobar izbor odvajača kondenzata.

Povrat kondenzata pomoću mehaničke kondenzacione pumpe doprinosi značajnoj energijskoj efikasnosti u industrijskim postrojenjima, jer se koristi energija koja bi inače bila nepovratno izgubljena u obliku topline (Slika 31).

Kondenzat koji nastaje kao rezultat hlađenja pare u industrijskom procesu prikuplja se na određenim mjestima, najčešće na nižim tačkama cjevovoda. Mehanička kondenzaciona pumpa aktivira se kako bi usisala kondenzat s prikupljenih mjesta i transportovala ga kroz cjevovode prema mjestu gdje će se koristiti ili ponovo upotrijebiti. Kondenzaciona

pumpa ima ulogu povećanja pritiska kondenzata, što olakšava usmjeravanje kondenzata tamo gdje je potrebno. Kondenzat se može koristiti u različite svrhe, poput grijanja vode, napajanja kotlova, ili čak za ponovnu upotrebu u samom procesu, što pomaže u smanjenju potrošnje svježe vode i energije. [60]



Slika 31. Princip povrata ukupnog kondenzata uz pomoć mehaničke kondenzacijske pumpe [58]

Primjer dobre prakse: Povećanje povrata kondenzata [61]

Analizom parnih sistema u proizvodnim pogonima kompanije, kao dijela programa energetske efikasnosti, došlo se do zaključka da bi, između ostalog, nadogradnja kondenzacijskog sistema omogućila povećanje povrata kondenzata. Dio kondenzata iz postrojenja nije vraćan zbog neispravnih pumpi i dotrajalih cjevovoda u srednjetačnom sistemu za povrat kondenzata. To je dovelo do povećanja potrošnje vode i energije.

Popravak vodova kondenzata i pumpnih stanica omogućio je povrat 15% više kondenzata, što rezultira godišnjom uštedom vode i energije od 14 miliona litara i više od 2.930 MWh, respektivno. Također, ušteda u novcu iznosi 77.188 eura godišnje.

Primjer dobre prakse: Povrat kondenzata [25]

Postrojenje za proizvodnju metala u SAD-u implementiralo je mjeru povrata kondenzata s početnim troškom od 2.604 eura. Postrojenje je na taj način ostvarilo godišnju uštedu od 1.664 eura, a utvrđeni period otplate je 1,6 godina.

4.6.5 Prilagođavanje omjera zraka i goriva

U gorioniku dolazi do miješanja goriva (tečnog ili plinovitog) sa zrakom, koji je neophodan za sagorijevanje. Rad industrijske peći ili kotla, efikasnost sagorijevanja kao i sastav dimnih plinova zavise od kvaliteta ovog miješanja. Ako odnos zraka i goriva nije optimalan, efikasnost industrijske peći ili kotla opada. Ako uđe premalo zraka u gorionik ili komoru za sagorijevanje, gorivo ne sagorijeva u potpunosti. Zbog toga se manje hemijske energije pretvara u toplotu i temperatura u industrijskoj peći, odnosno kotlu opada. Isti efekt izaziva i višak zraka.

Ako je samo dio zraka uključen u reakciju sagorijevanja, višak zraka snizit će adijabatsku temperaturu plamena dok se zagrijava u reakciji bez doprinosa oslobađanju toplote. Zbog toga je ključno osigurati da oprema radi s pravilnom mješavinom goriva i zraka kako bi se proces sagorijevanja odvijao efikasno i s minimalnim gubicima. To se posebno odnosi na industrijske procese, kao što su procesi u pećima, kotlovima ili motorima s unutrašnjim sagorijevanjem, gdje je važno postići visoku temperaturu plamena radi maksimalne efikasnosti i minimiziranja emisija štetnih tvari. Kontrola zraka za sagorijevanje i (viška) kisika kroz redovnu ili kontinuiranu analizu stvarne potrošnje goriva neophodna je za održavanje optimalnih uvjeta sagorijevanja. Naprimjer, prekomjerna količina plina u mješavini zrak-gorivo od 5 i 20% povećat će troškove goriva u peći za topljenje za 6 do 32% respektivno, dok će prekomjerna količina zraka u mješavini zrak-gorivo od 5 i 20% povećati troškove energije za 4 do 24%, respektivno [11].

Primjer dobre prakse: Prilagođavanje omjera zraka i goriva [60]

Postrojenje koje je lider u livenju, ekstrudiranju i proizvodnji aluminijskih proizvoda i pruža usluge širokom spektru tržišta izvršilo je reguliranje odnosa goriva i zraka s ciljem postizanja ušteda u energiji. Prilagođavanje omjera zraka i goriva u pećima postrojenja imalo je za rezultat godišnju uštedu energije od 2,2 GWh. Troškovi implementacije mjere bili su 9.000 eura, a period povrata investicije iznosio je dva mjeseca.

4.6.6 Izrada projekta sistema grijanja

Izradom odgovarajućeg projekta kojim bi se dimenzionirala kotlovnica i sistem grijanja koji odgovara namjeni i temperaturnom režimu moglo bi se značajno utjecati na operativne troškove rada takvog sistema. U ovom slučaju bilo bi potrebno izraditi projektну dokumentaciju koja će u potpunosti odgovarati potrebama kompanije, s aspekta režima rada i namjene. Ovo bi podrazumijevalo odgovarajuće tehničko rješenje kotlovnice na način da odabrani sistem u najvećoj mogućoj mjeri radi u optimalnom režimu, jer treba imati u vidu da kotlovi većih snaga mogu imati ograničen opseg modulacije, zbog čega je u suštini i važno izvršiti pravilan odabir. Također je neophodan detaljan projekt sistema grijanja, razvoda, eventualnih podstanica i odabira grijnih tijela koja najviše odgovaraju namjeni i režimu rada. Investicija u mašinski i elektro projekt kotlovnice i sistema centralnog grijanja trebala bi se kretati oko 5-6% u odnosu na ukupnu vrijednost investicije u sistem. Na osnovi iskustvenih podataka stečenih provedbom energijskih audita nedostatak projekta ili neadekvatan projekt koji bi vodio ka pogrešnom izboru opreme mogao bi povećati operativne troškove kotlovnice u odnosu na optimalno odabranu, u iznosu do 35%.

Primjer dobre prakse: Instaliranje novog kotla na drvo za grijanje proizvodnih hala [13]

Kompanija specijalizirana za proizvodnju metalnih konstrukcija i njihovih dijelova dosadašnje toplotne potrebe zadovoljavala je korištenjem dva različita kotla. Kotao na drvo, tipa EKO KOTAO NG 5, kapaciteta 500 kW, bio je instaliran u hali za pakovanje i montažu, dok se kotao na lož-ulje kapaciteta 350 kW nalazio u upravnoj zgradi. Kotao na lož-ulje snabdijevao je toplotnom energijom halu za mašinsku obradu i upravnu zgradu, dok su ostale proizvodne hale koristile kotao na drvo.

Nakon temeljne analize toplotnih potreba i izrade projekta sistema grijanja kompanija je zamijenila postojeći sistem grijanja. Instaliran je novi kotao koji koristi drvo kao energent, kapaciteta 950 kW, tip EKO KOTAO NG 9.5, i koji je u potpunosti zamijenio postojeći kotao na lož-ulje. Ova mjera također je obuhvatala neophodne radove za rekonstrukciju postojeće hidraulične instalacije te ugradnju dimovodnog sistema novog kotla.

Osim navedenih promjena implementiran je sistem koji uključuje dva ciklona s ventilatorom za otpeljeljavanje, kao i kotlovsku automatiku koja regulira rad ciklona, kotlovskih pumpi i slično.

Ukupna investicija za implementaciju ovih promjena iznosila je 66.100 eura. Kombinirajući ostvarene uštede od 6.033 eura godišnje do sada očekuje se da će se period povrata investicije kretati oko 11 godina. Implementacijom ovih mjera značajno je smanjen ugljični otisak kompanije za 18,43 tona godišnje.

4.7 CIRKULARNOST OTPADNE TOPLOTE

Cirkularnost otpadne toplote predstavlja pristup održivijeg i efikasnijeg korištenja energije u industrijskim procesima, s fokusom na ponovnoj upotrebi i iskorištavanju toplote koja bi inače bila izgubljena. Procjenjuje se da se 20–50% industrijske energije gubi kao otpadna toplota u obliku vrućih ispušnih plinova, rashladne vode ili gubitka toplote s površina opreme i zagrijanih predmeta. Svaki industrijski proces koji koristi toplotu može smanjiti potrošnju energije ili korištenjem izmjenjivača toplote za prijenos toplote s jednog medija na drugi omogućavajući da se toplota koja bi inače bila izgubljena ponovo koristi, ili, ako je temperatura dovoljno visoka, za proizvodnju električne energije. Iskorištavanje otpadne toplote iz tehnoloških procesa predstavlja važnu mjeru energijske efikasnosti, međutim prije implementacije mjere potrebno je detaljno provjeriti mogućnost izvođenja i isplativost mjere. Rekuperacija toplote može se vršiti iskorištavanjem:

- otpadne toplote vrelog zraka ili plinova ugradnjom izmjenjivača toplote,
- otpadne toplote rashladnog postrojenja,
- toplote otpadnih voda,
- toplote pri odmuljivanju i
- toplote vode kojom se hlade kompresori [46].

Prepoznavanje i iskorištavanje ovih izvora otpadne toplote pruža velike mogućnosti za povećanje energijske efikasnosti u industriji, što rezultira smanjenjem troškova energije, optimizacijom resursa i smanjenjem emisija stakleničkih plinova tokom industrijskih

procesa. Sljedeći primjer ilustrira kako se ugradnjom dodatnog izmjenjivača toplote može poboljšati rekuperacija toplote u sistemu.

Primjer dobre prakse: Povećanje površine razmjene toplote s dodatnim izmjenjivačem [63]

Valjaonica koja je već koristila rekuperator za predgrijavanje zraka za sagorijevanje na temperaturi od 370°C do 450°C povećala je površinu razmjene toplote na 560 m² ugradnjom dodatnog izmjenjivača toplote površine 365 m². Veća površina za razmjenu toplote omogućila je zagrijavanje zraka za sagorijevanje na višu temperaturu (480–490°C).

Kao rezultat toga povećan je prijenos toplote za 400 kW. Poboljšanjem rekuperatora smanjili su se troškovi energije, a mjera je imala period povrata kraći od dvije godine. Ovaj primjer pokazuje da je rekuperacija otpadne toplote, koja bi inače bila izgubljena, mjera koju uvijek treba provoditi kada je to moguće.

4.7.1 Cirkularnost otpadne toplote kompresora (rekuperacija)

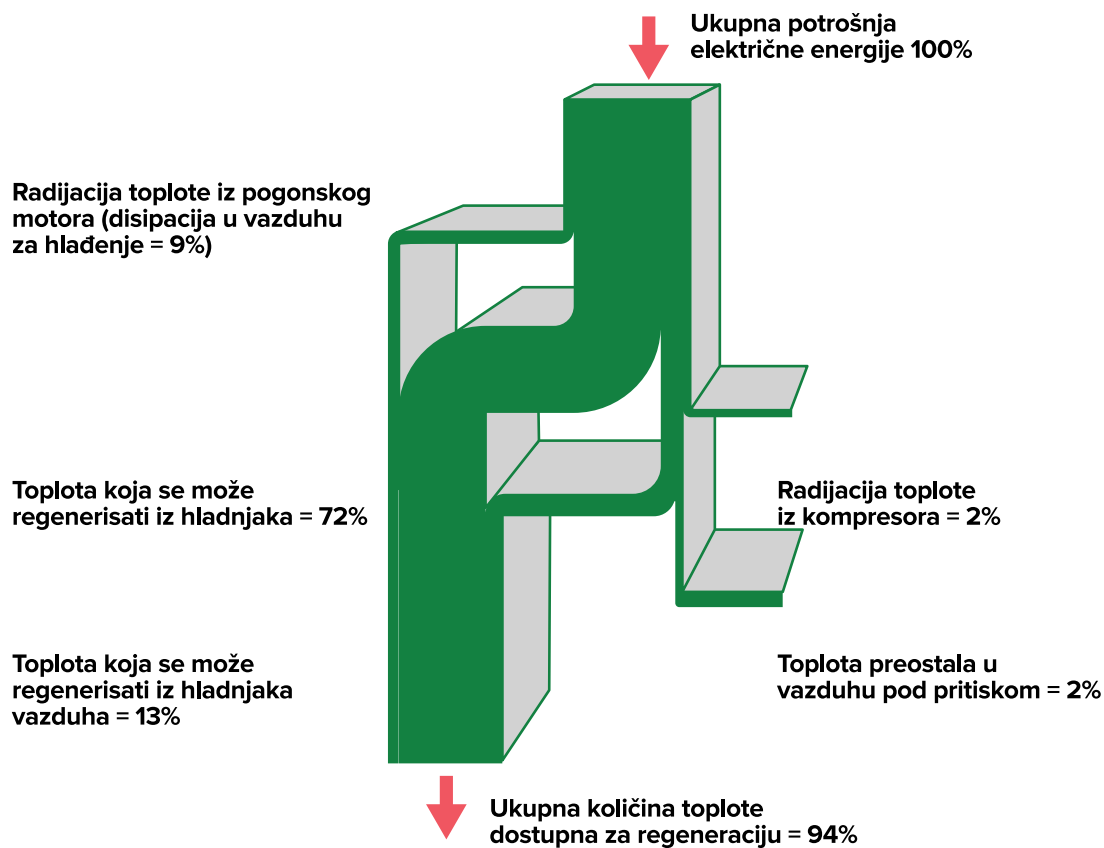
Cirkularnost otpadne toplote kompresora odnosi se na integrirani pristup ponovne upotrebe ili iskorištavanja toplote koja se oslobađa kao nusprodukt tokom rada kompresorskog sistema. Ovaj koncept ima za cilj smanjenje gubitaka energije i povećanje energijske efikasnosti sistema kroz različite strategije za ponovnu upotrebu otpadne toplote. Približno 70–80% električne energije koju koristi industrijski kompresor pretvara se u toplotu. Ovaj značajan postotak toplotne energije, koja bi inače bila izgubljena, pruža veliki potencijal za iskorištavanje i ponovnu upotrebu. Potencijal za iskorištavanje toplote koja se uklanja hlađenjem zraka tokom kompresije iznosi od 50 do 90%. Najviše energije moguće je rekuperirati vijčanim, a najmanje klipnim kompresorima. Ova energija može se koristiti za niskotemperaturne primjene poput zagrijavanja napojne vode kotla, sanitarne vode i slično. Također se otpadna toplota kompresora može koristiti za grijanje prostorija u objektima i time se dovodi do smanjenja korištenja drugih energenta za grijanje. Prema iskustvenim podacima korištenjem otpadne toplote s kompresora godišnje se može uštedjeti do 20% toplotne energije koja se koristi za grijanje prostorija [25]. Struktura gubitaka u tipičnom kompresorskom sistemu prikazana je na Slici 32.

Ugradnjom rekuperatora toplote neophodno je osigurati nesmetano hlađenje zraka kompresora, ne ograničavajući protok zraka za njegovo hlađenje.

Otpadna toplota kompresora može se iskoristiti na dva načina:

- direktno, putem odsisnog kanala
- putem izmjenjivača toplote.

Korištenjem zagrijanog zraka iz kompresora susjedne prostorije u kompaniji mogu se jednostavno i efikasno zagrijavati putem direktnog odvođenja ispušnog zraka. Na taj se način može ponovo iskoristiti do 90% električne energije isporučene kompresoru – ili za potrebe grijanja neke prostorije ili za upotrebu kao procesna toplota [30]. Kako bi se topao zrak usmjerio prema željenim područjima, kao što su radni prostori, skladišta ili procesne zone koriste se odsisni kanali. Investicija bi se u ovom slučaju sastojala od kanalske mreže, koja bi povezivala kompresorsku stanicu s prostorijom koja se želi zagrijavati, s pripadajućim ventilatorom, rešetkama i klapnama (Slika 33).



Slika 32. Struktura gubitaka u tipičnom kompresorskom sistemu [26]



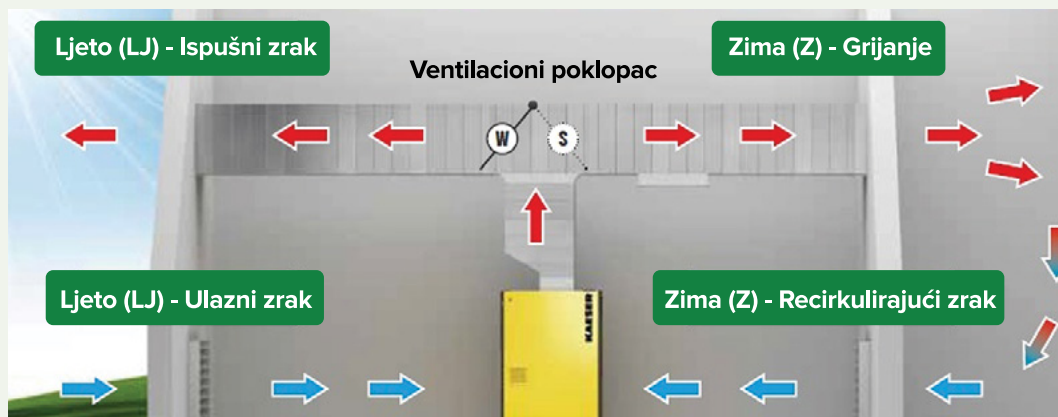
Slika 33. Iskorištavanje otpadne toplote s kompresora putem kanala za odsis toplog zraka [31]

U nastavku je dat primjer direktnog iskorištavanja otpadne toplote kompresora za zagrijavanje proizvodne hale.

Primjer dobre prakse: Rekuperacija otpadne toplote kompresora [14]

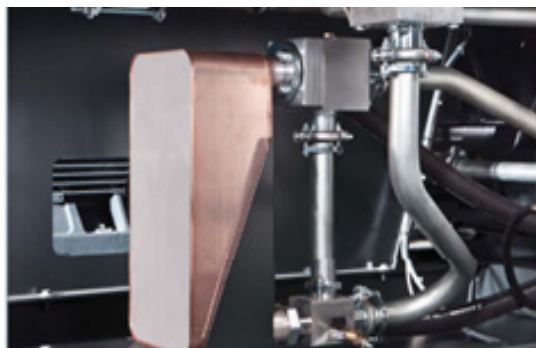
Kompanija koja se bavi proizvodnjom različitih komponenti za potrebe industrije elektroautomobila kao i za industriju kućanskih aparata, ručnog alata itd. ugradila je sistem direktne upotrebe otpadne toplote s kompresora za potrebe zagrijavanja proizvodne hale. Procijenjena investicija u ovom slučaju iznosila je 1.023 eura s obzirom na to da se kompresorska stanica nalazila veoma blizu prostorije koja se željela zagrijavati, te je bila potrebna izrazito mala dužina ventilacijskog kanala. Investicija se u ovom slučaju sastojala od kanalske mreže, kojom je povezivana kompresorska stanica s prostorijom koja se želi zagrijavati, s pripadajućim ventilatorom, rešetkama i klapnama (poklopcima). Zrak s kompresora usmjeren je putem regulacijskih žaluzina postavljenih na distributivnom kanalu. Na distributivnim kanalima instalirane su klapne putem kojih se zrak usmjerava i ide ili u proizvodnu halu ili izvan objekta u ljetnom periodu (Slika 34).

Na ovaj način smanjeni su ukupni troškovi za grijanje za oko 1.329 eura, što znači da je povrat ove investicije jedna sezona grijanja.



Slika 34. Iskorištavanje otpadne toplote kompresora putem ventilacijskog kanala [30]

Pored ugradnje odsisnih kanala povećanje energijske efikasnosti sistema može se postići i ugradnjom izmjenjivača toplote tipa ulje-voda (najčešće pločastog). Ugradnjom izmjenjivača toplote tipa ulje-voda, postiže se efikasan prijenos toplote s kompresorskog sistema na vodu, čime se smanjuje potrošnja energije i poboljšava ukupna energijska efikasnosti industrijskog postrojenja (Slika 35). Na ovaj se način može preuzeti toplotna energija s ulja te zagrijati potrošna topla voda (PTV). Nakon hlađenja ulja opet prolazi kroz hladnjak, kako bi došlo do potpunog hlađenja ulja na potrebnu temperaturu.



Slika 35. Prikaz IT za iskorištavanje toplote ulja [30]

Ugradnjom IT ulje-voda moguće je koristiti dostupnu toplotnu energiju ulja tokom čitave godine, odnosno u zavisnosti od toga kolike su potrebe za PTV.

Također je prethodno prikazane mjere energijske efikasnosti moguće i kombinirati, odnosno objediniti u jednu mjeru, kako bi došlo do maksimalnog iskorištavanja toplotnog potencijala kompresora.

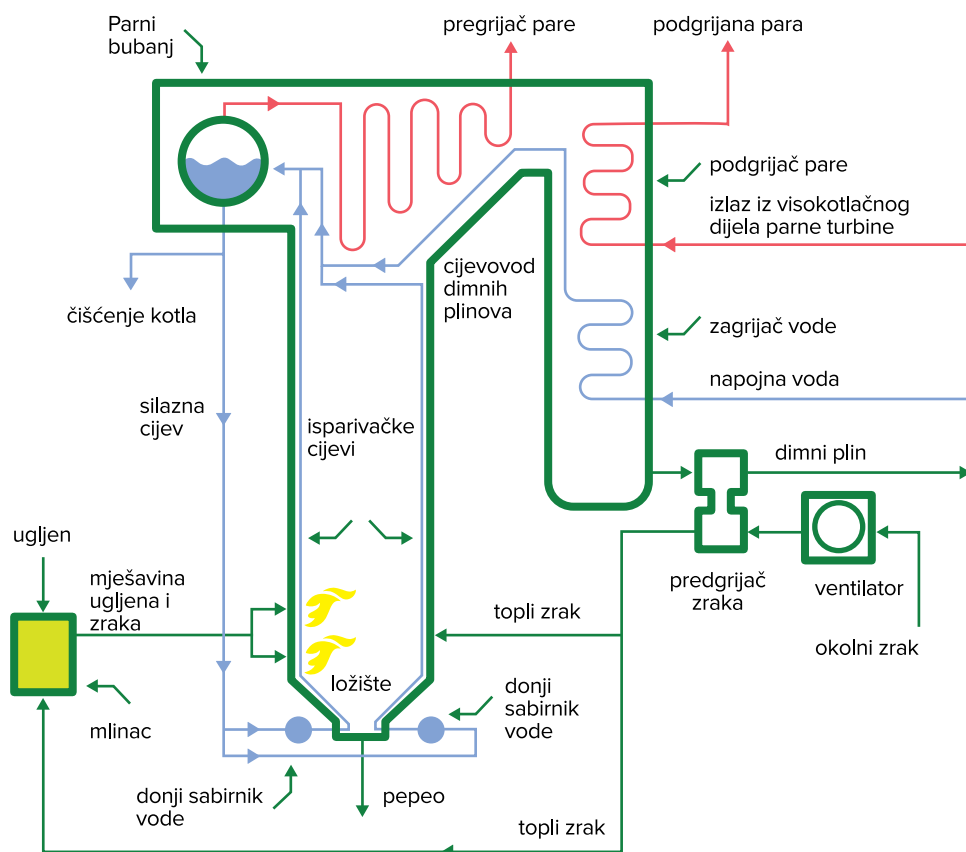
4.7.2 Ugradnja ekonomajzera i predgrijača zraka

Dobivena toplota iz produkata sagorijevanja može se upotrijebiti za zagrijavanje napojne vode putem ekonomajzera ili za zagrijavanje zraka putem predgrijača zraka koji bi se zatim koristio u procesu sagorijevanja. Ekonomajzer se može koristiti kod svih vrsta parnih kotlova za predgrijavanje kotlovske napojne vode. Zagrijač vode ili ekonomajzer smješta se u stražnji dio generatora pare tako da se iskorištava dio toplote koja bi se inače ispustila u okoliš. Ugradnjom ekonomajzera postiže se snižavanje temperature izlaznih dimnih plinova, što dodatno povećava stepen iskorištenja kotla i smanjuje troškove goriva. Ugradnjom ekonomajzera može se smanjiti upotreba goriva i do 10%. Manja potrošnja goriva omogućava dodatno smanjenje emisija CO₂, a na taj način smanjuje se i zagađenje okoliša. Povećanje temperature napojne vode za 10°C dovodi do povećanja efikasnosti za 2%. U većini slučajeva period povrata ulaganja u ugradnju ekonomajzera iznosi od 2 do 5 godina [24], [64].

Na primjeru toplovodnog kotla snage 2,8 MW, koji kao gorivo koristi prirodni plin, ugradnjom ekonomajzera postignuto je povećanje stepena iskorištenja kotla od 2,1 do 5,8% u zavisnosti od temperature povratne vode na ulazu u ekonomajzer, koja se kretala u rasponu od 41 do 53°C. U zavisnosti od vrste materijala od kojeg je ekonomajzer izrađen i temperature dimnih plinova na izlazu iz ekonomajzera prost period otplate investicije kreće se u granicama od 500 do 3.000 radnih sati [65].

Posljednji u generatoru pare su zagrijači zraka koji su ujedno smješteni iza zagrijača napojne vode. Predgrijač zraka za sagorijevanje je izmjenjivač toplote koji zagrijava zrak za sagorijevanje korištenjem toplote ispušnih plinova koji napuštaju kotao, industrijsku peć ili druge energetske, metalurške, hemijske i ostale uređaje. Pošto rade na manjim pritiscima za razliku od ekonomajzera, manji su svojom konstrukcijom. Osnovne funkcije predgrijača zraka su povećanje stepena iskorištenja kotla, sušenje goriva i poboljšanje procesa sagorijevanja. Preko 70% svih zagrijača zraka su rotacijski zagrijači sastavljeni od limenih saća koji se griju dimnim plinovima, a hlade zrakom. Povećavanjem temperature zraka za 20°C, koji se potom koristi za sagorijevanje goriva, maksimizira se efikasnost sagorijevanja za oko 1%. Period povrata investicije ulaganjem u ugradnju predgrijača zraka obično je u rasponu od 3 do 6 godina [64], [65].

Na Slici 36 ispod prikazani su glavni dijelovi generatora pare, na kojoj se između ostalog mogu vidjeti ekonomajzer (zagrijač vode) i predgrijač zraka.



Slika 36. Glavni dijelovi generatora pare koji koristi ugalj kao gorivo [66]

U nastavku se daje primjer primjene ekonomajzera na vrelovodnom kotlu u sistemu daljinskog grijanja, koji je u potpunosti referentan primjer za vrelovodne kotlove koji se koriste u metaloprerađivačkoj industriji.

Primjer dobre prakse: Ugradnja ekonomajzera na vrelovodnom kotlu u sistemu daljinskog grijanja [65]

Na vrelovodnom kotlu korištenom za grijanje grada snage 116 MW, koji kao gorivo koristi prirodni plin, ugrađen je dodatni izmjenjivač toplote (ekonomajzer) nominalne snage 6 MW za iskorištavanje otpadne toplote dimnih plinova. Ekonomajzer je izrađen od spiralno orebrenih cijevi $\varnothing 38 \times 3,2$ mm od čelika P235GH (Č.1214).

Cijevi su postavljene u šahovskom rasporedu, čime je postignut visok koeficijent prijelaza toplote prinudnom konvekcijom. Rezultat toga je snižavanje temperature dimnih plinova na izlazu iz kotla do 70°C. Napajanje ekonomajzera vodom vrši se iz toplovodne mreže, pri čemu se temperatura vode na ulazu u ekonomajzer održava na 65°C, dok je projektirana temperatura vode na izlazu iz ekonomajzera 100°C.

Na osnovi mjerenja proizvedene toplotne energije na ekonomajzeru u dvije grijne sezone (2013/2014. i 2014/2015.) došlo se do zaključka da je ekonomajzer radio ukupno 5.600 h i proizveo 15.173 MWh toplotne energije na račun hlađenja dimnih plinova. Prosječne godišnje uštede u potrošnji prirodnog plina koje su postignute ugradnjom ekonomajzera su 892.529 m³. Uštede u troškovima za energente na godišnjem nivou iskazane u novčanim jedinicama iznose 304.220 eura. Ukupni investicijski troškovi ugradnje ekonomajzera iznosili su 0,56 mil. eura, dok je period povrata investicije procijenjen na dvije godine.

4.7.3 Iskorištavanje otpadne toplote kogeneracijom

Pod pojmom kogeneracije (engl. Combined Heat and Power – CHP) podrazumijeva se istovremena proizvodnja dva transformirana oblika energije: toplotne i električne. U industrijskim postrojenjima, gdje istovremeno postoji potreba za toplotnom i električnom energijom, najjednostavniji je i najčešći način snabdijevanja ovim oblicima energije da se toplotna energija proizvodi u kotlovnica, a električna energija preuzima iz javne mreže. Međutim, znatno je efikasnija zajednička proizvodnja toplotne i električne energije u kogeneracijskim parno-turbinskim postrojenjima.

Osnovni faktori koji određuju primjenu CHP-postrojenja su:

- Podudaranje potreba za električnom i toplotnom energijom,
- Odnos cijene električne energije i primarnog goriva (što je veća razlika između troškova za kupovinu električne energije iz mreže i troškova primarnog goriva, to je veća korist pri primjeni CHP-postrojenja),
- Trajanje rada CHP-postrojenja (od ukupno 8.760 h/godišnje neophodno je da CHP-postrojenje radi minimalno 3.000 h/godišnje; što je broj sati rada veći, to je isplativost ulaganja u implementaciju CHP-postrojenja veća) [68],
- Razlika u troškovima instalacije (što je niža razlika između troškova instalacije CHP-postrojenja i konvencionalnog sistema, to su veće uštede pri implementaciji CHP-postrojenja),
- Značaj potrebe za kvalitetom električne energije i sigurnosti u njenom kontinuiranom snabdijevanju,
- Veličina potrošača.

Generalno, osnovne prednosti CHP-postrojenja su [69]:

- Manji troškovi za energiju (usljed povećane efikasnosti iskorištenja goriva i smanjenja utroška energije),
- Povećana sigurnost i pouzdanost snabdijevanja električnom energijom,
- Pобољшани kvalitet okoliša (korištenjem CHP-postrojenja dolazi do bolje iskorištenosti primarnog goriva, što rezultira smanjenjem emisija plinova staklene bašte (GHG) i emisije NO_x (azotni oksid) koji predstavljaju glavne onečišćivače atmosfere),
- Toplotna energija koja se proizvodi kao nusproizvod u CHP-postrojenjima često se može koristiti za industrijske procese ili grijanje što dodatno povećava ukupnu energijsku efikasnost,
- Očuvanje prirodnih resursa,
- Podrška infrastrukturi lokalne mreže (manje ograničavanje transmisije i distribucije, odložene skupe nadogradnje lokalne mreže i stabilnost cijena),
- Formiraju se decentralizirane forme proizvodnje električne energije.

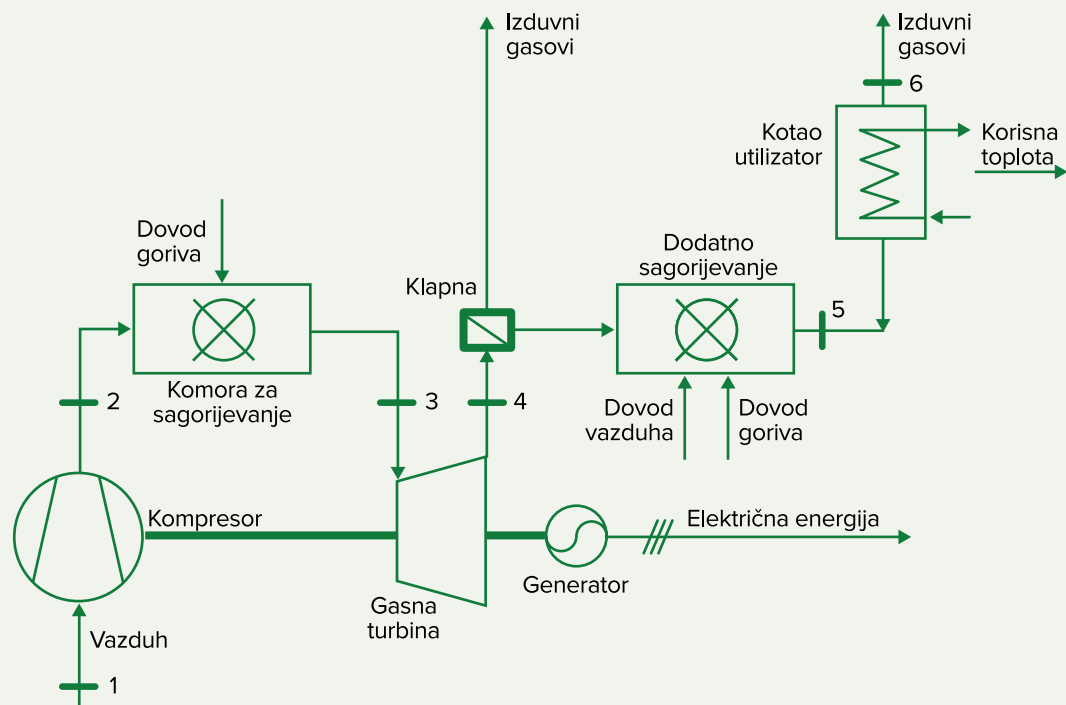
Ako se na kogeneracijskom postrojenju proizvodi višak energije, proizvedena električna energija može se isporučivati prijenosnoj elektromreži po otkupnim cijenama definiranim

važecim propisima. Informacije o otkupnim cijenama mogu se naći na stranicama entitetskih regulatornih agencija za energetiku.

Primjer dobre prakse: Instalacija CHP-postrojenja [14]

Kompanija specijalizirana za proizvodnju aluminijskih profila za razne industrijske branše prepoznala je da u toku rada peći za zagrijavanje trupaca nastaju velike količine otpadne toplote. Naime, radna temperatura peći za zagrijavanje trupaca iznosi od 400 do 450°C, međutim gorionici su proizvodili toplotu na višem temperaturnom nivou, koju je zatim bilo potrebno sniziti i oduzeti iz procesa kako bi se postigla optimalna radna temperatura peći. Ova peć koristila je ukapljeni naftni plin (UNP) kao pogonsko gorivo. U cilju smanjenja ukupnih troškova za energiju kompanija je instalirala mini kogeneracijsko postrojenje (CHP) na plin (Slika 37). Na ovaj način dio plina koji je koristila instalacijska jedinica (peć za trupce) preusmjeren je za proizvodnju električne energije u CHP-sistemu s plinskom turbinom, a toplota ispušnih plinova iz tog procesa iskoristila se za zagrijavanje peći. Investicija u ovo CHP-postrojenje na peći za trupce iznosila je 15 mil. eura. CHP-postrojenje s plinskom turbinom na peći za trupce proizvodi godišnje 21.100 MWh električne energije i 43.000 MWh toplotne energije.

S obzirom na ukupno ostvarene uštede u proizvodnji električne i toplotne energije u iznosu od 4,84 milion eura, period povrata investicije iznosio je 3,1 godinu.



Slika 37. Shema CHP-postrojenja s plinskom turbinom [69]

4.7.4 Energija dobivena toplotnim pumpama

Toplotna pumpa je uređaj pomoću kojeg se toplotna energija prenosi s toplotnog rezervoara niže temperature (toplotni izvor) na rezervoar više temperature (toplotni ponor). Kao izvor toplote može poslužiti toplota zemlje, vode, zraka ili različiti izvori otpadne toplote. Za taj prijenos toplotne energije troši se mnogo manje energije od one koja se prenosi, čime se osigurava visoko efikasno grijanje i hlađenje. Uz pomoć toplotne pumpe moguće je da se uložnim radom u kružnom procesu oduzme toplota od okoliša da bi se ona na višem temperaturnom nivou koristila za grijanje, pri čemu je količina toplote mnogostruko veća od toplotnog ekvivalenta utrošenog rada tj. električne energije. Primjera radi, za svaki potrošeni kilovatsat električne energije dobiva se od tri do pet kilovatsati toplotne energije ili rashladne energije ljeti. Toplotna pumpa obično se sastoji od dvije osnovne komponente: vanjske i unutrašnje jedinice. Vanjska jedinica obično sadrži kompresor, kondenzator i ventilator, dok unutrašnja jedinica sadrži isparivač i ponekad ventilatorsku jedinicu za distribuciju toplog zraka unutar prostora. Postoji i monoblok izvedba toplotne pumpe, gdje su sve komponente smještene u jednoj jedinici. Ova varijanta uključuje kompresor, isparivač, kondenzator i ostale potrebne dijelove unutar iste vanjske jedinice. Toplotne pumpe mogu se koristiti i u kombinaciji s drugim vidovima grijanja, npr. solarnim grijanjem ili grijanjem na biomasu. Jedinična cijena toplotne energije dobivene pomoću sistema toplotne pumpe (zemlja-voda) je najjeftinija.

U poređenju s konvencionalnim sistemom grijanja energija dobivena toplotnom pumpom može biti [24]:

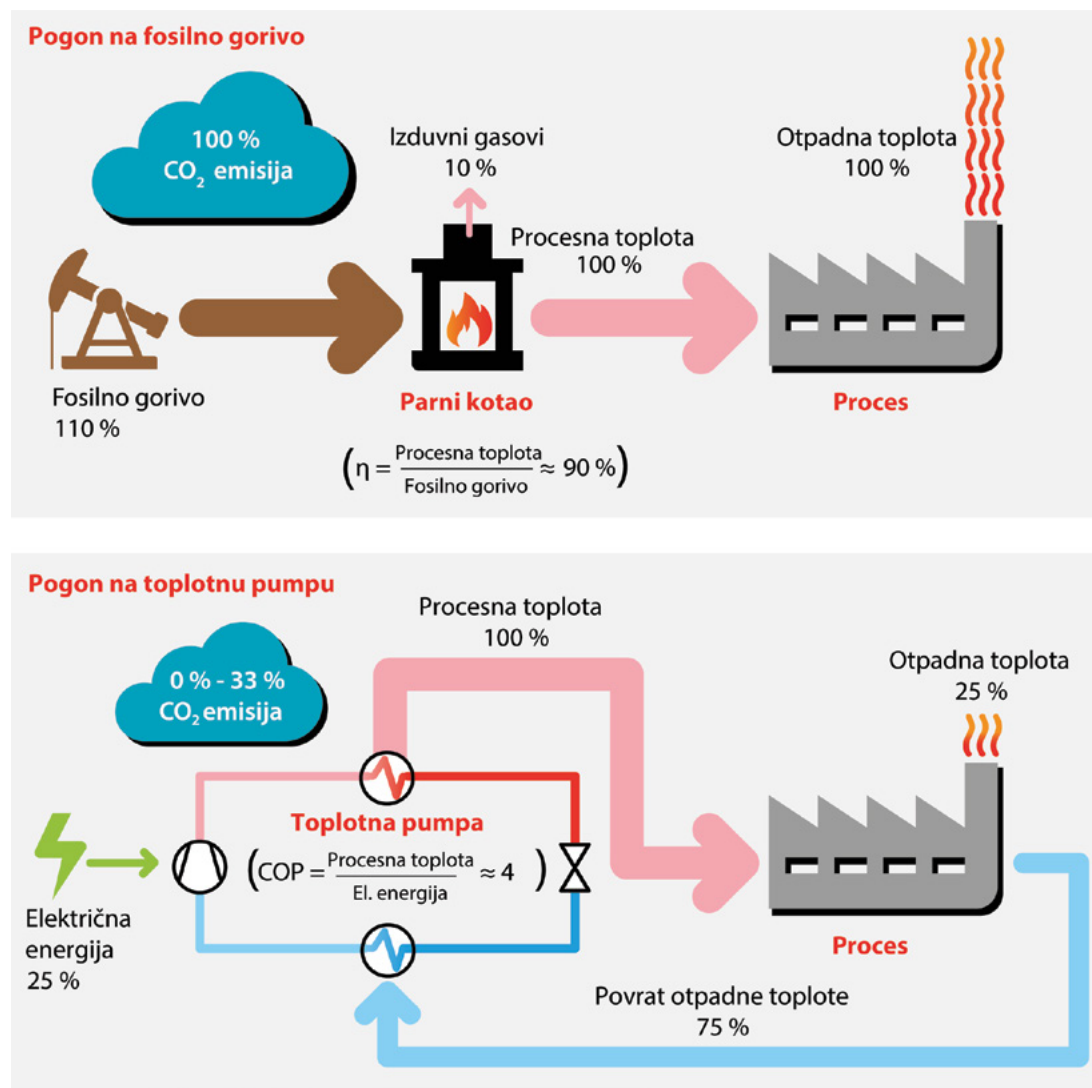
- jeftinija za oko 60% u odnosu na toplotnu energiju dobivenu konvencionalnim kotlom na plin,
- jeftinija za oko 50% u odnosu na toplotnu energiju dobivenu kondenzacijskim kotlom na plin,
- jeftinija za 80% u odnosu na toplotnu energiju dobivenu električnim kotlom.

Industrijska toplota i toplota dimnih plinova sa 25% je, pored komunalne otpadne vode (30%), najzastupljeniji toplotni izvor [69], [71].

Industrijske toplotne pumpe predstavljaju tehnologiju koja se može koristiti za povećanje temperaturnog nivoa otpadne toplote tako da se može ponovo koristiti u procesu uz dodatni unos električne energije. Na Slici 38 može se vidjeti uporedni dijagram toka energije za dva industrijska procesa. U jednom industrijskom procesu se koristi fosilno gorivo kao izvor energije a u drugom se koristi toplotna pumpa.

Proces pokretan fosilnim gorivom zahtijeva 110% toplote potrebne za proces, jer se nakon sagorijevanja otprilike 10% toplote gubi kroz dimne plinove u okoliš. Nakon iskorištavanja toplote u procesu temperatura je preniska da bi se ponovo upotrijebila i zato se cjelokupna toplota iz procesa (100%) oslobađa u okoliš u obliku otpadne toplote. Korištenjem toplotne pumpe za vršenje procesa toplota koja se odbacuje u okoliš smanjuje se u zavisnosti od koeficijenta performansi (engl. Coefficient of Performance -COP) pumpe, koji predstavlja važan parametar pri određivanju efikasnosti toplotne

pumpe. Ova vrijednost obično se kreće u rasponu od 2 do 5, ovisno o temperaturama otpadne i procesne toplote. Naprimjer, za proces koji koristi toplotnu pumpu kod koje je COP jednak 4, toplota koja se odbacuje u okoliš smanjuje se na 25%. Sa 75% ukupne otpadne toplote koja se ponovo koristi povećanjem njenog temperaturnog nivoa upotrebom toplotne pumpe isporučena procesna toplota (100%) premašuje uloženu električnu energiju (25%) [72].



Slika 38. Sheme industrijskog procesa pogonjenog fosilnim gorivom i toplotnom pumpom [72]

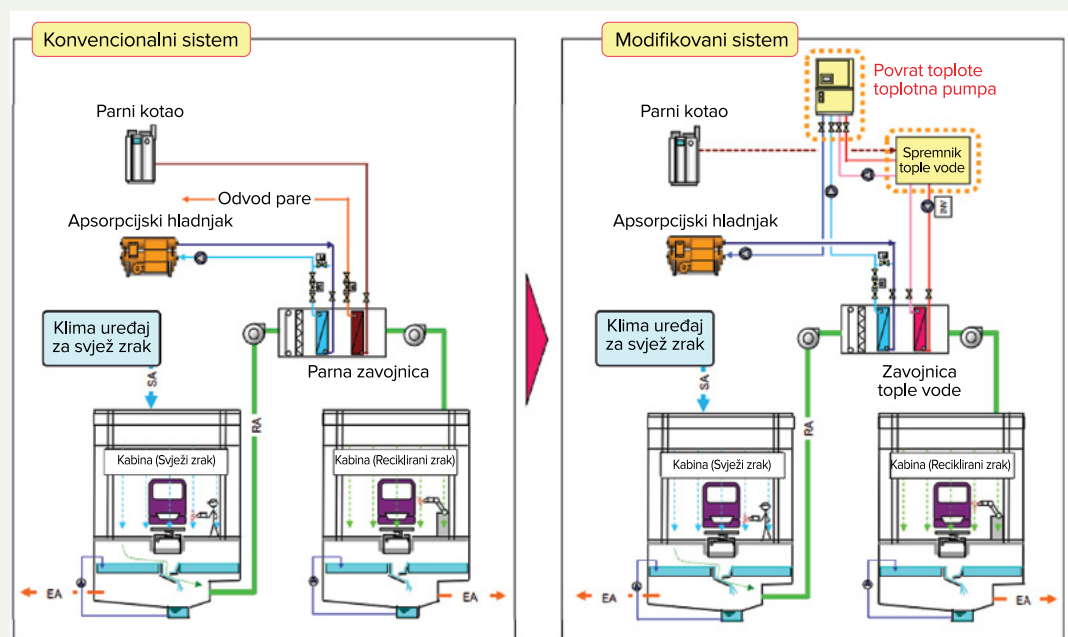
Primjer dobre prakse: Primjena toplotne pumpe u postrojenju za lakiranje [73]

U postrojenju za lakiranje kompanije koja se bavi proizvodnjom automobila značajan dio energije troši se na procese grijanja, hlađenja, rad električnih motora, osvjetljenja i dr. Općenito su primarni izvori energije u kompaniji bili prirodni plin i električna energija, a većina potreba za grijanjem i hlađenjem u procesu lakiranja zadovoljavala se upotrebom prirodnog plina. U cilju poboljšanja energijske efikasnosti i smanjenja ukupnih troškova energije kompanija je implementirala toplotnu pumpu zrak-voda.

Primjena toplotnih pumpi donosi tri ključne prednosti: mogućnost rekuperacije toplote, primjenu opreme visoke efikasnosti i istovremenu upotrebu toplotne pumpe za grijanje i hlađenje. U ovom slučaju primijenjena je istovremena upotreba toplotne pumpe zrak-voda za grijanje i hlađenje putem iskorištavanja otpadne toplote iz proizvodnog procesa nastale direktnim izgaranjem prirodnog plina.

Istovremena upotreba toplotne pumpe primijenjena je u procesima predobrade/elektrodepozicije, klimatizacije kabine te za brzo sušenje vodenih premaza. Najveće ostvarene koristi zabilježene su pri klimatizaciji kabine putem rekuperiranog zraka i za brzo sušenje vodenih premaza.

Korištenjem ove toplotne pumpe kompanija je postigla smanjenje troškova rada za 63% mjesečno, smanjenje emisija CO₂ za 47% mjesečno i smanjenje ukupne potrošnje energije za 49% mjesečno. Kao rezultat period povrata investicije bio je između 3 i 4 godine.



Slika 39. Grijanje i hlađenje postrojenja za lakiranje putem parnog kotla (lijevo) i nakon ugradnje toplotne pumpe (desno)

Na sljedećem primjeru ilustrirana je mogućnost uvođenja toplotnih pumpi u proces galvanizacije što kompanijama omogućava ostvarivanje značajnih ekonomskih i okolišnih prednosti, unapređujući energetska efikasnost i smanjujući negativni utjecaj na okoliš. Konkretno, u ovom primjeru demonstrira se kako toplotna pumpa efikasno koristi otpadnu toplotu generiranu tokom galvanskog procesa. Umjesto da se ta otpadna toplota gubi, ona se preusmjerava prema toplotnoj pumpi koja je koristi za zagrijavanje radnih prostora i drugih dijelova postrojenja. Ovaj integrirani pristup ne

samo da doprinosi održivosti procesa galvanizacije, već također rezultira optimizacijom resursa i smanjenjem troškova energije.

Primjer dobre prakse: Primjena toplotne pumpe u procesu galvanizacije [73]

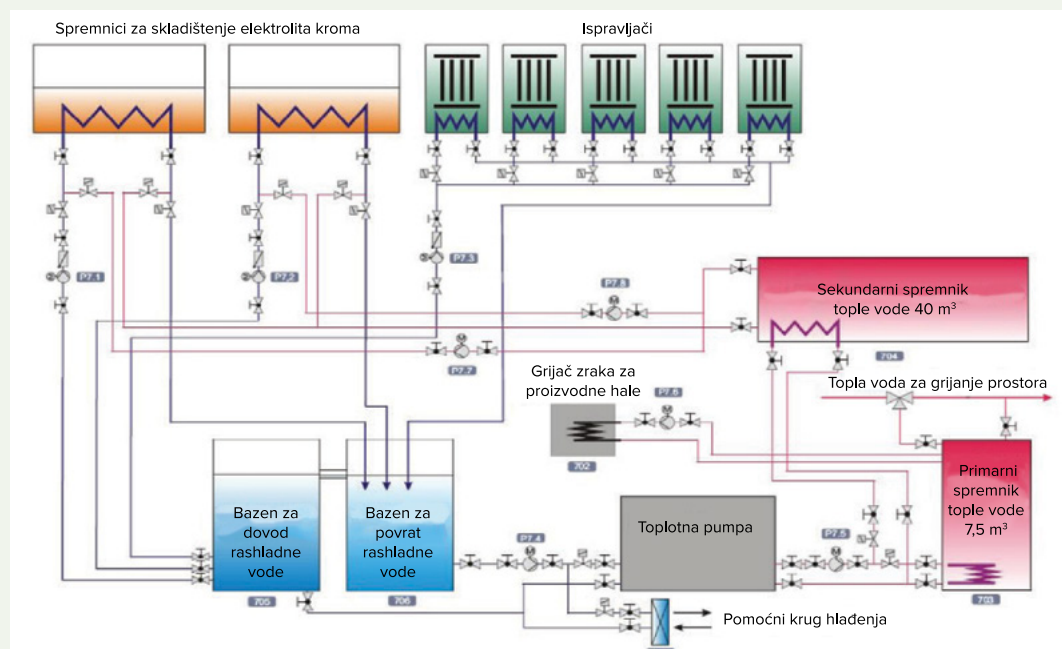
Kompanija za galvanizaciju koja nudi različite površinske tretmane posvećena je racionalnoj upotrebi energije u toku procesa galvanizacije. Razvila je novi koncept kromiranja kako bi unaprijedila energijsku efikasnost u poređenju s prethodnim načinom rada.

Općenito, uređaj za izvođenje galvanskih postupaka sastoji se od kupke s uronjenim elektrodama (anoda i katoda) povezanih s vanjskim izvorom galvanske struje. Obično se samo 20% električne energije koristi za stvaranje kromiranog premaza, dok se preostalih 80% pretvara u otpadnu toplotu. U postupku galvanizacije voda ima široku primjenu: za pripremu elektrolita, nadoknađivanje isparene vode iz kada za galvanizaciju, ispiranje i hlađenje.

Poboljšanjem procesa galvanizacije i uvođenjem toplotne pumpe koja koristi otpadnu toplotu iz procesa kompanija je unaprijedila ukupnu efikasnost ovog procesa na više od 90%. Kako bi se osigurao bolji kvalitet površinskih svojstava, temperatura kupke za galvanizaciju morala je biti podignuta na temperaturu višu od 60°C. S obzirom na znatnu količinu otpadne toplote koju je proces generirao, spremnici elektrolita i ispravljači struje hladili su se vodom. Nakon toga ta se voda vraćala u sabirni bazen na temperaturi od 60°C.

Budući da kompanija nema potrebe za tom količinom toplote, zagrijana voda iz bazena služi kao izvor toplote za toplotnu pumpu. Ova toplotna pumpa ima kapacitet grijanja od 143 kW i proizvodi toplu vodu od 75 do 80°C, koja se koristi za zagrijavanje prostorija u kompaniji i za snabdijevanje drugih linija za površinske tretmane.

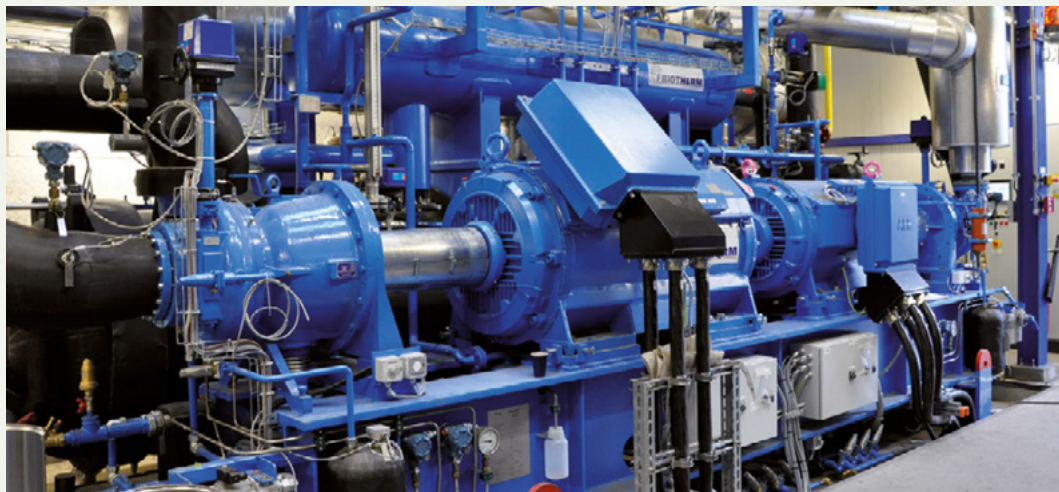
Primjenom toplotne pumpe pokriveno je 50% potreba za toplotnom energijom, čime je ostvarena godišnja ušteda od 150.000 litara ulja koje je ranije bilo korišteno za proces galvanizacije. Kompanija je izuzetno zadovoljna postignutim rezultatima te planira postaviti slične sisteme za rekuperaciju toplote u svoje druge linije za premazivanje. Pored toga, cijeli sistem dizajnirali su na način da i druge kompanije za galvanizaciju mogu prilagoditi ovaj sistem na svoj proizvodni proces bez kršenja vlasničkih prava ove kompanije.



Slika 40. Shema procesa galvanizacije s ugrađenom toplotnom pumpom

Primjer dobre prakse: Iskorištavanje otpadne topline primjenom toplotne pumpe [72], [74]

Kompanija koja se bavi proizvodnjom čelika u pogonu valjaonice instalirala je dvije toplotne pumpe koje mogu isporučivati toplotnu energiju na temperaturi do 95°C s toplotnim kapacitetom od 6 MW do 11 MW. Kao izvor topline koristi se otpadna toplota iz čeličane i valjaonice na temperaturi od 30°C do 35°C, koja bi inače bila oslobođena u okoliš. Efekti primjene toplotnih pumpi rezultirali su smanjenjem utroška fosilnih goriva ekvivalentnim 46 GWh i smanjenjem emisije CO₂ od 11.700 tona godišnje. Uspostavljena je saradnja s kompanijom koja pruža usluge daljinskog grijanja kako bi se višak topline isporučio u sistem daljinskog grijanja. Ovaj projekt pored ekonomskog značaja doprinio je i energijskoj sigurnosti lokalne zajednice.

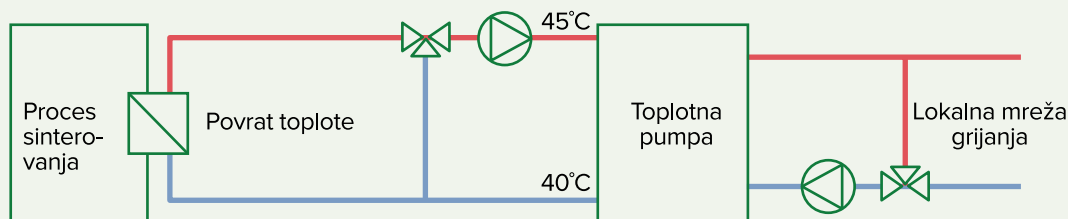


Slika 41. Toplotna pumpa instalirana u čeličani i valjaonici

Sljedeći primjer ilustrira integraciju toplotne pumpe u proces sinterovanja.

Primjer dobre prakse: Primjena toplotne pumpe za korištenje otpadne topline iz peći za sinterovanje [72], [73]

U tvornici za preradu metala instalirana je visokotemperaturna kompresijska toplotna pumpa koja koristi otpadnu toplotu iz proizvodnih procesa (peći za sinterovanje) za dovod topline u vlastitu mrežu grijanja kompanije. Toplotna pumpa, koja je ugrađena 2013. godine, ima kapacitet grijanja od 380 kW i kapacitet hlađenja od 287 kW. Temperatura otpadne topline od 45°C povećava se na 90°C, što predstavlja radnu temperaturu mreže daljinskog grijanja. Rekuperacija topline koristi se tokom cijele godine. COP toplotne pumpe je 4,24 za grijanje. Potrošnja toplotne energije metaloprerađivačkog postrojena iznosi 1.030 MWh/godišnje, a uštedena toplotna energija približno je 1.000 MWh/godišnje, što je ekvivalentno 50.000 eura. Ova mjera energijske efikasnosti za rezultat ima oko 300 tona uštede emisije CO₂ godišnje.



Slika 42. Integracija visokotemperaturne toplotne pumpe u proces sinterovanja

4.8 KORIŠTENJE SOLARNE ENERGIJE

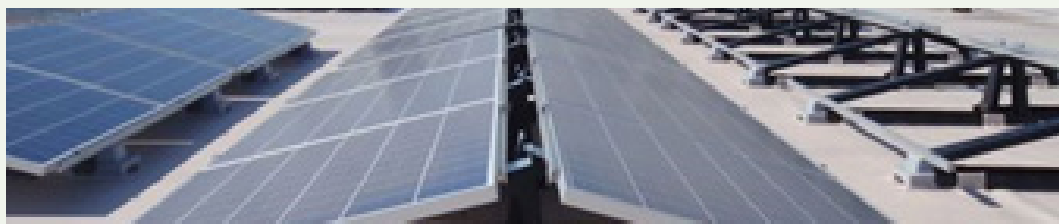
Energija sunčeve radijacije više je nego dovoljna da zadovolji sve veće energijske zahtjeve u svijetu. U toku jedne godine sunčeva energija koja dopire na zemlju 10.000 puta je veća od energije neophodne da zadovolji potrebe cjelokupne populacije naše planete.

Fokus energijske efikasnosti i obnovljivih izvora energije za vlastite potrebe je smanjenje potrošnje energije i troškova realizacijom određenih mjera uz zadržavanje ili povećanje nivoa komfora ili proizvodnju jednakog ili većeg broja proizvoda u određenoj djelatnosti. Jedna od takvih mjera jeste i instalacija fotonaponskih panela, odnosno izgradnja fotonaponske elektrane koja omogućava direktno pretvaranje energije sunca u električnu energiju. Fotonaponski sistem se u pravilu sastoji od fotonaponskih modula, regulatora napona, izmjenjivača (inverter ili DC/AC pretvarač), konstrukcije i solarnih kablova (kablovi istosmjernog i naizmjeničnog razvoda). Fotonaponski moduli sastoje se od nekoliko monokristalnih, polikristalnih ili amorfni silicijskih solarnih ćelija. Obzirom da jedna solarna ćelija daje napon od oko 0,5 V, rijetka je upotreba samo jedne ćelije. Zbog toga se kao osnovni blok kod fotonaponskih sistema koristi fotonaponski modul (panel) koji se sastoji od niza serijski spojenih fotonaponskih ćelija, postavljenih u kućište koje je otporno na vremenske uvjete. Fotonaponski moduli proizvode istosmjernu struju i to obično s naponom od 12 ili 24 V. Fotonaponski sistemi se mogu podijeliti u dvije osnovne grupe: autonomni (samostalni sistemi bez spoja na mrežu – *engl. stand-alone ili off-grid*) i mrežni (sistemi spojeni na mrežu – *engl. Grid connected ili on-grid*).

Prvu grupu fotonaponskih sistema čine sistemi koji nisu priključeni na mrežu, a mogu biti sa ili bez pohrane energije, što ovisi o vrsti primjene i načinu potrošnje energije, te hibridni sistemi koji mogu biti s vjetroagregatom, kogeneracijom ili dizelskim generatorom. Drugoj grupi pripadaju danas sve rasprostranjeniji i savremeniji, mrežni sistemi, koji proizvedenu električnu energiju predaju u elektroenergetski sistem. Za sistem snage 1 kW potrebna je površina od oko 10 m². [76]

Primjer dobre prakse: Ugradnja fotonaponskih panela na krov hale [13]

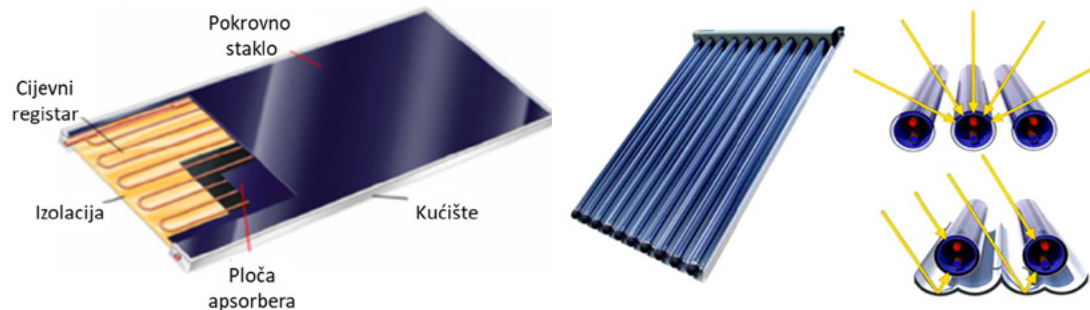
Kompanija čija je osnovna djelatnost proizvodnja inoks i čeličnih dijelova za industriju namještaja kao i drugih čeličnih potkonstrukcija u oktobru 2022. godine počela je upotrebljavati vlastitu električnu energiju proizvedenu u fotonaponskoj elektrani snage 240 kW, instaliranoj na krovnim površinama proizvodnih hala. Uzimajući u obzir da je kompanija značajan potrošač električne energije, u cilju ostvarivanja dodatnih ušteda u troškovima električne energije kao i smanjenja karbonskog otiska kompanije odlučili su instalirati dodatnih 100 kW na neiskorištene krovne površine. Kompanija je proizvela 114 MWh iz obnovljivih izvora, čime je smanjila karbonski otisak za 85 t godišnje. Proračun je pokazao da je period povrata investicije oko 11 godina, međutim treba očekivati da će se ovaj period smanjiti usljed očekivanog rasta cijena električne energije u BiH u narednom periodu.



Slika 43. Solarni paneli na krovu hale

Sunčeva energija može se iskoristiti i za grijanje sanitarne vode koja je potrebna u domaćinstvima ili u poslovanju poduzeća. Postoje različite konstrukcije solarnih kolektora, a najčešće se koriste ravni pločasti i vakuumski solarni kolektori. Klasični, tj. ravni pločasti kolektori najpovoljniji su zbog cijene i zbog jednostavne konstrukcije, ali u hladnijim periodima godine imaju manju efikasnost zbog toplotnih gubitaka. Za takve periode korisniji su vakuumski kolektori, koji se sastoje od vakuumskih staklenih cijevi u kojima je smještena apsorpcijska površina. Ravni pločasti kolektori sastoje se od: cijevi (obično bakarnih) kroz koje struji radni fluid, aluminijskog kućišta, termoizolacije (najčešće mineralne vune), apsorbera (bakarne crno obojene ploče čvrsto vezane za cijevi) i staklene ploče s antireflekirajućim slojem. Kolektori se najčešće montiraju na krov pomoću jednostavnih metalnih nosača. Da bi se maksimalno iskoristilo Sunčevo zračenje, kolektor treba okrenuti prema jugu pod uglom od 45°. Poslije pločastih, najviše korišteni tipovi solarnih kolektora su vakuumski kolektori. Vakuumski kolektor je sastavljen od niza paralelnih staklenih cijevi unutar kojih je smješten apsorber. Razvijeni su kako bi se smanjili gubici s apsorbera na okoliš, što je učinjeno na način da je iz prostora između apsorbera i pokrovnog stakla izvučen zrak, odnosno kada se apsorber i cijevni registar montiraju u staklenoj cijevi, ona se vakumira i hermetički zatvori.

Odabir vrste i broja kolektora zavisi od nekoliko parametara: klimatskog područja (kontinentalni ili priobalni dio), zakrenutosti kolektora prema jugu i od horizontale, upotrebi kolektora (samo za PTV i/ili za dogrijavanje prostora), godišnjeg doba upotrebe kolektora, zapremine bojlera/akumulacijskog spremnika i željene temperature u bojleru/spremniku. [77]



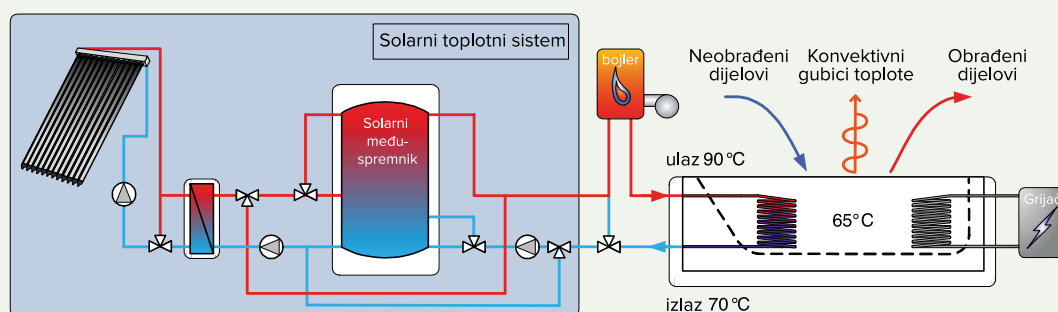
Slika 44. Solarni kolektori: pločasti i vakuumski [78]

Primjer dobre prakse: Primjena vakuumskih solarnih kolektora u površinskoj obradi i grijanju kupke u procesu galvanizacije [79]

Metaloprerađivačka kompanija koja se bavi proizvodnjom brava, okova i šarki više od 125 godina, ugradnjom novog sistema grijanja u 2004. godini smanjila je potrošnju plina za 29%. Godine 2008. Instaliran je solarni termalni sistem s vakuumskim kolektorima ukupne površine 400 m², snage 280 kW i solarnim spremnikom zapremine 9 m³. Sistem predgrijava 16 galvanskih kada (sve zajedno 21 m³), kao i konvencionalni sistem grijanja i pripreme tople vode. Kade u određenoj mjeri djeluju kao dodatni spremnici. Potrebna temperatura kupke u kadama kreće se od 60°C do 80°C. Ukupni troškovi ulaganja bili su 245.000 eura. Od regionalne vlade kompanija je dobila subvencije od 306 EUR/m² (122.700 eura). Instalacijom solarnog termalnog sistema smanjena je potražnja za plinom za dodatnih 30 do 35%. Očekivano vrijeme amortizacije je 7 godina (uključujući subvencije).



Slika 45. Vakuumske cijevi kolektori na krovu kompanije [79]



Slika 46. Primjer sistema za solarno grijanje industrijske kade [79]

Primjer dobre prakse: Implementacija solarnog termalnog postrojenja [79]

Kompanija koja je specijalizirana za površinsku obradu i galvanizaciju implementirala je solarno postrojenje s ciljem postizanja nižih troškova za energiju i manje zavisnosti od međunarodnog energetskeg tržišta. Instalirano solarno termalno postrojenje ima površinu 221 m² (vakumske cijevi) i podržava proces grijanja industrijskih kada na temperaturu od 80°C. Implementacijom postrojenja je očekivano da će udio solarne energije iznositi oko 40%. Ukupni troškovi investicije iznosili su oko 160.000 eura.



Slika 47. Solarni kolektori na krovu kompanije [79]

5. ODRŽIVO UPRAVLJANJE HEMIKA LIJAMA

5.1 POTROŠNJA HEMIKA LIJA U INDUSTRIJI OBRAD E METALA

Tržište hemikalija za metaloprerađivačku industriju očekuje značajan rast zbog rastuće potražnje za metalnim komponentama u globalnoj proizvodnoj industriji, posebno u teškim sektorima kao što su autoindustrija i obrada metala. Proizvođači hemikalija usmjereni su na povećanje resursne efikasnosti u proizvodnim pogonima, što pomaže u ekonomičnosti i očuvanju okoliša. Industrijalizacija, urbanizacija te rast automobilske i građevinske industrije dodatno potiču potražnju za ovim hemikalijama, koje su ključne za proizvodnju metala i automobilskih komponenti.

Očekuje se da će potražnja i potrošnja hemikalija za metaloprerađivačku industriju porasti, te se u skladu s tim predviđa porast tržišta hemikalija za obradu metala za 5,6% u periodu 2022.–2029. godine. Ova pozitivna dinamika potiče se primjenom hemikalija na bio bazi, što otvara profitabilne prilike. Usto, strogi propisi EU u pogledu upotrebe hemikalija za obradu metala predstavljaju dodatni izazov koji će utjecati na tržište tokom navedenog perioda [80].

Veliki broj procesa u metaloprerađivačkom sektoru zahtijeva upotrebu hemikalija u svakom koraku obrade metala. Tržište hemikalija nudi raznoliku paletu hemijskih proizvoda za preradu metala i koriste se kako bi se poboljšala efikasnost, trajnost, kvalitet metalnih proizvoda, skratilo vrijeme obrade i smanjili troškovi proizvodnje. Upotreba hemikalija uveliko ovisi o vrsti metaloprerađivačkog procesa, ali najčešće korištene grupe hemikalija su [81]:

- Čistači i odmašćivači za uklanjanje masnoća i drugih nečistoća s metalnih površina prije obrade ili premazivanja.
- Premazi za konverziju prije bojenja koji se nanose na metalne površine kako bi se poboljšala adhezija boje ili premaza. Također mogu služiti za sprječavanje korozije.
- Prevlake za hladno oblikovanje koje se koriste za olakšavanje procesa oblikovanja metala pri niskim temperaturama, čime se smanjuje trenje i trošenje alata.
- Sredstva za uklanjanje boje koja se koriste za uklanjanje postojećih premaza ili boje s metalnih površina prije nanošenja novih premaza.
- Sredstva za sprječavanje korozije koja štite metalne površine od korozije i oksidacije, mogu biti premazi ili inhibitori korozije.
- Hemikalije za predtretman metala koje se koriste za pripremu metalnih površina

(uklanjanje oksida ili nečistoća) prije zavarivanja, galvanizacije ili drugih postupaka obrade.

- Soli za termičku obradu koje se upotrebljavaju za postizanje određenih svojstava metala tokom procesa termičke obrade, kao što su kaljenje ili poboljšavanje tvrdoće.
- Mašinski fluidi koji se koriste u raznim obrtničkim i industrijskim procesima obrade metala, uključujući rezanje, bušenje i brušenje. Oni mogu služiti za hlađenje, podmazivanje i uklanjanje čestica.
- Emulzije koje služe kao rashladna sredstva i maziva, smanjujući trenje između alatnih i radnih komponenti. Ovo produžuje vijek trajanja alata, poboljšava površinsku obradu i smanjuje potrebu za zamjenom i održavanjem opreme. Emulzije također kontroliraju temperaturu tijekom procesa, sprječavajući pregrijavanje i održavajući stabilnost.

5.2 EFIKASNO UPRAVLJANJE HEMIKALIJAMA

Za efikasno upravljanje hemikalijama potrebno je napraviti inventar hemikalija, koji predstavlja detaljan popis i sistemsku evidenciju svih hemikalija koje se koriste ili skladište u okviru poduzeća.

Prema važećim propisima u Bosni i Hercegovini, proizvođač ili uvoznik hemikalije koja se proizvodi ili uvozi u BiH iznad propisane donje granice na godišnjem nivou dužan je tu hemikaliju upisati u Inventar hemikalija, koje vode nadležna ministarstva [82], [83].

Integralni inventar hemikalija sadrži sljedeće podatke [84]:

- identitet pravne osobe,
- identitet supstance ili proizvoda,
- klasifikaciju i obilježavanje hemikalije,
- namjenu hemikalije ili proizvoda, uvjete za njihovo korištenje i rok,
- važenje dozvole za stavljanje hemikalije ili proizvoda na tržište, propisana ograničenja i zabrane,
- oznaku inventara u koji su supstanca ili proizvod upisani,
- carinski tarifni broj supstance i
- sigurnosno-tehnički list.

Integracija ovih podataka omogućava efikasno praćenje i upravljanje hemikalijama u industrijskim postrojenjima, čime se pruža sigurnost i odgovorno korištenje ovih supstanci.

Pored zakonom propisanih obaveza vođenje inventara hemikalija poduzećima donosi ispod navedene koristi.

1. **Identifikacija supstanci** – precizna identifikacija hemikalija omogućava bolje razumijevanje sastava i svojstava svake supstance prisutne u poduzeću.
2. **Kontrola rizika** – Inventar pomaže u prepoznavanju lokacija mogućih hemijskih incidenata te omogućava analizu i kontrolu rizika na tim lokacijama. Ovo je ključno za osiguranje sigurnosti radnika i zaštite okoliša.
3. **Optimizacija zaliha** – Praćenje količina hemikalija u inventaru omogućava poduzeću da optimizira zalihe, čime se smanjuju troškovi nabavke i skladištenja.
4. **Smanjenje gubitaka** – Identifikacija viškova proizvoda ili hemikalija koje su blizu isteka roka trajanja omogućava poduzeću da smanji gubitke i troškove povezane s nepotrebnim zalihama.
5. **Proaktivno upravljanje ambalažom** – Praćenje stanja ambalaže putem inventara pomaže u identifikaciji oštećenja ili curenja, sprječavajući nekontrolirano oslobađanje opasnih tvari u okoliš.
6. **Sprječavanje nesreća** – Inventar omogućava identifikaciju nekompatibilnih supstanci i materijala, te njihovo pravilno skladištenje, čime se smanjuje rizik od požara, eksplozija i drugih nesreća.

Značajan dio informacija potrebnih za vođenje inventara hemikalija nalazi se u sigurnosno-tehničkim listovima (engl. safety data sheet), koje je po zakonu snabdjevač hemikalije dužan dostaviti primaocu hemikalije. Sigurnosni listovi hemikalija ključni su dokumenti koji pružaju detaljne informacije o karakteristikama hemikalija i propisuju sigurne prakse za njihovu upotrebu, skladištenje i odlaganje. Zakonski je propisano da isporučitelji dostave sigurnosni list na lokalnom jeziku uz svaku isporuku hemikalije. Sigurnosni listovi hemikalija sadrže sljedeće podatke [80], [83], [85]:

- naziv i šifru hemikalije,
- fizička i hemijska svojstva,
- identifikaciju opasnosti,
- stabilnost i reaktivnost,
- podatke o sastavu,
- toksikološke podatke,
- mjere prve pomoći,
- podatke o okolišu,
- mjere za suzbijanje požara,
- podatke o odlaganju,
- mjere u slučaju akcidentnog ispuštanja hemikalije,
- podatke o prijevozu,
- podatke o propisima,
- rukovanje i skladištenje,
- ostale podatke.
- nadzor nad izloženošću i lična zaštita,

Pored identifikacije opasnosti veoma je važno poznavati i sastav hemijskog preparata. Kada se hemikalija nabavlja kao smjesa, tada je moguće prisustvo nekih aditiva kojima se poboljšavaju svojstva osnovne hemikalije, a koji također mogu biti opasni i štetni za zdravlje i okoliš.

Analizom procesa i korištenih hemikalija određuju se prioriteti i nakon analize izvodljivosti primjenjuju se odgovarajuće mjere za optimizaciju potrošnje hemikalija. Neke mjere mogu biti veoma jednostavne, bez imalo ili s malo ulaganja, a dovesti do ušteda i smanjenja negativnih utjecaja hemikalija na okoliš. Korištenjem ostataka tečnih hemikalija iz ambalaže može se upotrijebiti do 3% više hemikalije i smanjiti zagađenost otpadne ambalaže. Sprječavanjem isparavanja rastvarača postižu se znatne uštede i umanjuje emisija u okoliš i radnu sredinu, te implementacijom sistema za doziranje hemikalija postiže se sprječavanje prekomjerne upotrebe hemikalija i predoziranja [86].

Kako bi kompanija uvela strukturirani pristup upravljanju, skladištenju, korištenju i odlaganju hemikalija i kako bi se minimizirali rizici po zdravlje ljudi, sigurnost i okoliš, savjetuje se uvođenje Programa za upravljanje hemikalijama. Ovaj program ima za cilj identificirati potencijalne rizike, poboljšati efikasnost korištenja hemikalija, smanjiti gubitke i otpad, te promovirati održive prakse. U nastavku su dati ključni koraci za provođenje programa efikasnog korištenja hemikalija.

Tabela 5. Koraci u provođenju programa efikasnog korištenja hemikalija [86]

Korak	Aktivnost
Korak 1: Identifikacija hemikalija	Identificirajte sve hemikalije s kojima se radi, gdje se koriste, način na koji se skladište, odakle se transportiraju u pogon i iz pogona.
Korak 2: Identificirajte opasne hemikalije	Iz podataka s etikete odredite je li hemikalija opasna.
Korak 3: Nacrtajte dijagram toka	Nacrtajte kartu toka hemikalije kroz proces(e).
Korak 4: Identificirajte rizike	Identificirajte rizike vezane za sigurnost i zdravlje na radu, okoliš, socijalne i ekonomske rizike.
Korak 5: Razmotrite opcije	Razmotrite opcije iz literature, iskustva drugih industrija, preporuke proizvođača opreme i/ili hemikalija.
Korak 6: Procijenite opcije i primijenite program	Procijenite izvodljivost opcija i primijenite one koje su tehnički, organizacijski i ekonomski prihvatljive.

5.3 SKLADIŠTENJE HEMIKALIJA

Skladištenje hemikalija zahtijeva posebnu pažnju kako bi se izbjegle neželjene reakcije ili opasnosti koje mogu proizaći iz međudjelovanja različitih tvari. Kompatibilnost hemikalija ključna je da bi se spriječile nesreće, curenje ili stvaranje opasnih uvjeta. Pravilno skladištenje temelji se na razumijevanju fizikalnih i hemijskih svojstava hemikalija te njihovoj međusobnoj kompatibilnosti. Na sljedećoj slici prikazana je kompatibilnost hemikalija koje se mogu skladištiti zajedno.

						
	○	—	—	—	—	—
	—	+	—	—	○	—
	—	—	+	○	○	—
	—	—	○	+	+	○
	—	○	○	+	+	+
	—	—	—	○	+	+


 Mogu se zajedno
skladištiti


 Ne mogu se
zajedno skladištiti


 Mogu se zajedno
skladištiti uz preduzimanje
odgovarajućih mjera

Slika 48. Sigurno skladištenje hemikalija [86]

5.4 UPOTREBA ALTERNATIVNIH ZELENIH HEMIKA LIJA

Poduzeća sve više zamjenjuju opasne hemikalije i proizvodne procese sigurnijim hemikalijama i zelenijim tehnologijama. To može donijeti značajne koristi kompanijama, okolišu i zdravlju radnika i potrošača, a također može imati značajan pozitivan utjecaj na provedbu cirkularne ekonomije.

Zamjena opasnih tvari i smjesa manje opasnim alternativama osnovno je načelo svakog dobrog upravljanja hemijskim rizicima i pravni zahtjev u skladu sa zakonodavstvom na radnom mjestu. Zamjena opasnih hemikalija sigurnijim alternativama cilj je pristupa upravljanju hemikalijama usmjerenog na rješenja. Uključuje prepoznavanje alternativa i procjenu njihovih zdravstvenih i sigurnosnih opasnosti, mogućih kompromisa te tehničke i ekonomske izvedivosti.

Sigurnija alternativa je opcija koja je manje opasna za radnike od postojeće, što može uključivati korištenje hemijskih zamjena ili redizajniranje proizvoda ili procesa koji u potpunosti eliminiraju potrebu za određenim opasnim hemikalijama.

Planiranje zamjene je proces sistemskog postavljanja ciljeva i prioriteta za smanjenje opasnosti, razvoj inventara hemikalija, procjenu alternativa, identifikaciju preferiranih alternativa i implementaciju alternativa.

Procjena alternativa je proces identificiranja, poređenja i odabira sigurnijih alternativa za opasne hemikalije na temelju njihovih opasnosti, učinka i ekonomske održivosti. Procjena

alternativa ključna je komponenta procesa planiranja zamjene i koristi se u evaluaciji i poređenju alternativa.

Razvijeno je niz alata i metoda za procjenu opasnosti, izvedbe i ekonomske isplativosti kao dio procjene alternativa.

ChemSec, Međunarodni hemijski sekretarijat (engl. *International Chemical Secretariat*) neprofitna je organizacija posvećena radu na smanjenju toksičnosti u okoliš. Ova organizacija pomaže kompanijama u globalnom lancu snabdijevanja da eliminiraju opasne hemikalije iz proizvoda. Nudi stručnost i smjernice o pravilima upravljanja hemikalijama kako bi se shodno tome unaprijedilo i zakonodavstvo vezano za hemikalije. ChemSec je također razvio nekoliko web-alata kako bi pomogao kompanijama da smanje upotrebu opasnih hemikalija u svojim privrednim djelatnostima. To su sljedeći alati [87]:

- **SIN-lista** (engl. *Substitute It Now* – Zamijenite odmah) je lista opasnih hemikalija za koje se preporučuje kompanijama da ih zamijene što je prije moguće jer predstavljaju prijetnju ljudskom zdravlju i okolišu. Na listi se nalaze hemikalije koje je ChemSec identificirao kao one koje ispunjavaju kriterije za supstance koje izazivaju veliku zabrinutost, kako je definirano regulativom EU o hemikalijama REACH.
- Prilikom pretraživanja putem **alata Snimilarity** moguće je saznati sadrži li supstanca koju ste tražili iste strukturne elemente specifične grupe kao i SIN-supstance i/ili ima li strukturnu sličnost sa SIN-supstancama.
- **Alat Marketplace** daje informaciju i omogućava kompanijama povezivanje sa snabdjevačima sigurnijih alternativa.

Spomenuti alati dostupni su kompanijama bez naknade, uz obavezu prethodnog registriranja.

The screenshot displays the ChemSec web interface. On the left, the 'SINlist Chemical' panel shows details for Benzophenone-2 (Bp-tetrahydroxybenzophenone), including its CAS Number (131-55-5), EC Number (205-028-9), and molecular structure. A red hand icon indicates a concern. The main area shows the 'SIN LIST' with a search bar and a list of chemicals. The 'MARKET PLACE' section shows 230 alternatives for the selected chemical.

Slika 49. Prikaz web-ekrana i informacija sa SIN-liste

Slika 50. Prikaz web-ekrana alata Marketplace

Primjer dobre prakse: Zamjena lubrikanta za ekstruziju [14]

Kompanija koja se bavi proizvodnjom isprešanih aluminijskih profila za različite industrijske branše izvršila je zamjenu lubrikanta za ekstruziju koji sadrži diborontrioksid. Pri procesu ekstruzije koristi se prah diborontrioksida, koji sprječava adheziju aluminijske površine. Ovo sredstvo sadrži diborontrioksid u koncentraciji <1%, koji je prema Evropskoj agenciji za hemikalije (ECHA) identificiran kao supstanca koja izaziva veliku zabrinutost (SVHC) i uključena je na listu kandidata za autorizaciju. Sredstvo je zamijenjeno alternativnim, koje ispunjava okolišne zahtjeve i zakonske regulative u EU, te u svom sastavu ne sadrži opasne supstance.

5.5 HEMIJSKI LIZING

Hemijski lizing, također poznat kao hemijsko rentanje, predstavlja specifičan oblik poslovanja u kojem jedno poduzeće (davatelj lizinga) prodaje funkciju koju treba da obavi hemikalij drugom poduzeću (primatelju lizinga) za određeni period. Ovaj oblik lizinga često se koristi u industrijama gdje je potrebno korištenje određenih hemikalija ili sirovina za proizvodne procese, poput metaloprerađivačkih industrija. Rezultat primjene modela hemijskog lizinga je efikasnije korištenje hemikalija uz smanjenje rizika povezanog s njihovim korištenjem, kao i zaštita ljudskog zdravlja. Veoma često procesi u kojima se koriste hemikalije korisniku hemikalije u kompaniji nisu bliski, budući da ne predstavljaju ključnu djelatnost, ali su neophodni – npr. bojenje u metaloprerađivačkoj ili drvnoj industriji, podmazivanje transportnih traka itd. Glavno sredstvo plaćanja je funkcionalna jedinica (npr. m² obojene površine ili broj odmašćenih komada). Nedovoljno poznavanje procesa često vodi prekomjernoj potrošnji hemikalija. Kako bi proizvođači bili motivirani da osiguraju know-how korisnicima da optimiziraju potrošnju hemikalija, UNIDO je razvio poslovni model hemijskog lizinga, čija primjena donosi višestruke koristi korisnicima i proizvođačima [86].

U metaloprerađivačkoj industriji hemijski lizing može imati specifične primjene i koristi

kada je riječ o korištenju određenih hemijskih supstanci, premaza ili drugih materijala koji se koriste u proizvodnim procesima. Evo nekoliko primjera i prednosti hemijskog lizinga u metaloprerađivačkoj industriji:

- 1. Zaštita od korozije:** U metaloprerađivačkoj industriji pri obradi metala često se javlja problem korozije metala. Hemijski lizing može uključivati pružanje usluge premaza ili tretmana koji štite metalne komponente od korozije, produžujući njihov životni vijek.
- 2. Premazi i boje:** Metalne komponente često zahtijevaju određene premaze ili boje radi poboljšanja izgleda, zaštite od vanjskih elemenata ili poboljšanja funkcionalnosti. Hemijski lizing omogućava pristup visokokvalitetnim premazima ili bojama bez potrebe za njihovom kupovinom ili održavanjem.
- 3. Održavanje opreme:** Hemijski lizing može uključivati pružanje usluga čišćenja i održavanja opreme u metaloprerađivačkom postrojenju, što može značajno racionalizirati potrošnju hemijskih sredstava. Hemijski lizing može doprinijeti smanjenju potrošnje materijala i otpada kroz pravilno doziranje i adekvatno upravljanje hemikalijama. Ovo može rezultirati ekonomskim uštedama te smanjenjem negativnog utjecaja na okoliš.

Pri primjeni hemijskog lizinga u metaloprerađivačkoj industriji ključno je osigurati saradnju s pouzdanim davateljem lizinga koji razumije specifične zahtjeve poduzeća i potrebe ove industrije, pružajući prilagođena rješenja za održavanje i unapređenje proizvodnih procesa [88].

Primjer dobre prakse: Hemijski lizing u procesu čišćenja metalnih komponenti [88]

Proizvođač elektro-opreme, specijaliziran za visokonaponsku i niskonaponsku opremu, suočio se s visokim troškovima završne obrade, odnosno nanošenja praškastog premaza u boji. Razlozi su velika količina otpadnog praha, potreba za značajnim održavanjem opreme i velika količina škarta zbog loše kvalitete lakiranja. Kako bi riješila te probleme, tvrtka je počela tražiti rješenja sa svojim dobavljačem praškastih premaza, i nakon nekoliko procjena i ispitivanja, analize isplativosti i pregovora, potpisan je Ugovor o hemijskom lizingu. Ugovor je uključivao transfer znanja i obuku radnika, što je donijelo značajno poboljšanje kvalitete finalnog proizvoda. Poboljšana je proces nanošenja praškastih premaza, a debljina gornjeg sloja smanjena je na optimalnu. Otpad praha je recikliran. Ostvarena je ušteda od oko 68.000 dolara, uz osiguranje visoke kvalitete finalnih proizvoda.

Tabela 6. Status prije i poslije primjene modela hemijskog lizinga

Prije primjene modela	Poslije primjene modela
Novčanih jedinica po kg kupljenog praškastog premaza	Novčanih jedinica po m ² presvučene metalne površine
Potrošnja 0,2 kg praškastog premaza po m² premazanih artikala; u iznosu od 140 metričkih tona nanesenih praškastih premaza (godišnje)	Potrošnja praškastog lakiranja po m ² premazanog proizvoda – 0,16 kg (20% niže)
Stopa dorade proizvoda ili odbijanja od 2% – što rezultira velikim naporima održavanja i zaustavljanjem proizvodnje dva puta mjesečno	Stopa dorade proizvoda ili odbijanja ~ 0%– potrebno je samo jedno zaustavljanje proizvodne linije radi održavanja (mjesečno)

Veliki gubici praha; 12% iskorištenog praha postaje otpad (mjesečno)	Količina otpada od praškastog premaza smanjena na 4 - 5%
Visoki troškovi energije zbog primjene pritiska od 2 bara	Smanjena potrošnja energije zbog 30% primjene nižeg pritiska
Cijena praškastog lakiranja – 3,80 egipatskih funti (po m²)	Cijena farbanja u prahu - 3,20 egipatskih funti (po m ²)

5.6 MJERE ZA OPTIMIZIRANJE POTROŠNJE HEMIKALIJA

Optimizacija potrošnje hemikalija ključna je praksa u industrijama kako bi se smanjili troškovi, poboljšala efikasnost i umanjili negativni utjecaji na okoliš i zdravlje zaposlenika. Uvođenje sljedećih mjera za optimizaciju potrošnje može pridonijeti održivijem poslovanju [90], [91]:

Nabavka visokokvalitetnih ulja, maziva, rashladnih tečnosti, emulzija i tekućina za obradu metala kako bi se smanjila količina upotrijebljenih materijala i količina nastalog otpada. Sistemi hemikalija pažljivo se odabiru kako bi se osigurali optimalni rezultati za određeni postupak i proizvod. Relevantna svojstva koja treba uzeti u obzir su: dobro podmazivanje, potencijal za jednostavno odvajanje onečišćujućih tvari, stabilnost emulzije i disperzija ulja u emulziji, nerazgradnja ulja tokom dugog perioda nekorištenja.

Praćenje i prilagodba kvaliteta hemikalija, budući da to uvjetuje stabilnost i efikasnost procesa. To uključuje redovno mjerenje i kontrolu različitih parametara, kao što su koncentracija, pH-vrijednost, veličina čestica, indeks saponifikacije, koncentracija kiseline i željeza te prisutnost bakterija. Redovno i kontinuirano praćenje omogućavaju bolju kontrolu procesa, adekvatno doziranje hemikalija i smanjenje rizika od nepravilnosti u kvalitetu, kako bi se prema potrebi poduzele korektivne mjere.

Sprječavanje onečišćenja redovnom kontrolom i preventivnim održavanjem sistema za skladištenje, rukovanje i doziranje hemikalija. Čistoća hemikalija očuvana ovim mjerama pomaže smanjiti gubitke i potrebu za ponovnom nabavkom, čime se smanjuje potrošnja i trošak nabavke.

Čišćenje, čime se omogućava ponovna upotreba hemikalija. Čestice (npr. prašina, komadići čelika i odgorci) uklanjaju se kroz odgovarajuće tehnike pročišćavanja, poput sedimentacije, filtriranja ili magnetskog odvajanja, kako bi se hemikalija očistila i pripremila za ponovnu upotrebu. Korištenje demineralizirane vode za razblaživanje kako bi se produžio životni vijek radnih fluida.

Provesti plan redovnog održavanja kako bi se optimizirao rad opreme i smanjili gubici. Ovaj proces omogućuje očuvanje kvaliteta radnih fluida tako da se ne moraju često mijenjati. Redovno održavanje opreme također igra ključnu ulogu u optimizaciji rada, smanjenju gubitaka tekućina i sprječavanju neplaniranih kvarova.

Osigurati natkrivanje rezervoara s hemikalijama kako bi se smanjili gubici otapala i drugih hemikalija. Ovom praksom postiže se značajno smanjenje gubitaka otapala i drugih

hemikalija zbog isparavanja ili curenja. Pokrivanjem rezervoara sprječava se izloženost hemikalija atmosferskim uvjetima i minimizira se njihov gubitak u okoliš. Osim toga, ova mjera također pridonosi sigurnosti radnika i sprječava moguće štetne utjecaje na okoliš.

Sistemi za doziranje hemikalija zahtijevaju minimalno angažiranje zaposlenih i dobar su način za izbjegavanje prekomjerne upotrebe hemikalija. Predoziranje vodi ka nepotrebno većoj potrošnji i opterećivanju otpadnih voda, dok nedovoljna potrošnja negativno utječe na performanse procesa.

Optimizirano vrijeme uranjanja radnih metalnih komada u kupke – vrijeme uranjanja ograničeno je na trajanje potrebno za postizanje specifikacija debljine presvlake.

5.7 CIRKULARNOST HEMIKA LIJA I HEMIJSKIH RASTVORA

Ponovna upotreba hemikalija i hemijskih rastvora u metaloprerađivačkoj industriji odnosi se na proces prikupljanja, tretiranja i ponovne upotrebe ili recikliranja hemikalija i rastvora koji se koriste u različitim operacijama metalne obrade. Ovo je važna praksa koja može donijeti brojne prednosti, uključujući ekonomske, okolišne i regulatorne aspekte. Ponovna upotreba hemikalija smanjuje količinu hemijskog otpada koji se mora odlagati ili tretirati, kao i potrebe za proizvodnjom novih hemikalija, što doprinosi smanjenju emisija i drugih štetnih utjecaja na okoliš povezanih s proizvodnjom hemikalija. Implementacija sistema za ponovnu upotrebu hemikalija može biti tehnički složena i zahtijevati odgovarajuće tehnologije za tretiranje, skladištenje i ponovnu upotrebu hemikalija, ali dugoročno gledano može značajno doprinijeti ekonomičnosti poslovanja poduzeća.

Većina metaloprerađivačkih industrija koristi kiseline u procesu proizvodnje. Nastala otpadna kiselina može se neutralizirati, što rezultira visokim troškovima i velikom potražnjom za novim količinama kiseline. Optimalno rješenje je regeneracija kiseline, za koju postoji niz dostupnih tehnoloških rješenja. Otpadna kiselina koja dolazi s linije za kiseljenje regenerira se i zatim ponovo vraća u proizvodni proces.

5.7.1 Regeneracija hlorovodonične kiseline u postupku pripreme metala

U postupku hemijske pripreme površine metala troši se značajna količina hlorovodonične kiseline, pri čemu na mjesečnom nivou nastaju značajne količine otpadne kiseline. Nakon hemijske pripreme metala za nanošenje metalnih prevlaka istrošena kiselina dalje se koristi u procesu decinkacije, pri čemu se dodatno istroši na koncentraciju 2–3% HCl. Takva otpadna kiselina najviše je zasićena željezom i cinkom (≈ 130 g/L Fe i Zn) [14].

Danas je najzastupljeniji proces regeneracije hlorovodonične kiseline iz istrošenih rastvora za nagrivanje sprej-žarenjem (Ruthenerov proces). Ključna reakcija u postrojenju za regeneraciju je razgradnja rastvora željezohlorida u reaktoru. Reakcija se odvija uz prisustvo vodene pare i kiseonika na temperaturi između 316–872°C. Ovaj tehnološki proces regeneracije istrošenih rastvora hlorovodonične kiseline za nagrivanje veoma je

prihvaćen u svijetu i postoji više proizvođača opreme. Prednosti ovog postupka su u tome što se u proces vraća sirovina (hlorovodonična kiselina koncentracije 18%), a drugi produkt (oksid željeza) je dobar komercijalni proizvod, posebno za čeličane. Važno je istaći da se ovaj tehnološki proces vodi u uvjetima koji imaju minimalni utjecaj na okoliš [14].

5.7.2 Tehnike za ponovnu upotrebu istrošenih kiselina u preradi metala

Za smanjenje količine istrošenih otopina za stripiranje s visokim koncentracijama cinka koje se šalju na zbrinjavanje predlaže se ponovna upotreba istrošenih otopina za stripiranje i/ili u njima sadržanih ZnCl_2 i NH_4Cl . Tehnike za ponovnu upotrebu istrošenih otopina za stripiranje s visokim koncentracijama cinka uključuju sljedeće [88]:

- **uklanjanje cinka ionskom izmjenom.** Obradena kiselina može se koristiti za dekapiranje, dok se otopina koja sadrži ZnCl_2 i NH_4Cl i nastaje stripiranjem smole za ionsku izmjenu može koristiti za dodavanje topitelja. Topitelj je dodatak ili legura koji se koristi za snižavanje tačke topljenja metala ili legure kako bi se olakšalo njihovo oblikovanje i obrada na nižim temperaturama. Ovaj materijal često pomaže u postizanju željenih svojstava metala ili legure tokom procesa proizvodnje.
- **uklanjanje cinka ekstrakcijom otapala.** Pročišćena kiselina može se koristiti za dekapiranje, dok se koncentrat koji sadrži cink iz stripiranja i isparavanja može koristiti u druge svrhe.

Tehnike za ponovnu upotrebu istrošene kiseline za dekapiranje uključuju [91]:

- pulverizirajuće prženje ili korištenje reaktora s fluidiziranim slojem za ponovnu upotrebu hlorovodonične kiseline,
- kristalizaciju željezosulfata za ponovnu upotrebu sumporne kiseline, pulverizirajuće prženje, isparavanje, ionsku izmjenu ili difuzijsku dijalizu za ponovnu upotrebu smjese kiselina,
- upotrebu istrošene kiseline za dekapiranje kao sekundarne sirovine (npr. za proizvodnju željezohlorida ili pigmenata).

5.8 ZBRINJAVANJE OTPADNIH HEMIKALIJA

Zbrinjavanje otpadnih hemikalija važan je proces u industriji kako bi se omogućila sigurnost za ljude i okoliš. Ovaj proces obuhvata siguran transport, skladištenje, tretman i eliminaciju hemikalija koje se više ne mogu koristiti u proizvodnim procesima. Otpadne hemikalije koje posjeduju jednu od sljedećih osobina: eksplozivne, oksidirajuće, veoma zapaljive, nadražujuće, štetne, toksične, kancerogene, toksične za reprodukciju, korozivne, mutagene, ekotoksične, smatraju se opasnim otpadom, stoga Okvirna direktiva o otpadu propisuje strog režim kontrole opasnog otpada. Direktiva propisuje da se opasni otpad mora evidentirati, identificirati i držati odvojeno od drugih vrsta opasnog i neopasnog otpada.

Prvi je korak identifikacija i klasifikacija otpadnih hemikalija. Otpadne hemikalije treba klasificirati prema njihovoj toksičnosti, zapaljivosti, reaktivnosti i drugim karakteristikama kako bi se odredila najbolja strategija zbrinjavanja. Skladištenje igra ključnu ulogu u procesu zbrinjavanja. Otpadne hemikalije moraju biti pravilno uskladištene, na posebno određenoj lokaciji u krugu proizvodnog postrojenja, kako bi se spriječilo curenje ili kontaminacija okoliša. To podrazumijeva korištenje odgovarajućih kontejnera i skladišnih prostora koji su pravilno označeni i osigurani. Otpadne hemikalije skladište se u posudama, spremnicima ili drugoj ambalaži koja mora imati natpis „Opasni otpad“ i naziv vrste opasnog otpada. Posude, spremnici ili druga ambalaža moraju biti otporni na djelovanje hemikalija i sigurni za rukovanje i transport. Na ulazu u skladište mora postojati natpis “Skladište opasnog otpada“, te moraju biti navedeni podaci o grupama opasnog otpada. Opasni otpad koji bi mogao reagirati s ostalim vrstama otpada, vodom ili drugim organskim tvarima, mora se odvojeno odložiti u posebne odjeljke.



Slika 51. Skladište otpadnih hemikalija [95]

Transport otpadnih hemikalija također zahtijeva posebne mjere opreza, koristeći sigurno zatvorenu ambalažu koja može izdržati opterećenje svakodnevne upotrebe i umjerene uvjete skladištenja i koja sprječava da otpad dođe u kontakt s okolinom, u skladu s posebnim propisima o transportu opasnih roba. Ambalaža i naljepnice moraju biti izrađene od materijala koji ne reagira na opasni otpad na način na koji bi predstavljale opasnost po ljudsko zdravlje i okoliš.

Krajnje zbrinjavanje vrši se putem ovlaštenih operatera koji su registrirani za prikupljanje i izvoz opasnog otpada. Opasni otpad izvozi se i zbrinjava na okolišno prihvatljiv način u skladu s odredbama Bazelske konvencije u zemlje Evropske unije kao što su: Austrija, Slovenija, Hrvatska, Njemačka, Francuska i Češka. Industrije su obavezne da prate i izvještavaju o zbrinjavanju otpadnih hemikalija u skladu sa zakonskim propisima. Ovo uključuje vođenje evidencije, izvještavanje nadležnim vlastima i inspeksijski pregled.

6. ODRŽIVO UPRAVLJANJE VODAMA



6.1 POTROŠNJA VODE U INDUSTRIJI OBRADE METALA

Potrošnja vode u metaloprerađivačkoj industriji igra ključnu ulogu u proizvodnim procesima i može značajno utjecati na okoliš. Koristi se u procesima za hlađenje, pranje, transport materijala i procese poput čišćenja i galvanizacije. Najčešće se koristi kao medij za uklanjanje nečistoća i hlađenje mašina tokom obrade metala.

U metaloprerađivačkoj industriji voda se najviše koristi za ispod opisane namjene.

Voda za hlađenje raspršuje obilnu toplotu iz metalnih proizvoda i povezanih mašina. Ovaj proces igra ključnu ulogu u očuvanju temperature u raznim fazama metaloprerađivačkih operacija. To uključuje kontaktno hlađenje tokom različitih faza obrade metala, regulaciju temperature otpadnih plinova, hlađenje kod toplog i hladnog valjanja te druge slične primjene. Hlađenje često zahtijeva znatne količine vode kako bi se osiguralo efikasno odvođenje toplote, a često se koriste sistemi za recikliranje vode kako bi se smanjila potrošnja i minimizirao utjecaj na okoliš.

Procesna voda uključuje tokove u kontaktu sa sirovinama ili krajnjim proizvodima, kao što su kaljenje, postupci galvanizacije i odmašćivanja itd. Procesna voda često sadrži različita otapala, kiseline i emulzije koje se koriste za čišćenje, odmašćivanje i ispiranje metalnih površina tokom različitih metaloprerađivačkih operacija.

Napojna voda za kotlove koristi se za generiranje procesne pare koja pokreće različite proizvodne operacije. Da bi se postigla održivost i efikasnost u upotrebi vode, potrebno je primijeniti tretmane vode koji omogućuju recikliranje i ponovnu upotrebu vode za kotlove.

Kvalitet vode koja se koristi u metaloprerađivačkim procesima od iznimne je važnosti kako bi se spriječila kontaminacija metalnih proizvoda i očuvao integritet opreme. Nakon

korištenja voda postaje otpadna voda koja može sadržavati različite zagađujuće materije, uključujući teške metale i hemikalije. Obrada i tretman otpadnih voda prije ispuštanja u okoliš neophodni su kako bi se smanjio negativni utjecaj na vodne ekosisteme.

U zadnjih nekoliko godina Agencija za statistiku BiH prikuplja podatke o korištenju voda u industriji na osnovi redovnog godišnjeg izvještaja o korištenju voda i zaštiti voda od zagađivanja u industriji. Prema zvanično objavljenim podacima Agencije za statistiku BiH, snabdijevanje vodom industrijskih poduzeća tokom 2021. godine iznosilo je ukupno 8.465.967.000 m³, a od te količine za proizvodnju je korišteno 99,65%, za hlađenje 0,16%, za svježu vodu 0,15%, a ostatak od 0,04% za sanitarne potrebe i ostale namjene. Ukupna količina korištene vode u industrijskim aktivnostima u 2021. godini je za 49,3% veća u poređenju sa 2020. godinom. Ukupna količina korištene vode u prerađivačkoj industriji, u koju spada i metaloprerađivačka industrija, u 2021. godini je za 7,7% veća u poređenju sa 2020. godinom [89]. Podaci o potrošnji vode isključivo u metaloprerađivačkom sektoru nisu dostupni.

6.2 TEHNIKE ZA SMANJENJE EMISIJA U VODU

U metaloprerađivačkoj industriji generiranje onečišćenih voda je značajan problem koji zahtijeva ozbiljnu pažnju i upravljanje. Glavni onečišćivači vode u ovom sektoru uključuju teške metale kao što su olovo, cink, bakar i kadmij, koji proizlaze iz procesa topljenja metala i površinske obrade. Također je prisutan problem kiselih otpadnih voda koje potječu iz različitih hemijskih operacija u metaloprerađivačkoj industriji.

Industrija završne obrade metala pokriva širok raspon procesa uključujući galvanizaciju, eloksiranje, premazivanje, jetkanje i hemijsko mljevenje te proizvodnju tiskanih ploča. Ključne karakteristike otpadnih voda iz ovog procesa su:

- pH-odstupanja uzrokovana kiselim i kaustičnim čišćenjem i prenošenjem kupke za galvanizaciju,
- visok nivo teških metala koji se koriste u operacijama galvanizacije,
- visok nivo fosfora koji proizlazi iz postupaka presvlačenja fosfatom,
- visok nivo cijanida (cijanidi se koriste za poboljšanje procesa metalizacije),
- visok nivo toksičnih organskih spojeva koji su povezani sa zauljenom otpadnom vodom i otapalima koja se koriste za čišćenje itd.

Osim toga, ispuštanje ulja i masti iz operacija mašinske obrade predstavlja ozbiljnu prijetnju vodnim ekosistemima. Toplota koja se ispušta iz industrijskih procesa može također povećati temperaturu vode, što može negativno utjecati na vodene ekosisteme. Dodatno, upotreba različitih hemikalija u proizvodnim procesima može rezultirati ispuštanjem deterdženata, rastvarača i drugih tvari u vodu. Upravljanje ovim onečišćivačima zahtijeva stroge mjere kontrole i obrade otpadnih voda kako bi se minimizirao njihov utjecaj na vodne ekosisteme i osigurala očuvanost vodnih resursa.

Kada su u pitanju otpadne vode metaloprerađivačke industrije, svako postrojenje ima vrlo

specifičan kvalitet otpadnih voda. Otpadna voda iz pojedinačnog postrojenja jedinstvena je za to postrojenje. Za svaku od gore navedenih zagađujućih materija razvijena je tehnologija obrade, koje kada se kombiniraju, rezultiraju specifičnim integralnim tehnološkim rješenjem dizajniranim posebno za tu određenu otpadnu vodu. Osnovne tehnike koje se koriste za pročišćavanje otpadnih voda u metaloprerađivačkim industrijama opisane su ispod [38], [88].

Uravnoteženje – Uravnoteženje tokova i tereta zagađenja u otpadnim vodama prije ulaska u primarnu fazu pročišćavanja. Industrijske otpadne vode mogu značajno fluktuirati u dotoku i teretu zagađenja, pa ih je potrebno uravnotežiti u egalizacijskim bazenima i osigurati ravnomjeran dotok na uređaj. Ovo pozitivno utječe na rad uređaja, potrošnju hemikalija (flokulanata i koagulanata), a svi objekti tretmana mogu biti dimenzionirani na mjerodavni proticaj bez opasnosti od vršnog opterećenja.

Primarna obrada odnosno **fizičko odvajanje** krupnih čvrstih tvari, suspendiranih čvrstih tvari i/ili metalnih čestica iz otpadnih voda upotrebom, naprimjer, rešetki, sita, separatora pijeska, separatora masti, hidrociklona, odvajanjem ulja od vode ili korištenjem primarne taložnice.

Neutralizacija – Prilagodba pH-vrijednosti otpadnih voda na neutralnu razinu (približno 7) dodavanjem hemikalija zbog zaštite infrastrukture uređaja od korozije i zaštite biološkog procesa obrade voda u slučaju ispuštanja otpadnih voda u sistem javne kanalizacije. Također mnogi procesi predtretmana zahtijevaju podešavanje pH-vrijednosti kao početni korak u tretmanu kako bi procesi radili ispravno, kao što su: postupci koagulacije i flokulacije za uklanjanje ulja i masti, fosfata i suspendiranih čvrstih tvari. Natrijhidroksid (NaOH) ili kalcijhidroksid (Ca(OH)_2) općenito se upotrebljavaju za povećanje pH, a sumporna kiselina (H_2SO_4), hlorovodonična kiselina (HCl) ili ugljikov dioksid (CO_2) za smanjenje pH.

Adsorpcija – Uklanjanje topljivih tvari (otopljenih tvari) iz otpadnih voda tako što ih se prenosi na površinu čvrstih visokoporoznih čestica (obično aktivnog uglja). Adsorpcija je jedna od najprikladnijih tehnika za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda zbog visoke efikasnosti, mogućnosti regeneracije metala, fleksibilnosti i jednostavnosti dizajna, niske cijene i jednostavnosti rukovanja. Osim toga, adsorpcija je ponekad reverzibilna pa postoji mogućnost regeneracije adsorbensa prikladnim procesom desorpcije.

Aerobno pročišćavanje – Biološka oksidacija otopljenih organskih onečišćujućih tvari s kisikom pomoću metabolizma mikroorganizama. U prisutnosti otopljenog kisika, ubrizganog kao zrak ili čisti kisik, organske sastavnice mineraliziraju se u ugljendioksid i vodu ili se pretvaraju u druge metabolite i biomasu.

Hemijska redukcija – Pretvaranje onečišćujućih tvari hemijskim redukcijskim sredstvima u slične spojeve koji su manje štetni ili manje opasni.

Koagulacija i flokulacija – Koagulacijom i flokulacijom suspendirane čvrste tvari odvajaju se od otpadnih voda; ti se postupci često provode jedan nakon drugoga. Koagulacija se provodi dodavanjem koagulanasa s nabojem suprotnim naboju suspendiranih čvrstih tvari. Flokulacija se provodi dodavanjem polimera, pri čemu se mikropahuljaste čestice sudaranjem povezuju u veće.

Flotacija – Odvajanje čvrstih čestica iz otpadne vode njihovim vezivanjem za fine

mjhuriće plina, obično zraka. Ovaj postupak fizičko-hemijskog pročišćavanja uklanja suspendirane i plivajuće čestice iz otpadne vode, kao što su ulja, masti, emulzije, te teški metali. Flotacija se obično izvodi u kombinaciji sa flokulacijom i koagulacijom i korekcijom pH vrijednosti. Nakon ovih faza otpadna voda se uvodi u flotacijski tank sa vodom obogaćenom mikromjhurićima zraka 20-40 μm . Nastali mikro mjhurići zraka vežu se za flokule i zajedno isplivavaju na površinu stvarajući sloj koncentriranih čestica, masnoća i ulja poznat kao flotacijski mulj. Flotacijski mulj se pažljivo uklanja s površine vode pomoću mehaničkih skupljača ili drugih sistema za uklanjanje mulja. Izdvojeni mulj odvodi se u spremnik za mulj ili na mašinsku dehidraciju. Konačni rezultat ovog procesa je otpadna voda koja je prikladna za ispuštanje u kanalizacijsku mrežu ili određeni recipijent. Ovaj postupak se skraćeno naziva DAF (Dissolved Air Flotation).

Hemijsko taloženje - Pretvaranje otopljenih onečišćujućih tvari u netopivi spoj dodavanjem hemijskih sredstava za taloženje. Talozjenje se postiže dodatkom sredstva za taloženje kao što su alauni (stipsa), vapno, željezove soli i drugi organski polimeri. Nakon što se metali istalože slijedi odvajanje istaložene tvari iz čiste vode. Nastali talog se odvaja sedimentacijom, flotacijom zrakom ili filtracijom. Ako je potrebno, nakon toga se može primijeniti mikrofiltracija ili ultrafiltracija.

Reverzna osmoza je jedan od postupaka membranske filtracije. To je separacijski proces u kojem su razlike u pritisku između dva odjeljka odvojena polupropusnom membranom uzrok otjecanja vode od koncentriranije otopine k manje koncentriranoj. Otopljene tvari zaostaju na jednoj strani, a čista voda prolazi na drugu stranu. Ostali postupci membranske filtracije su mikrofiltracija, ultrafiltracija i nanofiltracija.

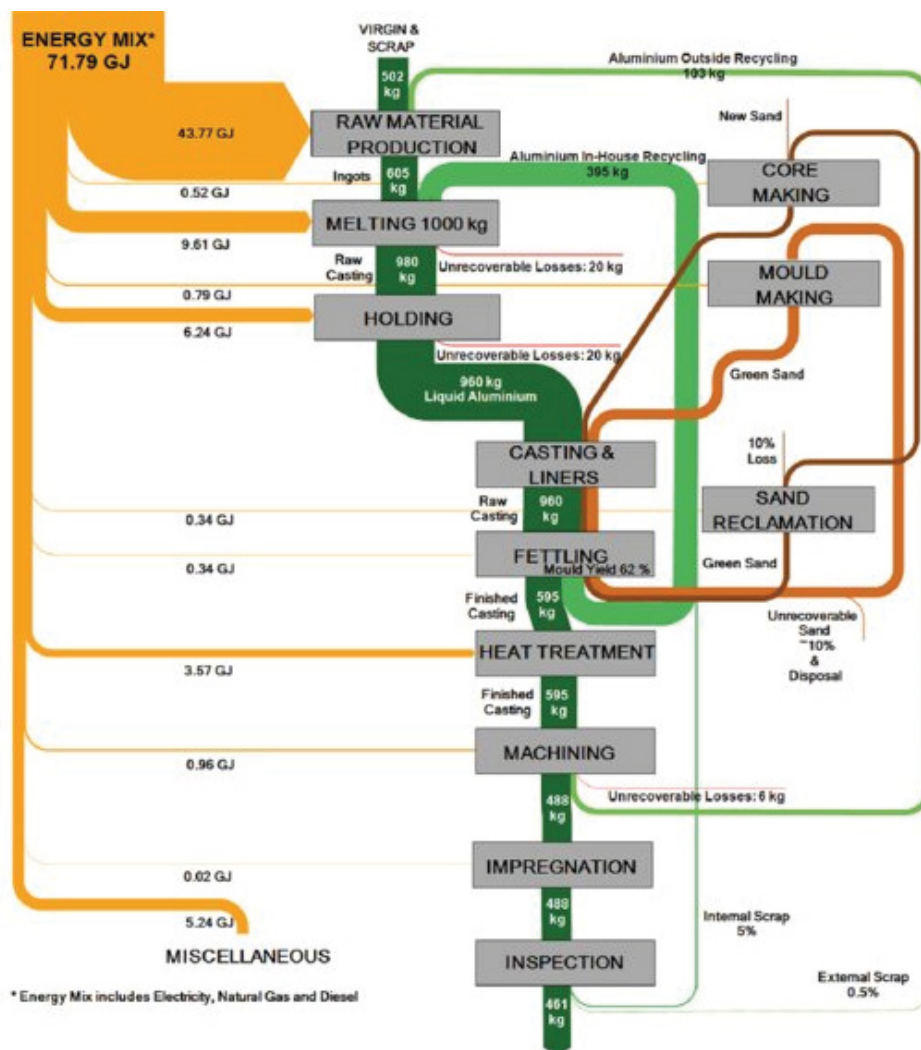
6.3 TEHNIKE ZA POSTIZANJE VODNE EFIKASNOSTI

Zbog važnosti održivog upravljanja ovim resursom potrebno je uvesti sistematski pristup te analizirati i provesti mjere smanjenja potrošnje vode i njene ponovne upotrebe. U metaloprerađivačkoj industriji uspostavljanje vodne efikasnosti postaje ključno kako bi se odgovorilo na rastuću potrebu za održivim upravljanjem resursima. Ovaj pristup ne samo da pridonosi smanjenju potrošnje vode već istovremeno minimizira okolišni utjecaj, često rezultirajući i finansijskim uštedama.

Postizanje vodne efikasnosti u metaloprerađivačkoj industriji podrazumijeva analizu potrošnje i razvijanje **plana upravljanja vodom i ocjenjivanje nivoa potrošnje vode** [91].

Izrada Plana podrazumijeva sljedeće korake: analizu početnog stanja, utvrđivanje ciljeva, prijedlog mjera i plan monitoringa implementacije i evaluacije mjera. Analiza početnog stanja podrazumijeva evidenciju svih potrošača vode te izradu vodnog bilansa i dijagrama dnevne i godišnje potrošnje. Za izradu vodnog bilansa može se koristiti Sankeyjev dijagram, koji jasno prikazuje distribuciju resursa i gubitaka u procesima. Širina linija koje se koriste u crtanju dijagrama toka proporcionalna je količini materijala ili energije (Slika 52). Izrada

Sankeyjevog dijagrama korisna je za analizu potrošnje i gubitaka svih materijalnih tokova, uključujući i osnovnu sirovinu te energiju, boje i lakove itd. Slijedi analiza rada i kontrola oštećenosti na svim potrošačima vode (proizvodnja industrijske pare, sistem za bojenje, operacije čišćenja) s ciljem detekcije gubitaka odnosno utvrđivanja curenja i propuštanja, kao i određivanja optimalne potrošnje.



Slika 52. Sankeyjev dijagram tvornice za livenje metala [89]

Na bazi analize početnog stanja postavljaju se ciljevi efikasne potrošnje vode te mjere za postizanje ciljeva koje obuhvataju tehnike poput:

- uvođenja senzora i automatizacije za upravljanje potrošnjom ili senzora za kontrolu hemijskog sastava kotlovske vode i upravljanja procesima odmuljivanja i odsoljavanja, doziranja hemikalija u procesima pripreme kupki za završnu obradu i sl.
- razdvajanja tokova otpadnih voda prema vrsti i stepenu onečišćenja kako bi se smanjio dotok vode na uređaj za prečišćavanje i omogućila ponovna upotreba vode u tehnološke svrhe ili za pranje vozila i mašina uz nikakav ili minimalan tretman.

Ovo minimalno podrazumijeva razdvajanje oborinskih od tehnoloških voda, a zatim tehnoloških voda kontaminiranih hemikalijama iz procesa obrade metala od npr. voda od odmuljivanja i odsoljavanja kotlova.

- ponovne upotrebe i/ili recikliranja vode tako da se tokovi vode (npr. tehnološka voda, otpadne vode iz mokrog ispiranja ili kupki za kaljenje) ponovo upotrebljavaju i/ili recikliraju u zatvorenim ili poluzatvorenim krugovima, ako je potrebno nakon pročišćavanja. Uvođenje zatvorenog kruga za vodu omogućava višestruku upotrebu vode unutar proizvodnog procesa (hlađenje mašina i alata tokom operacija rezanja, brušenja i oblikovanja metala, ispiranje i podmazivanje metalnih komponenti). Ovaj pristup značajno smanjuje potrebu za svježom vodom i minimizira ispuštanje otpadne vode u okoliš.
- otklanjanja oštećenja koja izazivaju curenja itd.

Treba provoditi redovne ocjene nivoa potrošnje vode kako bi se osiguralo postizanje ciljeva plana upravljanja vodom.

6.4 CIRKULARNOST OTPADNIH VODA

S obzirom na ograničene resurse vode i rastuću svijest o održivosti, metaloprerađivačka industrija sve više usmjerava pažnju na smanjenje potrošnje vode i recikliranje vode u proizvodnim procesima kako bi se smanjili negativni utjecaji na okoliš.

Ponovna upotreba otpadne vode u metaloprerađivačkoj industriji obično zahtijeva prethodnu primjenu procesa pročišćavanja kako bi se uklonile nečistoće i štetne tvari iz otpadne vode. Time je omogućena njena ponovna upotreba u glavnim ili pomoćnim proizvodnim procesima kao npr. napojna voda za kotlove. Ovo zahtijeva odgovarajuće tehnologije i investicije, ali dugoročno donosi ekonomske i okolišne koristi. Tehničke upute o najboljim raspoloživim tehnikama EU iz oblasti proizvodnje crnih i obojenih metala daju opsežan pregled cirkularnih tehnika [91], [38] kao npr:

- Otpadna voda iz postupka mokrog ispiranja ili kupki za kaljenje može se ponovo upotrebljavati za istu namjenu nakon prečišćavanja. Voda dobivena ispiranjem nakon dekapiranja ili odmašćivanja ponovo se upotrebljava, ako je potrebno nakon pročišćavanja, u prethodnim procesnim kupkama kao voda za dopunjavanje, voda za ispiranje ili, ako je koncentracija kiseline dovoljno visoka, za ponovnu upotrebu kiseline.
- Otpadne vode koje sadržavaju ulje i odgorke iz valjaonice pročišćavaju se odvojeno, primjenom različitih koraka uključujući korištenje:
 - spremnika za prikupljanje odgoraka (teške čestice sedimentiraju se na dnu spremnika usljed gravitacije),
 - spremnika za taloženje (voda se zadržava u ovim spremnicima dovoljno dugo da se teže čestice i odgorci sedimentiraju na dnu),

- filtriranja (koriste se različite vrste filtera za uklanjanje finih čestica koje se ne mogu efikasno odvojiti gravitacijom),
- ciklona (otpadna voda ulazi u ciklon, gdje se usljed rotacije inducira centrifugalna sila, što rezultira odvajanjem težih čestica od otpadnih voda. Cikloni su posebno efikasni u odvajanju čestica različitih gustina).

Ovim se metodama postiže efikasno odvajanje ulja i odgoraka iz otpadnih voda. Pročišćena voda ponovo se može koristiti u proizvodnom procesu, što doprinosi održivoj i resursno efikasnoj praksi u valjaonicama.

Primjer dobre prakse: Primjena zatvorenog sistema recirkulacije i hlađenja tehnološke vode u proizvodnji aluminijskih profila [96]

Tehnološka voda u procesu proizvodnje aluminijskih profila koristi se za hlađenje hidrauličnog ulja na presama putem izmjenjivača toplote. Zagrijana tehnološka voda koja se koristi za hlađenje ulja iz mašine za presovanje prebacuje se iz objekta proizvodnog pogona u spremnik za zagrijanu tehnološku vodu. Nakon toga putem odgovarajuće vodovodne instalacije voda se usmjerava prema rashladnom tornju radi procesa hlađenja. Nakon što se postupak hlađenja završi, voda se vraća u spremnik za rashlađenu vodu i ponovo koristi u tehnološkom postupku hlađenja hidrauličnog ulja iz mašine za presovanje.

Postupak hlađenja zagrijane tehnološke vode iz izmjenjivača toplote izvodi se reverzibilno unutar zatvorenog sistema, čime se sprječava ispuštanje vode iz proizvodnog procesa u okoliš. Recirkulacija i hlađenje tehnološke vode odvijaju se unutar pomoćnog objekta, ispod kojeg se nalazi spremnik za zagrijanu i rashlađenu vodu. Korištenjem ovog zatvorenog kružnog sistema za hlađenje uspješno se izbjegava generiranje otpadne tehnološke vode unutar sistema rashlade.

7. TEHNIKE ZA KONTROLU EMISIJA U ZRAK



7.1 VRSTE EMISIJA

Metaloprerađivačka industrija može emitirati različite plinove u atmosferu, uključujući plinove kao što su azotni oksidi (NO_x), sumporni oksidi (SO_x), ugljikovi oksidi (CO_x), volatilni organski spojevi (VOC), amonijak (NH_3), koji se mogu formirati tokom postupaka zagrijavanja, topljenja metala, odmašćivanja, zaštite od korozije, premazivanja i bojenja. Tokom aktivnosti poput rezanja, brušenja, glodanja i drugih operacija obrade metala mogu nastati čestice koje su izuzetno opasne za ljudsko zdravlje ako se udahnu. Metaloprerađivačka industrija može emitirati teške metale kao što su olovo, živa i kadmij, posebno ako se koriste u proizvodnim procesima ili su prisutni u sirovinama.

Emisije azotnih oksida (NO_x) i emisije ugljikovog monoksida (CO) i ugljikovog dioksida (CO_2) u metaloprerađivačkoj industriji proizlaze iz termičkih procesa na visokim temperaturama. NO_x obuhvata okside azota, uključujući NO i NO_2 . Za smanjenje emisija NO_x primjenjuju se strategije kao što su optimizacija procesa, kontrola temperature i korištenje goriva s nižim sadržajem azota. S druge strane, emisije CO i CO_2 potiču od sagorijevanja ugljika, a to se često dešava tokom termičkih operacija u metaloprerađivačkoj industriji. Smanjenje emisija CO_2 često zahtijeva kontrolu procesa sagorijevanja i primjenu efikasnih uređaja za kontrolu emisija [97].

Emisije volatilnih organskih spojeva (VOC) potiču iz procesa kao što su bojenje, rastvaranje i čišćenje metala, topljenje metala i proizvodnja metalnih prahova. Predstavljaju organske spojeve koji sadrže aldehide, ketone i druge ugljikovodike, te isparavaju pri sobnoj temperaturi. Kontrola emisija VOC uključuje zamjenu VOC-supstanci s rastvaračima

i premazima na bazi vode i korištenje uređaja za kontrolu emisija kako bi se smanjili negativni utjecaji na kvalitet zraka i okoliš [99].

Prilikom predobrade (bakar, aluminij, olovo, cink, kadmij, plemeniti metal, ferolegure, itd.), rukovanja ostacima metala, skladištenja i ponovne upotrebe metala može doći i do emisije dioksina, furana [90].

7.2 TEHNOLOGIJE PREČIŠĆAVANJA

U domenu tehnologija prečišćavanja zraka moguće je implementirati sljedeće tehnologije kako bi se efikasno smanjile emisije čestica i onečišćujućih tvari [91]:

Upotreba elektrostatičkih filtera, gdje se čestice nabijaju i razdvajaju pod utjecajem električnog polja. Elektrostatički filteri mogu raditi u vrlo raznolikim uvjetima. Efikasnost smanjivanja emisija može ovisiti o broju polja, vremenu zadržavanja (veličini) i prethodnim uređajima za uklanjanje čestica. Obično sadrže od dva do pet polja. Elektrostatički filteri mogu biti suhog ili mokrog tipa, ovisno o tehnici koja se primjenjuje za prikupljanje prašine iz elektroda. Mokri elektrostatički filteri obično se upotrebljavaju u fazi poliranja kako bi se uklonili ostaci prašine i kapljica nakon mokrog ispiranja.

Vrećasti filteri, koji se često nazivaju i filteri od tkanine, izrađeni su od porozne tkane ili filcane tkanine kroz koju se propuštaju plinovi kako bi se uklonile čestice. Za upotrebu vrećastog filtera potrebna je tkanina koja odgovara karakteristikama otpadnog plina i najvišoj radnoj temperaturi.

Selektivna katalitička redukcija (SCR) je tehnika koja se temelji na redukciji NO_x u elementarni azot u katalitičkom sloju reakcijom s ureom ili amonijakom pri optimalnoj radnoj temperaturi od oko 300–450°C. Veća redukcija NO_x postiže se upotrebom više nivoa katalizatora.

Selektivna nekatalitička redukcija (SNCR) temelji se na redukciji NO_x u elementarni azot reakcijom s amonijakom ili ureom na visokoj temperaturi. Raspon radne temperature održava se između 800 i 1000°C radi optimalne reakcije.

Mokro ispiranje predstavlja uklanjanje onečišćujućih tvari u obliku plinova ili čestica iz toka plina prijenosom mase u tekuće otapalo, često vodu ili vodenu otopinu. To može uključivati hemijsku reakciju (npr. u kiselom ili baznom rastvoru). U nekim se slučajevima spojevi mogu ponovo upotrijebiti iz otapala.

8. TEHNIKE ZA SMANJENJE OTPADA U METALOPRERAĐIVAČKOM SEKTORU

U sektoru metaloprerađivačke industrije proizvodnja otpada povezana je s raznovrsnim operacijama poput livenja, obrade metala, zavarivanja, montaže, površinske obrade, kontrole kvaliteta i pakiranja. Ključni okolišni izazovi u ovom sektoru obuhvataju upotrebu i zbrinjavanje maziva i rashladnih tečnosti, često zahtijevajući poseban tretman otpada. Također, čišćenje opreme koristeći vodu, rastvarače i odmašćivače stvara dodatni otpad, dok se recikliranje materijala i otpada smatra ključnim korakom u smanjenju opterećenja na okoliš. Treba obratiti pažnju i na opasne otpadne materijale generirane u procesima kao što su kiseljenje i upotreba rastvarača, za koje je potrebna posebna obrada i skladištenje zbog njihove potencijalne opasnosti za okoliš i ljudsko zdravlje. Stoga je ključno provoditi upravljanje otpadom u skladu s visokim tehničkim i zakonskim standardima kako bi se osigurala zaštita okoliša i ljudskog zdravlja te minimizirali okolišni rizici i troškovi. Poboljšanje upravljanja otpadom donosi niz prednosti koje su prikazane u sljedećoj tabeli.

Tabela 7. Prednosti efikasnog upravljanja otpadom [100]

Prednost efikasnog upravljanja otpadom	Opis
Smanjenje troškova nabavke sirovina	Identifikacijom mogućnosti za ponovnu upotrebu otpadnih proizvoda mogu se smanjiti troškovi nabavke metala i drugih sirovina, što ima direktan utjecaj na profitabilnost poslovanja.
Minimiziranje troškova tretmana i odlaganja otpada	Upravljanje otpadom na efikasan način može značajno smanjiti troškove tretmana i odlaganja otpada. Osim toga, postoji mogućnost stvaranja alternativnih izvora prihoda kroz recikliranje ili prodaju recikliranih materijala.
Smanjenje rizika od nesreća	Manje rukovanje otpadom i opasnim materijalima smanjuje rizik od nesreća i povreda na radu. Radnici su manje izloženi opasnostima kada se otpadom efikasno upravlja i kad se on minimizira.
Manje izlaganje štetnim tvarima	Bolje upravljanje otpadom znači bolju kontrolu nad potencijalno opasnim hemikalijama i materijalima. To smanjuje izlaganje radnika štetnim tvarima koje se mogu nalaziti u otpadu. Fokus na upravljanju otpadom obično podrazumijeva i veću svijest o sigurnosti među zaposlenima. Radnici postaju pažljiviji i bolje obučeni za rukovanje materijalima i opasnim otpadom.
Smanjenje potrebe za skladištenjem opasnog otpada	Efikasno upravljanje otpadom može smanjiti potrebu za dugotrajnim skladištenjem opasnog otpada, što može biti potencijalni izvor opasnosti.
Smanjenje utjecaja na okoliš	Efikasno upravljanje otpadom smanjuje negativan utjecaj na okoliš smanjenjem emisija u zrak, vodu i tlo.

**Poboljšanje ugleda
poslovanja**

Promoviranje okolišno odgovornog imidža može poboljšati ugled poduzeća i privući okolišno osviještene potrošače.

Svako poduzeće treba izraditi i provesti plan upravljanja otpadom na nivou poduzeća, uključujući i upravljanje metalnim ostacima. Plan uključuje skup mjera kojima se nastoji svesti nastajanje ostataka na najmanju moguću mjeru, optimizirati ponovna upotreba, recikliranje i/ili uporaba ostataka, te osigurati pravilno zbrinjavanje otpada.

8.1 PRIMJENA PRINCIPA LEAN-MENADŽMENTA U PROIZVODNJI

LEAN je menadžerska filozofija i skup načela koji su nastali u proizvodnji i od tada se primjenjuju u različitim industrijama i sektorima. Načela LEAN-a su prvobitno razvijena u Toyota Production System-u i od tada su široko usvojena u različitim organizacijama diljem svijeta. U kontekstu gubitaka LEAN-menadžment fokusira se na različite vrste gubitaka, ne samo na materijalne. Provedbom LEAN-strategije osim što se smanjuje količina otpada, povećava se i produktivnost radnika, smanjuje se vrijeme proizvodnje te se povećava iskorištenost ulazne sirovine [97].

Analiza gubitaka fokusira se na sljedećih sedam područja [102], [103]:

- **Prekomjerna proizvodnja** – proizvodnja proizvoda za koje nema narudžbi predstavlja gubitak vremena, osnovne i pomoćnih sirovina (energije i vode). Često je i broj zaposlenika veći nego bi to bilo potrebno da je proizvodnja usklađena sa zahtjevima tržišta, što sveukupno, uz dodatno skladištenje i transport, znači i gubitak resursa i finansijski gubitak za poduzeće.
- **Prekomjerne zalihe** – česta je pojava da se usljed nepoznavanja stvarnih potreba i dinamike proizvodnje usklađenoj prema potražnji tržišta stvara višak sirovina, poluproizvoda ili gotovih proizvoda u skladištima. To može rezultirati gubitkom sirovina, poluproizvoda ili proizvoda usljed zastarijevanja i oštećenja, što povećava količinu otpada i finansijske gubitke. Istovremeno, zbog zauzetosti skladišnih prostora nepotrebnim materijalima i robama ne mogu se uskladištiti potrebni. Ovo onemogućava proizvodnju prema zahtjevima tržišta, izaziva kašnjenja u dostavi, zastoje u proizvodnji i sl.
- **Nepotreban transport** – nepotreban transport sirovina i poluproizvoda tokom proizvodnje na veće udaljenosti uzrokovan je lošim rasporedom skladišta i mašina za obradu. Ova analiza odnosi se i na nepotrebna kretanja zaposlenika.
- **Nepotrebni pokreti** – organizacija proizvodnje i neposrednog radnog okruženja treba biti takva da ne dozvoli nikakav nepotreban pokret zaposlenika tokom proizvodnje, poput traženja materijala i alata, slaganja proizvoda i alata, hodanja zaposlenika od jednog do drugog radnog mjesta i sl.

- **Čekanje** – organizacija i dinamika proizvodnje trebaju biti takve da poluproizvod prelazi s jednog mjesta obrade na drugo bez zastoja. Ako zaposlenik na svom radnom mjestu čeka da se na drugoj radnoj stanici završi obrada poluproizvoda, ili mu je poluproizvod dostavljen na obradu, a on mijenja alat i sl., to predstavlja gubitak vremena i novca.
- **Prekomjerna ili nepotrebna obrada** poluproizvoda koja se radi, a ne povećava vrijednost proizvoda odnosno kvalitet proizvoda, veća je od one koju očekuje kupac i on nije spreman platiti dodatni novac. Drugi način je obrada koja se radi zbog upotrebe lošeg alata za obradu i pogrešne konstrukcije, što dovodi i do grešaka u proizvodu, pa proizvod postaje škart.
- **Greške u proizvodu** – različiti su ljudski ili tehnološki uzroci pojave grešaka u proizvodu, koji najčešće rezultiraju time da se proizvod deklarira kao škart i odbacuje, ili se dodatno obrađuje i kontrolira, kako bi se greška popravila. Kao i u slučaju prethodnih gubitaka, ovo znači gubitak vremena, resursa i novca.

Za rješavanje navedenih sedam gubitaka LEAN zagovara primjenu različitih pristupa koji dovode do optimizacije procesa i smanjenja gubitaka. Prvi korak koji se treba poduzeti za implementaciju LEAN-koncepta za upravljanje proizvodnjom je **analiza postojećeg načina upravljanja**. Koristeći alate i metodologije za procjenu trenutnih procesa mogu se identificirati područja u kojima se rasipaju resursi, generiraju nepotrebni troškovi i smanjuje produktivnost. Ovi podaci koriste se za razvoj ciljanih rješenja, odnosno izbora mjera, za optimizaciju proizvodni procesa, smanjenje gubitaka i povećanje cjelokupne efikasnosti. Krajnji rezultat ove aktivnosti je plan za uvođenje LEAN-načina upravljanja u poduzeće. Obično se ovaj korak izvodi uz pomoć vanjskih stručnjaka koji će upravi i osoblju poduzeća pomoći u identifikaciji problema i traženju rješenja. Neke od često primjenjivanih metoda koje se koriste za eliminaciju gubitaka su:

- **Proizvodnja “upravo na vrijeme”** (engl. *just in time*). U cilju **minimiziranja inventara** primjenjuje se proizvodnja “upravo na vrijeme”, koja podrazumijeva svođenje zaliha na minimalni nivo potreban za zadovoljavanje proizvodnih potreba. Ovo pomaže u smanjenju troškova skladištenja, minimiziranju otpada i poboljšanju protoka novca. Važno je imati pouzdanu mrežu dobavljača i sistem planiranja proizvodnje kako bi se osiguralo da materijali budu dostupni kada je to potrebno [104].
- **Optimizacija radnih procesa** kako bi se povećala efikasnost proizvodnih procesa. Dvije popularne tehnike su mapiranje procesa i mapiranje toka vrijednosti. Mapiranje procesa uključuje stvaranje vizualnog prikaza trenutnog proizvodnog procesa, uključujući korake, ulaze, izlaze i sva uska grla ili neefikasnosti. To pomaže identificirati područja u kojima se procesi mogu pojednostaviti ili eliminirati. Mapiranje toka vrijednosti je dublji proces koji preslikava cijeli tok vrijednosti proizvoda od sirovina do isporuke kupcu. To pomaže u prepoznavanju otpada i neefikasnosti u cijelom procesu, uključujući protok materijala, informacija i ljudi. Za mapiranje procesa često se koristi tzv. metoda Kanban, koja ima tri važne komponente: vizualizaciju toka radnog procesa, ograničenja u toku radnog procesa (engl. *work in progress*) i vrijeme radnog ciklusa. Za vizualizaciju radnog toka može se koristiti ploča Kanban s prikazom pojedinačnih aktivnosti u cijelom lancu vrijednosti kroz koje zadatak mora proći prije nego što se izvrši [105]. Cilj je postići optimizirane i standardizirane radne procedure i uključiti

zaposlenike da predlažu poboljšanja i pojednostavljenja proizvodnih procesa.

- **Kontinuirano unapređivanje** LEAN-proizvodnje “Kaizen” jedan je od principa LEAN-proizvodnje koji podrazumijeva stalno unapređivanje proizvodnje i težnju ka savršenstvu. To se može postići uspostavljanjem kulture kontinuiranog unapređenja, gdje se zaposlenici ohrabruju da identificiraju područja gubitaka i predlažu poboljšanja. Većina organizacija koje provode procese poboljšanja tipa Kaizen uspostavile su metode i temeljna pravila koja su dobro komunicirana u organizaciji i ojačana obukom zaposlenika [106]. Kontinuirani napredak može se pratiti korištenjem ploče za vizualizaciju Kanban. Poduzeća mogu također koristiti metrike poput ukupnog produktivnog održavanja (engl. Total Productive Maintenance – TPM) i ukupne efikasnosti opreme (engl. Overall Equipment Effectiveness – OEE) i kako bi pratili napredak i identificirali prilike za unapređenje. Održavanje opreme značajno doprinosi efikasnosti proizvodnog procesa, a uz troškove energije troškovi održavanja mogu biti najveći dio svakog operativnog proračuna. Stoga uloga održavanja u modernim proizvodnim poduzećima postaje još važnija, a poduzeća prihvataju održavanje kao poslovni element koji stvara profit. Koncept TPM koristi se za održavanje opreme u optimalnom stanju kako bi se spriječili neočekivani kvarovi i nedostaci kvaliteta na proizvodu koji nastaju usljed lošeg funkcioniranja opreme. TPM se koristi za maksimiziranje efikasnosti opreme tokom njenog životnog vijeka [107]. Ukupna efikasnost opreme (OEE) je mjerni alat razvijen iz koncepta TPM-a čiji je cilj postizanje nulte stope kvarova i nulte greške povezane s opremom. Posljedica smanjenja kvarova i nedostataka je poboljšanje stope proizvodnje, smanjenje troškova i zaliha i na kraju povećanje produktivnosti rada. OEE se definira kao mjera ukupne izvedbe opreme. Koristi se za identifikaciju gubitaka uzrokovanih opremom. [108].
- **Automatizacija proizvodnih procesa** – Investicije u automatizaciju i tehnologije igraju ključnu ulogu u smanjenju gubitaka i povećanju efikasnosti u procesima proizvodnje. Automatiziranjem ponavljajućih i radno intenzivnih zadataka kompanije mogu povećati stope proizvodnje i smanjiti vjerovatnost ljudskih grešaka. Tehnologija kao što su senzori i sistemi za praćenje može pomoći u identifikaciji područja neefikasnosti i gubitaka, omogućavajući ciljana poboljšanja.
- **Korištenje metoda upravljanja resursima** kao što je MRP (engl. Materials Requirements Planning) i ERP (engl. Enterprise Resource Planning) može optimizirati lanac nabavke i upravljanje zalihama, dodatno smanjujući gubitke i poboljšavajući efikasnost. MRP ili sistem planiranja zahtjeva za materijalima je sistem planiranja proizvodnje/nabavke kojim se planira raspored nabavke repromaterijala za pojedine komponente gotovog proizvoda. Plan rasporeda nabavke i trenutka kada će se proizvesti komponenta i/ili cijeli proizvod usklađen je prema traženom vremenu isporuke od kupca. MRP-sistemom obično se upravlja na računarima i ovisno o kupljenom softveru mogu se povezati s kompjuterskim sistemom kontrole inventara i proizvodnim kompjuterskim sistemom za praćenje proizvodnje, inventara i završne robe na zalihama [105]. ERP, odnosno planiranje resursa poduzeća, sveobuhvatniji je informacijski sistem koji integrira različite aspekte poslovanja, uključujući proizvodnju, nabavku, prodaju, ljudske resurse, finansije i mnoge druge funkcije. ERP integrira dobavljače i kupce s proizvodnim okruženjem organizacije. Naprimjer, kupovina unesena u modul za

narudžbu prosljeđuje narudžbu proizvodnoj aplikaciji, koja zauzvrat šalje zahtjev za materijale modulu lanca snabdijevanja, koji dobiva potrebne dijelove od dobavljača i koristi logistički modul da ih dostavi u tvornicu. Tradicionalni aplikacijski sistemi koje organizacije općenito koriste tretiraju svaku transakciju zasebno. ERP prestaje te transakcije tretirati odvojeno kao samostalne aktivnosti i smatra ih dijelom međusobno povezanih procesa koji čine poslovanje. ERP omogućava kompanijama da centraliziraju svoje poslovne informacije, automatiziraju procese i poboljšavaju efikasnost i komunikaciju unutar poduzeća [110].

- Implementacija principa LEAN-proizvodnje zahtijeva kulturnu promjenu i važno je uključiti zaposlenike na svim nivoima u procesu. To se može postići pružanjem obuke o principima LEAN-proizvodnje i osnaživanjem zaposlenika da identificiraju područja nastanka gubitaka i predlažu poboljšanja. Uključivanjem zaposlenika u proces kompanije mogu stvoriti kulturu kontinuiranog unapređenja i osigurati da se principi LEAN-proizvodnje potpuno implementiraju u proizvodne operacije.

8.2 CIRKULARNOST OSTATAKA IZ METALOPRERAĐIVAČKE INDUSTRIJE

Usvajanje načela cirkularne ekonomije ključno je za industrijsku i društvenu transformaciju ka zelenim poslovnim modelima, te predstavlja bitan doprinos ostvarenju ciljeva Pariškog sporazuma. Kao materijal s mogućnošću recikliranja bez gubitka svojstava, čelik igra značajnu ulogu u cirkularnoj ekonomiji. Od 1900. godine svjetska industrija čelika reciklirala je preko 25 milijardi tona čelika, što je rezultiralo smanjenjem potrošnje željezne rude za oko 33 milijarde tona, uz istovremeno smanjenje potrošnje uglja za 16 milijardi tona.

Reciklirani čelik zadržava svoja osnovna svojstva, koja se mogu dalje prilagoditi tokom procesa ponovne proizvodnje čelika ili putem mehaničkih postupaka obrade. Visoka vrijednost čeličnog otpada osigurava ekonomsku isplativost recikliranja. Zahvaljujući svojim magnetskim svojstvima čelik se lako i pristupačno reciklira iz većine tokova otpada, što ga čini najviše recikliranim materijalom na svijetu.

U 2021. godini reciklirano je oko 680 miliona tona čelika, čime je izbjegnuto emitiranje više od jedne milijarde tona CO₂, što bi se inače stvorilo proizvodnjom novog čelika [111]. To uključuje otpad nastao tokom obrade čelika u proizvodnji finalnih proizvoda i otpad od proizvoda od čelika nakon isteka njihovog vijeka trajanja.

U nastavku se daju primjeri cirkularnosti ostataka iz metaloprerađivačke industrije [92]:

- **Predobrada zauljenih odgoraka iz postupka toplotne obrade radi dalje upotrebe** uključuje tehnike briketiranja ili peletiranja, smanjenja sadržaja ulja na zauljenim odgorcima iz postupka toplotne obrade, npr. toplotnom obradom, pranjem i flotacijom.
- **Upotreba odgoraka iz postupka toplotne obrade** – odgorci se prikupljaju i upotrebljavaju na lokaciji ili izvan nje, npr. u proizvodnji željeza i čelika ili u proizvodnji

cementa.

- **Upotreba metalnog otpada iz mehaničkih postupaka** (npr. iz postupaka podrezivanja i završne obrade) upotrebljava se u proizvodnji željeza i čelika.
- **Recikliranje metala i metalnih oksida nastalih suhim pročišćavanjem otpadnih plinova** – gruba frakcija metala i metalnih oksida koji potiču iz suhog pročišćavanja (npr. vrećastim filterima) otpadnih plinova iz mehaničkih postupaka (npr. skidanja srhova plamenom ili brušenja) selektivno se izolira mehaničkim tehnikama (npr. sitima) ili magnetskim tehnikama te se reciklira npr. za proizvodnju željeza i čelika.
- **Upotreba uljnog mulja od odmašćivanja** – mulj se odvodnjava kako bi se recikliralo ulje sadržano u njemu za uporabu materijala ili energije. Ako je sadržaj vode nizak, mulj se može direktno upotrijebiti.
- **Toplotna obrada hidroksidnog mulja iz uporabe smjese kiselina** – mulj koji nastaje uporabom smjese kiselina toplotno se obrađuje kako bi se proizveo materijal bogat kalcijevim fluoridom, koji se može koristiti u konvertorima za dekarburizaciju argonom i kisikom.
- **Oporaba sredstva za pjeskarenje sačmom** – ako se mehaničko skidanje odgoraka vrši pjeskarenjem sačmom, sredstva za pjeskarenje sačmom odvajaju se od odgoraka i ponovo upotrebljavaju.

9. SMJERNICE ZA UVOĐENJE ZELENIH POSLOVNIH MODELA

Put poduzeća u uvođenju zelenih poslovnih modela započinje odlukom uprave da poboljša procese upravljanja resursima poduzeća (materijalnim, finansijskim i ljudskim) kako bi minimizirali pritisak na okoliš, postali produktivniji i profitabilniji i kako bi zadovoljili zahtjeve kupaca.

Proces započinje analizom stanja, koja uključuje utvrđivanje trenutnog načina proizvodnje u tehnološkom i organizacijskom smislu, te potrošnje osnovnih i pomoćnih resursa.

Cilj ove analize je utvrđivanje materijalnog bilansa proizvodnog procesa i pokazatelja uspješnosti za važne aspekte okoliša (potrošnja vode, energije, osnovnih i pomoćnih resursa, količina i sastav otpada, otpadne vode i emisija u zrak, karbonski otisak, udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije, stepen reciklaže i uporabe materijala itd.). Ovi pokazatelji obično se izražavaju u odnosu na jedinicu proizvoda kako bi se utvrđene vrijednosti uporedile s vrijednostima istih pokazatelja kod drugih poduzeća unutar sektora. Povećane vrijednosti pokazatelja u odnosu na druga poduzeća ukazuju na problem prekomjerne potrošnje resursa ili probleme s emisijama. Analizom je obuhvaćena i procjena sastava i štetnosti sirovina kako bi se upotrebljavale sirovine s malim utjecajem na okoliš. Analizom se u konačnici utvrđuju kritične tačke u kojima dolazi do gubitka resursa i mogućih rizika za okoliš (ili zdravlje ljudi).

Metode provedbe analize mogu uključivati provedbu okolišnog audita koji izvodi tim kompanije, sa ili bez pomoći vanjskih stručnjaka. Metoda okolišnog audita može biti dopunjena metodama koje se koriste u okviru LEAN-koncepta, a kojima se može utvrditi mjesto i uzrok nastanka gubitaka (Poglavlje: Primjena principa LEAN-menadžmenta u proizvodnji).

Na bazi utvrđenog stanja i zahtjeva domaćih i međunarodnih politika i propisa utvrđuju se ciljevi za efikasno upravljanje resursima i emisijama, iskazani u odnosu na pokazatelje početnog stanja.

Slijedi planiranje potrebnih postupaka i radnji (uključujući preventivne i korektivne mjere) za postizanje ciljeva zaštite okoliša i izbjegavanje rizika za okoliš, utvrđivanje strukture, uloge i odgovornosti u odnosu na utvrđene ciljeve te osiguravanje potrebnih finansijskih i ljudskih resursa. Od velike je važnosti poticanje učešća zaposlenika u procesu izrade plana. U odnosu na postizanje ciljeva zaštite okoliša planom se pokrivaju najmanje sljedeći segmenti:

- program mjera za postizanje energijske efikasnosti i povećanje korištenja obnovljivih izvora energije,
- program mjera za postizanje vodne efikasnosti i smanjenje tereta zagađenja u

otpadnim vodama,

- program mjera minimiziranja otpada i konačnog zbrinjavanja,
- plan efikasnog upravljanja hemikalijama,
- program mjera za efikasno upravljanje emisijama u zrak,
- plan zamjene štetnih sirovina.

Plan može sadržavati i programe za smanjenje ukupnih gubitaka baziranih na LEAN-principima.

Pored tehničkih mjera (od kojih su neke navedene i opisane u prethodnim poglavljima) Plan treba sadržavati i program mjera informiranja i obučavanja zaposlenika, kako bi se osigurala potrebna stručnost i osviještenost osoblja čiji rad može utjecati na okolišnu efikasnost postrojenja. Utvrđuju se i plan i način praćenja uspješnosti implementacije, koji sadrži pisane postupke za kontrolu aktivnosti i vođenje evidencije.

Tokom implementacije poduzeće treba periodično vršiti nezavisnu unutrašnju reviziju i kao i periodičnu nezavisnu vanjsku reviziju kako bi se ocijenila okolišna efikasnost i utvrdilo da li se planiranim mjerama postižu utvrđeni ciljevi. U slučaju odstupanja utvrđuju se uzroci neusklađenosti, a u slučaju postojanja neusklađenosti uvode se korektivne mjere.

Ovo je neprekinuti proces, utemeljen na PDCA-ciklusu (engl. Plan, Do, Check, Act – Planiranje, primjena, provjera, poboljšanje) i koji se ciklično ponavlja, kako bi postignuti rezultati bili što bolji, a ljestvice postavljenih ciljeva podignute na viši nivo.

U ovom procesu poduzećima može biti od velike pomoći uvođenje nekih od standarda ili kombinacija zelenih standarda poput [112]:

- Sistema upravljanja okolišem prema **ISO 14001**, koji se fokusira na identifikaciju, praćenje i smanjenje negativnih utjecaja kompanije na okoliš, uključujući utjecaje uzrokovane njenim operacijama, proizvodima ili uslugama. Standard potiče održivost, smanjenje otpada i resursnu efikasnost, te poštivanje relevantnih okolišnih zakona i propisa. Jedan od glavnih zahtjeva ovog standarda su „obaveze usklađenosti“. To su obaveze koje kompanija samostalno određuje na temelju procjene prilika i rizika u odnosu na aspekte okoliša, okolišne ciljeve i dobrovoljne obaveze.
- **ISO 14040** opisuje načela i okvir za procjenu životnog ciklusa (engl. Life Cycle Assessment – LCA) uključujući: definiciju cilja i opsega LCA, fazu analize inventara životnog ciklusa, fazu procjene utjecaja životnog ciklusa izvješćivanje i kritički pregled LCA, ograničenja LCA, odnos između faza LCA i uvjete za korištenje vrijednosnih izbora i izbornih elemenata. Smjernice za provedbu i zahtjevi navedeni su u ISO 14044.
- Standard **ISO 14064** daje jasne smjernice i zahtjeve za kvantificiranje i verificiranje emisija u inventaru stakleničkih plinova – kako na organizacijskom, tako i na projektnom nivou. Serija standarda ISO 14064 sastoji se od tri standarda (ISO 14064-1, ISO 14064-2 i ISO 14064-3). Standard ISO 14064-1 predstavlja osnovu za proračun emisija stakleničkih plinova kompanije, odnosno za utvrđivanje korporativnog karbonskog otiska (engl. *Corporate Carbon Footprint – CCF*). Njegov sadržaj temelji se

na Protokolu o stakleničkim plinovima (engl. *Greenhouse Gas – GHG Protocol*), kojim se standardizira proračun karbonskog otiska. ISO 14064-2 predstavlja vodič koji se može koristiti za praćenje uklanjanja stakleničkih plinova ili smanjenja emisija na nivou projekta. ISO 14064-3 predstavlja osnovu za verifikaciju proračuna karbondioksida. Kompanije mogu pratiti emisije primjenom sva tri standarda, što olakšava provođenje i razvoj projekata za uklanjanje stakleničkih plinova.

- **ISO 14067** pruža kompanijama sveobuhvatnu metodologiju za proračun karbonskog otiska proizvoda. Razlika je u tome što se fokusira na kvantificiranje karbonskog otiska proizvoda, dok su pitanja upravljanja okolišem obrađena u seriji standarda ISO 14000. Uvedene su i posebne preporuke za proračun emisija stakleničkih plinova iz šuma i poljoprivrednih proizvoda.
- **ISO 50001** je međunarodni standard za upravljanje energijom koji pruža jasne zahtjeve za uspostavljanje, upravljanje i poboljšanje energetske efikasnosti i potrošnje energije unutar organizacija.

Kroz provođenje ovih standarda kompanije mogu pokazati svoju posvećenost održivosti, bolje razumjeti utjecaj svojih proizvoda na okoliš te primijeniti mjere za smanjenje karbonskog otiska, što je važan korak u postizanju ciljeva održivog razvoja i borbu protiv klimatskih promjena. Većina standarda temelji se na PDCA-ciklusu, što im osigurava visok stepen međusobne kompatibilnosti, kao i kompatibilnosti s drugim ISO-standardima poput ISO 9001. Integracija s drugim standardima omogućava organizacijama iskorištavanje sinergije i efikasno upravljanje resursima.

10. LITERATURA

1. OECD (2018). Global Material Resources Outlook to 2060
2. Mancini, L., De Camillis, C., Pennington, D., (2013), Security of supply and scarcity of raw materials: Towards a methodological framework for sustainability assessment, Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre, European Commission, ISBN 978-92-79-32520-5
3. Vodič za metodologiju izračuna faktora emisija i uklanjanja stakleničkih plinova, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja RH, dostupno na: <https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/KLIMA/Vodic%20o%20metodologiji.pdf>, pristupljeno u januaru 2024.
4. Guidance Document on CBAM Implementation for Installation Operators Outside the EU, European Commission, October 2023.
5. Prilog I. Uredba (EU) 2023/956 Evropskog parlamenta i Vijeća o uspostavljanju mehanizma za prekogranično poravnanje emisija ugljika
6. Vanjsko trgovinska komora BiH, (2019), Metal Construction and Engineering
7. Pucar., S Pepić., A., (2016), Sektorska studija o inovativnim kapacitetima i potencijalima firmi, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
8. Waeltring, F., (2023), Trendovi i zahtjevi zelene tranzicije za MSP iz sektora prerade metala i drveta, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
9. Oberhausen, G., Yongxian Z., Cooper D., (2022), Reducing the environmental impacts of aluminum extrusion, Resources, Conservation and Recycling, Volume 179
10. Agencija za statistiku BiH, (2021), Statistika energije, električna i toplotna energija, Saopćenje broj 14
11. Kermeli, K., Deuchler, R., Worrell, E., & Masanet, E. (2016). Energy efficiency and cost saving opportunities for metal casting.
12. The Energy Foundation, Saving Energy In Industry: Energy Management in a Metal Fabrication Factory, Good practice case studies, Case study No. 3
13. Sarajevska regionalna razvojna agencija SERDA, (2023), Podrška MSP u energijskoj tranziciji u KS
14. UNDP, (2022), Implementacija principa zelene hemije u industriji, Izvještaji o auditima, Centar za energiju, okoliš i resurse CENER21
15. Schneider katalog (50/60 Hz, 380...480 V, Trofazni – namjenski procesni uređaji,

podešeni za rad sa ventilatorima i pumpama)

16. Natural Resources Canada, (2009), Variable frequency drives: Energy Efficiency Reference Guide
17. Antonopoulos, I., Canfora, P., Gaudillat, P., Dri, M., Eder, P., (2020), Best Environmental Management Practice in the Fabricated Metal Product Manufacturing sector, Circular Economy and Industrial Leadership Unit, Joint Research Centre, European Commission, ISBN 978-92-76-14299-7, doi:10.2760/894966
18. Johnson, R., Industrial Lighting Best Practices, Pristupljeno: decembar 2023 na <https://studylib.net/doc/18783133/industrial-lighting-best-practices>
19. Natural Lighting in factories, Architects and Consultants, Green design, Total Design, dostupno na: <https://besten.in/2022/10/natural-lighting-design-by-architects-for-green-factories/>, pristupljeno u decembru 2022.
20. Bonilights, dostupno na: <https://bonilights.com/about-us/>, pristupljeno u decembru 2023.
21. Modern Casting, (2011). Lamp Swap Saves Lufkin Foundry \$200,000 a Year. Modern Casting, October 2011. p 53. dostupno na: <http://www.afsinc.org/multimedia/modernCasting.cfm?navItemNumber=511.>, pristupljeno: januar 2024
22. Energy.Gov, (n.d), LED Lighting: Energy Saver, dostupno na: <https://www.energy.gov/energysaver/led-lighting>, pristupljeno: decembar 2023
23. Saidur, R., N.A. Rahim, and M. Hasanuzzaman, A review on compressed-air energy use and energy savings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010. 14(4): p. 1135-1153.
24. LIR Evolucija. Primjeri mjera poboljšanja energetske efikasnosti u drvnj i metaloprerađivačkoj industriji
25. Galitsky, C., Worrell, E., (2008), Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Vehicle Assembly Industry: An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers, United States: N. p., 2008. Web. doi:10.2172/927881
26. F. da Cunha, I., (2007), COMPRESSED AIR Energy Efficiency Reference Guide, CEATI, CESIG
27. D. Šešlija, D., (2009), Vodič za povećanje energetske efikasnosti pneumatskih sistema, MEEIS, SIEEN, ISBN 978-86-7083-680-8
28. LDK, EBRD, Obuka iz oblasti industrijske energetske učinkovitosti za konsultante koji rade s MSP u BiH: Komprimirani zrak
29. United States Department of Energy (DOE), 2003c. Ohio Aluminum Industries: Compressed Air System Improvement Project Saves Energy and Improves Product Quality. Best Practices Case Study. Industrial Technologies Program (ITP), Washington, D.C.

30. Kompresori.ba, (n.d.), dostupno na: <https://kompresori.ba/>, pristupljeno: decembar 2023.
31. Kaeser Compressors, (n.d), Heat Recovery Systems
32. Technifus.com, (n.d.), Vrste vijčanih kompresora i njihove prednosti, dostupno na: <https://hr.technifus.com/dlya-sada/kompresor/vintovoj.html>, pristupljeno: decembar 2023
33. Bosch-professional, Dostupno na <https://www.bosch-professional.com/hr/hr/puhala-s-usisavacem-za-prasinu-131492-ocs-c/>, pristupljeno: decembru 2023.
34. Brecher, C., Bäuml, S., Jasper, D., Triebs, J. (2012). Energy Efficient Cooling Systems for Machine Tools. In: Dornfeld, D., Linke, B. (eds) Leveraging Technology for a Sustainable World. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29069-5_41
35. Kostadin T., Cukor G., Mihalić, T., Primjena ekoloških načela u obradi metala odvajanjem čestica, UDK 621.9:504.06, Sigurnost: časopis za sigurnost u radnoj i životnoj okolini , Vol. 61 No. 2, 2019.
36. Dubey V., Sharma A.,K., Singh R., K, (2020), Study of various cooling methodology used in machining processes, Materials Today: Proceedings, Volume 21, Part 3, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.092>.
37. Kawade, P., Bokade, S., (2022), Review of cooling techniques used in metal cutting processes, <https://doi.org/10.1080/2374068X.2022.2109668>
38. Aries, E., Gómez Benavides, J., Mavromatis, S., Klein, G., Chronopoulos, G., Roudier, S., (2022), Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Ferrous Metals Processing Industry, Joint Research Centre, European Commission, ISBN 978-92-76-59143-6, doi: 10.2760/196475
39. HYDAC, (n.d.), Save energy in automotive plants by converting the machine tools to efficient water-cooling systems: HYDAC – your partner for energy-efficient cooling solutions in machine tools, dostupno na: <https://www.hydac.com/en/save-energy-with-efficient-water-cooling-systems/>, pristupljeno: decembar 2023.
40. Ics cool energy, (n.d.), Free-cooling offers 59% energy saving , dostupno na: www.icscoolenergy.com, pristupljeno: decembar 2023.
41. A. Michaelson, D., T. Sparrow, F., (1995). Energy Efficiency in the Metals Fabrication Industries, ACEEE 1995, Summer Study on Energy Efficiency in Industry, New York, 1-4 August 1995
42. Energy Efficiency Potentials in Industrial Steam Systems in China- Development of a steam systems energy efficiency cost curve, (2014), UNIDO
43. Jankes, G., Stamenić, M., Jovanović, A., (2009), Bilten MEEIS, Oblast: Gazdovanje energijom, Odmuljivanje i odsoljavanje industrijskih kotlova, MEEIS, ISBN 978-86-7083-680-8

44. Uredba o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije, Službene novine FBiH, broj 26/20
45. Fejzić, J., Buljubašić, I., Čehajić, M., (2022), Mogućnosti uštede vode i iskorištenja otpadne toplote iz procesa odmuljivanja i odsoljavanja industrijskih parnih kotlova, 35. Međunarodni kongres o procesnoj industriji
46. Fawkes, S., Oung, K., Thorpe, D., (2023), Najbolje prakse i studije slučaja za poboljšanje energijske efikasnosti u industriji, Institut za privredni inženjering Zenica, ISBN 978-9926-543-00-6 1
47. What to Know About Boiler Insulation, firwin, dostupno na: <https://www.firwin.com/blog/what-to-know-about-boiler-insulation/>, pristupljeno u decembru 2023.
48. Web-stranica, pristupljeno u januaru 2024. na <https://m.indiamart.com/proddetail/boiler-insulation-service25555695830.html?pos=6&pla=n>
49. Web-stranica, pristupljeno u januaru 2024. na <https://www.indiamart.com/proddetail/boiler-insulation-covers-12645966697.html>
50. Web-stranica, pristupljeno u januaru 2024. na <https://www.boiler-planning.com/en/efficiency/increasing-efficiency-at-the-boiler-and-system/insulation.html>
51. Web-stranica, pristupljeno u januaru 2024. na <https://blog.thermaxjackets.com/boiler-pipe-insulation>
52. Web-stranica, pristupljeno u januaru 2024. na <https://www.indiamart.com/proddetail/industrial-steam-boiler-insulation-23086081912.html>
53. US Departement for Energy, Energy Tips, Insulate Steam Distribution and Condensate Return Lines, dostupno na: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f16/steam2_insulate.pdf, pristupljeno u decembru 2023.
54. Simić, S., Orašanin, G., Golubović, D., Blagojević, J., & Milić, D. (2017). Uticaj toplotne izolacije na smanjenje gubitaka energije u industrijskim i energetske postrojenjima. Zbornik Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji – Processing, 30(1), 225-230
55. Valve insulation, dostupno na <https://www.esone.com/what-is-valve-insulation-works-for/> pristupljeno: januar 2024
56. Pump insulation covers, dostupno na: <https://www.fittightcovers.com/applications/pump-insulation-covers/> pristupljeno: januar 2024
57. Lawrence Berkeley National Laboratory, Washington, DC, Resource Dynamics Corporation Vienna, VA. Improving Steam System Performance: A Sourcebook for Industry, Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, 2002.
58. Einstein, D., Worrell, E., & Khrushch, M. (2001). Steam systems in industry: Energy use and energy efficiency improvement potentials, Lawrence Berkeley National Laboratory, Washington, DC

59. Simić, S., Stanojević, M., & Džudželića, Ž. (2017). Razmatranje mogućnosti iskorišćenja otpadnog kondenzata u cilju racionalizacije potrošnje energije u rafinerijama. Zbornik Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji –Processing, 27(1).
60. Povrat kondenzata i njegov energetska značaj, dostupno na: <https://ibej.ba/bs/novosti/povrat-kondenzata-i-njegov-energetski-znacaj/58>, pristupljeno: januar 2024
61. J. R. Simplot: Burner Upgrade Project Improves Performance and Saves Energy at a Large Food Processing Plant, Best practices, Case study, 2005., dostupno na: <https://www.osti.gov/biblio/15020346> pristupljeno: januar 2024
62. United States Department of Energy (DOE), 2006a. Aluminum Foundry: Pennex Aluminum Company, Wellsville, PA, Implements Major Recommendations. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C.
63. Deutsche Edelstahlwerke (DEW) GmbH, (2010). Bericht zur nachhaltigen Entwicklung 2010. dostupno na: www.dew-stahl.com., pristupljeno: decembar 2023.
64. Prelec, Z., Brodski generatori pare, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
65. Energetske transformacije, dostupno na: https://enerpedia.net/index.php/ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE, pristupljeno: januar 2024
66. Generatori pare, dostupno na: https://sh.wikipedia.org/wiki/Zagreja%C4%8D_vode#/media/Datoteka:Generator_pare_2.png, pristupljeno: januar 2024
67. Tanasić, V., Mladenović, M., & Tanasić, N. (2017). Tehno-ekonomska analiza ekonomajzera vrelovodnog kotla na osnovu merenja ostvarene toplotne snage na toplani Konjarnik. Zbornik Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji – Procesing, 28(1), 127-134.
68. Urošević, D. (2014): Razvoj modela za energetska vrednovanje složenih kogenerativnih postrojenja, Doktorska disertacija Univerzitet u Novom Sadu
69. Gvozdenac-Urošević, B., Jankes, G., (2009), Kombinovana proizvodnja električne i toplotne energije, MEEIS, SIEEN, ISBN 978-86-7083-680-8
70. Research Institutes of Sweden (RISE), Heat Pump Centre (2019), Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems, Heat Pump Centre, Borås, Sweden
71. David, A., Mathiesen, B.V., Averfalk, H., Werner, S., Lund, H. Heat roadmap Europe: large-scale electric heat pumps in district heating systems, Energies, Vol 10, Issue. 4, pp 578, 2017.
72. De Boer, R., Marina, A., Zühlsdorf, B., Arpagaus, C., Bantle, M., Wik, V., ... & Benson, J. (2020). White paper: Strengthening Industrial Heat Pump Innovation - Decarbonizing Industrial Heat
73. Iets, (n.d.), Application of Industrial Heat Pumps, IEA Industrial Energy-related Systems and Technologies Annex 13, IEA Heat Pump Programme Annex 35, Final Report

74. Arnitz A, Rieberer R, Wilk V, Unger H, Schlemmer P. Waste Heat Recovery at the Steel and Rolling Mill “Marienhütte”, Graz (Austria). Heat Pumping Technologies Magazine, 2019; 2
75. Wilk, V., Krämer, J., Arnitz, A., Rieberer, R. (2019). Industrial Heat Pumps, second Phase (IEA Heat Pumping Technologies TCP Annex 48) Task 2: Structuring information on industrial heat pumps and preparation of guidelines, Austrian Report Austria, 2019.
76. Krauter, S. C. W. (2006), Solar Electric Power Generation – Photovoltaic Energy Systems. Berlin: Springer, ISBN: 3-540-31345-1
77. Uputa za projektiranje Viessmann, publikacija firme Viessmann. Dostupno na: <https://docplayer.gr/62443962-Viesmann-vitosol-uputazaprojektiranje-vitosol-300-t-suncevi-kolektori-viessmann-prikladni-za-svaku-potrebu-vitosol-200-f-vitosol-200-t.html>
78. Greco, A., Gundabattini, E., Gnanaraj, D. S., & Masselli, C. A. (2020). Comparative Study on the Performances of Flat Plate and Evacuated Tube Collectors Deployable in Domestic Solar Water Heating Systems in Different Climate Areas. Climate, 8(6), 78
79. Heß, S., & Oliva, A. (2010). SO-PRO Solar Process Heat; Solar Process Heat Generation: Guide to Solar Thermal System Design for Selected Industrial Processes. OÖ Energiesparverband: Linz, Austria
80. Data Bridge Market Research, (n.d.), Chemical and Materials: Europe Metal Finishing Chemicals Market – Industry Trends and Forecast to 2029, dostupno na: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/europe-metal-finishing-chemicals-market>, pristupljeno: decembar 2023
81. Allied Market Research, (n.d.), The Metal Processing Chemicals Market, dostupno na: <https://www.alliedmarketresearch.com/metal-processing-chemicals-market-A15951>, pristupljeno: decembar, 2023
82. Zakon o hemikalijama (“Službeni glasnik Republike Srpske”, broj 21/18)
83. Zakon o hemikalijama (“Službene novine FBiH”, broj 77/20)
84. Pravilnik o inventaru hemikalija (“Službeni glasnik Republike Srpske”, broj 69/18)
85. Pravilnik o sadržaju sigurnosno-tehničkog lista (“Službeni glasnik Republike Srpske”, broj 104/18)
86. Dunjić, B., Radak, B., Malinović, B., Midžić-Kurtagić, S., Džajić-Valjevac M., Markotić E., Marjanović, D., Dragić D., Merzić A., Midžić E., Delibašić, M., (2022), Metodološki priručnik: Tehnički alati i vodič za primjenu zelene hemije u industriji, UNDP
87. ChemSec alati, dostupni na: <https://chemsec.org/tools/>, pristupljeno u decembru 2023.
88. UNIDO, Chemical Leasing (n.d.), Chemical Leasing in Practice, dostupno na: <https://chemicalleasing.com/chemical-leasing-in-practice/#1595648577874-6ef71dd9-d4e1>, pristupljeno: decembar 2023
89. Agencija za statistiku Bosne i Hercegovine, (2021), Saopćenje: Korištenje i zaštita voda

od zagađivanja u industriji (prethodni podaci), ISSN 1840-3478

90. Environment Agency, (2012), Pollution inventory reporting - ferrous and non-ferrous metals guidance note
91. Lewis, J., Niebuhr, K., (2020), Wastewater Treatment for the Industrial Metal Finishing Industry, Finishing and Coating, dostupno na <https://finishingandcoating.com/index.php/wastewater/396-wastewater-treatment-for-the-industrial-metal-finishing-industry>, pristupljeno: decembar 2023
92. Službeni list Evropske unije, (2022), Provedbena odluka komisije (EU) 2022/2110 o utvrđivanju zaključaka o najboljim raspoloživim tehnikama (NRT) za industriju prerade neobojenih metala u skladu s Direktivom 2010/75/EU Europskog parlamenta i Vijeća o industrijskim emisijama
93. Pagone, E., Jolly, M., Salonitis, K., (2017). A Tool to Promote Sustainability in Casting Processes: Development Highlights. 172-184. 10.1007/978-3-319-57078-5_17
94. Korajčević Š., Babić-Džihanić E., Hrbat A., Sladoje M., (2019), Hemikalije i otpad u Programu 2030, Metodološki dokument, ISSN 1840-1074
95. LNS, (2023), Digitalization and QHSSE in Chemical Manufacturing: Behn Meyer's Testimonial, dostupno na: <https://lns.co.id/blog/digitalization-and-qhsse-in-chemical-manufacturing-behn-meyers-testimonial/> pristupljeno: decembru 2023.
96. Zahtjev za izdavanje okolinske dozvole Emerus d.o.o., 2021.
97. Performance Painting, (2018), Benefits of Electrostatic Painting of Metal Equipment, dostupno na: <https://www.performance-painting.com/benefits-of-electrostatic-painting-of-metal-equipment/>, pristupljeno: decembar 2023
98. European Environment Agency, (2023), Industrial pollutant releases to air in Europe
99. Environmental Protection Agency, (2016), Outdoor Air - Industry, Business, and Home: Metal Operations - Additional Information
100. Australian Industry Group, (2016), Waste Saving Fact Sheet- Managing waste in the metal manufacturing industry, dostupno na: https://cdn.aigroup.com.au/Environment/08_Metal_Manufacturing_Waste_Reduction_Factsheet.pdf, pristupljeno decembar 2023.
101. Chowdhury, S., Haque, K. A., Sumon, M., (2015), Implementation of Lean Strategies in a Furniture Manufacturing Factory, Department Of Industrial and Production Engineering, Shahjalal University of Science and Technology, Sylhet, Bangladesh, e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X
102. Yamamoto K, Milstead M, Lloyd R., (2019), A review of the development of lean manufacturing and related lean practices: The case of Toyota Production System and managerial thinking. International Management Review. 2019 Apr 1;15(2):21-90.
103. Domingo, T., R, (2011). "Identifying and Eliminating The Seven Wastes or Muda

What Is Waste?”, dostupno na: www.rtdonline.com, pristupljeno decembar 2023.

104. Sharma, S. S., Khatri, R., (2021), Introduction to Lean Waste and Lean Tools. Book chapter:, doi:10.5772/intechopen.97573
105. Vartiainen Bürki, Reto. (2019). Agile project management method Kanban. 10.13140/RG.2.2.23378.99528.
106. US EPA, Lean Thinking and Methods - Kaizen, dostupno na: <https://www.epa.gov/sustainability/lean-thinking-and-methods-kaizen>, pristupljeno u decembru 2023.
107. Abhishek, J., Rajbir, B., Harwinder, S. (2014). Total productive maintenance (TPM) implementation practice. International Journal of Lean Six Sigma. DOI: 5. 10.1108/IJLSS-06-2013-0032.
108. Muchiri, P., Pintelon, L.,(2008) Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion, International Journal of Production Research, 46:13, 3517-3535, DOI: 10.1080/00207540601142645
109. MRP – Materials Requirement Planning, dostupno na: leanmanufacture.net, pristupljeno u decembru 2023.
110. Shehab, E., Sharp, M., Supramaniam, L., Spedding, T. (2004). Enterprise resource planning: An integrative review. Business Process Management Journal, Vol. 10 No. 4, 2004, DOI 10.1108/14637150410548056
111. World steel association, (n.d.), Circular Economy: Steel - the permanent material in the circular economy, dostupno na: <https://worldsteel.org/circular-economy/>, pristupljeno: decembru 2023.
112. GIZ Green recovery, (2023), Vodič za zeleno certificiranje, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn and Eschborn



Zeleni poslovni modeli u metaloprerađivačkoj industriji