



Zeleni poslovni modeli u drvnoj 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

AUTOR

Centar za energiju, okoliš i resurse – CENER 21

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, koju finansira Ministarstvo za ekonomsku saradnju i razvoj Savezne Republike Njemačke (BMZ), a provodi 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 preduzeća, 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 drвноj industriji nastala je kao odgovor na brojne izazove u postizanju karbonske neutralnosti, resursne efikasnosti, sigurnosti u vezi s upotrebom hemikalija i uspostave cirkularnih poslovnih modela, pred kojima se nalazi drvna 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 drвноj 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 studentima 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. ZELENI POSLOVNI MODELI	10
3. KLJUČNE POLITIKE POKRETAČI ZELENOG POSLOVANJA	14
4. SEKTOR OBRADJE DRVETA U BOSNI I HERCEGOVINI	16
5. ODRŽIVO UPRAVLJANJE ENERGIJOM	17
5.1 Potrošnja energije	17
5.2 Energijski efikasniji sistemi za otprašivanje	20
5.2.1 Omogućavanje nesmetanog protoka zraka kroz cijevnu mrežu	21
5.2.2 Ugradnja regulacijskih klapni za protok zraka	22
5.2.3 Redovna kontrola sistema za otprašivanje	24
5.3 Energijski efikasniji rad elektromotora	25
5.3.1 Zamjena standardnih klinastih kaišnih prijenosnika sinhronim kaišnim prijenosnicima	25
5.3.2 Ugradnja frekventnih pretvarača na elektromotore sistema za otprašivanje i usklađivanje brzine odsisa sistema	25
5.4 Energijski efikasnije sušenje drveta	27
5.5 Energijski efikasnija rasvjeta proizvodnih pogona	31
5.5.1 Korištenje LED-rasvjete	33
5.5.2 Automatska regulacija rasvjetnih tijela	34
5.6 Energijski efikasnija kotlovska postrojenja	35
5.6.1 Povećanje efikasnosti rada kotla odgovarajućom pripremom i kontrolom kotlovske vode	36
5.6.2 Optimizacija procesa odmuljivanja i odsoljavanja kotla	37
5.6.3 Postavljanje/zamjena toplotne izolacije na dijelovima kotlovske sistema	39
5.6.4 Povrat kondenzata	42
5.6.5 Prilagođavanje omjera zraka i goriva	44
5.7 Energijski efikasniji sistemi s komprimiranim zrakom	44
5.7.1 Regulacija sistema komprimiranog zraka	45
5.7.2 Popravka cijevne mreže sistema komprimiranog zraka	46
5.7.3 Cirkularnost otpadne topline kompresora	48

5.7.4	Ugradnja spremnika komprimiranog zraka	51
5.8	Upotreba tehnologija obnovljivih izvora energije u drvenoj industriji	52
5.8.1	Sušenje drveta upotrebom solarne energije	52
5.8.2	Primjena toplotnih pumpi u sušarama	53
5.8.3	Proizvodnja električne energije iz fotonaponske elektrane	54
5.9	Tehnike za kontrolu potrošnje u vršnom opterećenju i reaktivne energije	58
6.	ODRŽIVO UPRAVLJANJE VODNIM RESURSIMA	60
6.1	Upotreba vode i otpadne vode	60
6.2	Pristup efikasnijem upravljanju vodama	62
7.	ODRŽIVO UPRAVLJANJE HEMIKALIJAMA	64
7.1	Potrošnja hemikalija u drvenoj industriji	64
7.2	Upotreba alternativnih zelenih hemikalija	65
7.3	Efikasno upravljanje hemikalijama	68
7.4	Skladištenje hemikalija	71
7.5	Zbrinjavanje otpadnih hemikalija	71
7.6	Mjere za smanjenje potrošnje hemikalija	73
8.	ODRŽIVO UPRAVLJANJE OTPADOM	75
8.1	Primjena principa LEAN-menadžmenta u proizvodnji	76
8.2	Cirkularnost drvnih ostataka	79
8.2.1	Instalacija kogeneracijskog postrojenja s pogonom na drveni otpad	79
8.2.2	Proizvodnja peleta i briketa	82
8.2.3	Proizvodnja podloge za farme životinja	84
9.	POTROŠNJA U UVOĐENJU ZELENIH POSLOVNIH MODELA	86
10.	LITERATURA	89

POPIS SLIKA

Slika 1. Globalni trend porasta potrošnje prirodnih resursa [1]	9
Slika 2. Ključne komponente zelenih lanaca snabdijevanja	11
Slika 3. Cirkularnost materijalnog toka u cirkularnoj ekonomiji	12
Slika 4. Tok proizvodnje bez ponovnog korištenja proizvoda nakon upotrebe [2]	13
Slika 5. Tok proizvodnje s ponovnim korištenjem proizvoda nakon upotrebe [2]	13
Slika 6. Struktura potrošača električne energije u industrijskom sektoru u BiH u 2021. godini [7]	17
Slika 7. Tok energije i materijala u fabrici za proizvodnju namještaja i drvenih ploča [8]	18
Slika 8. Raspodjela potrošnje električne energije u drvanoj industriji [8]	19
Slika 9. Savremeni efikasni sistem za otprašivanje ugrađen direktno na mašinama [13]	20
Slika 10. Pravilno i nepravilno spajanje cijevne mreže u sistemu otprašivanja [11]	21
Slika 11. Nepravilno izvedeni spojevi cijevne mreže lijepljeni trakom (arhiva autora)	22
Slika 12. Nepravilno izvedeni spojevi na ventilatoru i odvajaču (arhiva autora)	22
Slika 13. Oštećenje cijevne mreže u difuznom grlu (arhiva autora)	23
Slika 14. Indikator protoka zraka [11]	23
Slika 15. Začepljenost cijevne mreže drvnom piljevinom [13]	24
Slika 16. Frekventni regulatori	26
Slika 17. Primjer loše i dobro osvijetljenog skladišnog prostora [25]	31
Slika 18. Hala s prirodnim osvijetljenjem [26]	32
Slika 19. Rasvjeta postavljena neposredno iznad radnog mjesta [27]	32
Slika 20. LED-rasvjeta u proizvodnom pogonu [29]	33
Slika 21. Gubici energije kod sistema za proizvodnju i distribuciju pare [32]	36
Slika 22. Iskorištenje rashladne vode u rezervoaru za pripremu vode [34]	38
Slika 23. Gubici toplote kroz oplatu kotlova, oštećena izolacija kotlova i parovoda (arhiva autora)	39
Slika 24. Neizoliranost ventila (arhiva autora)	39
Slika 25. Neizoliranost spremnika kondenzata (arhiva autora)	40
Slika 26. Gubici toplotne energije usljed isticanja pare na prirubnicama (arhiva autora)	40
Slika 27. Odvojiva izolacija od kompozitnih materijala [36]	40
Slika 28. Fiksna izolacija [37]	40
Slika 29. Odvojiva izolacija cilindričnog kotla [38]	41
Slika 30. Fiksna izolacija cilindričnog kotla [39]	41
Slika 31. Odvojiva izolacija cijevi [40]	41
Slika 32. Fiksna izolacija cijevi [41]	41
Slika 33. Oštećenost izolacije cjevovoda u proizvodnom pogonu	42

Slika 34 Princip povrata ukupnog kondenzata uz pomoć mehaničke kondenzacione pumpe [48]	43
Slika 35. Oštećenost distributivne mreže komprimiranog zraka (pojava curenja)	47
Slika 36. Struktura gubitaka u tipičnom kompresorskom sistemu [54]	49
Slika 37. Iskorištavanje otpadne toplote s kompresora putem kanala za odsis toplog zraka [55]	50
Slika 38. Prikaz IT za iskorištavanje toplote ulja [55]	50
Slika 39. Kombinirana solarna sušara s akumulatorom toplote i toplotnom pumpom [20]	53
Slika 40. Shematski prikaz upotrebe toplotne pumpe za sušenje drveta	54
Slika 41. Solarna fotonaponska elektrana na krovu hale	56
Slika 42. Solarna fotonaponska elektrana	57
Slika 43: Sankeyjev dijagram za proizvodnju namještaja [66]	63
Slika 44. Prikaz web-ekrana i informacija sa SIN-liste	66
Slika 45. Prikaz web-ekrana alata Marketplace	67
Slika 46. Sigurno skladištenje hemikalija [75]	71
Slika 47. Skladište otpadnih hemikalija [77]	72
Slika 48. Otvorene posude s bojama i opasnim hemikalijama [79]	74
Slika 49. Dobro izolirana, moderna kabina za bojenje/odgovarajuća prostorija za skladištenje hemikalija [79]	74
Slika 50. Primjena kogeneracije u pilanama [91]	79
Slika 51. Shema kogeneracije i proizvodnje peleta Moderator d.o.o. i Lika Energo Eko d.o.o. [92]	79
Slika 52. Shema kogeneracijskog postrojenja na biomasu	81
Slika 53. Materijalni bilans tvornice za preradu drveta, Sankeyjev dijagram	83
Slika 54. Proizvodnja peleta i briketa	84
Slika 55. Proizvodi iz linije easi	85

POPIS TABELA

Tabela 1. Otpadni materijalni tokovi u drvnoprerađivačkoj industriji	12
Tabela 2. Analiza potrošnje energije prema debljini drveta [10]	19
Tabela 3. Vrste sušara i njihove karakteristike	28
Tabela 4. Najčešći problemi u kompresorskim stanicama proizvodnih pogona [53]	45
Tabela 5. Troškovi curenja zraka pod pritiskom [54]	47
Tabela 6. Koraci u provedbi programa efikasnog korištenja hemikalija [75]	70
Tabela 7. Osnovne karakteristike peleta i poređenje s drugim energentima [95]	82

POPIS SKRAĆENICA

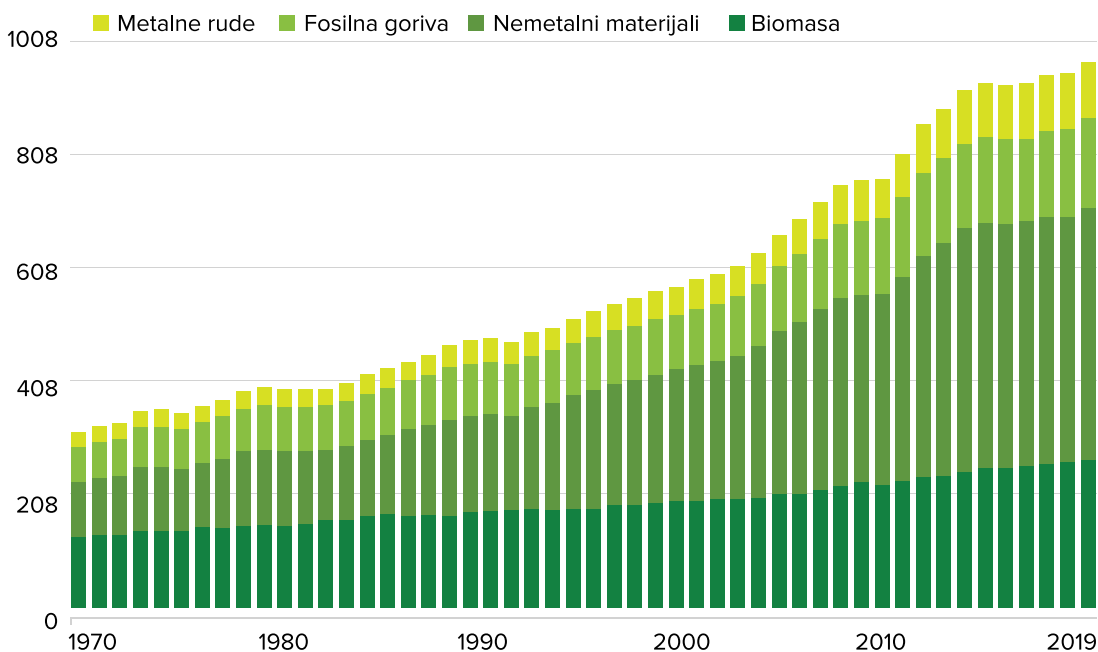
BiH	Bosna i Hercegovina
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism (Mehanizam prilagodbe granice ugljika)
CCF	Corporate Carbon Footprint (korporativni karbonski otisak)
CEAP	Circular Economy Action Plan (Akcijski plan za cirkularnu ekonomiju)
CFL	Compact Fluorescent Lamp (kompaktne fluorescentne sijalice)
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)
ECHA	European Chemical Agency (Evropska agencija za hemikalije)
EE	Energijska efikasnost
ERP	Enterprise Resource Planning (planiranje resursa poduzeća)
EU	European Union (Evropska unija)
FN	Fotonapon
GHG	Greenhouse gas (staklenički plinovi)
IT	Izmjenjivač toplote
LED	Light-Emitting Diode
LCA	Life Cycle Assessment (okvir za procjenu životnog ciklusa)
MRP	Materials Requirements Planning (planiranje zahtjeva za materijalima)
OEE	Overall Equipment Effectiveness (ukupna efikasnost opreme)
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development (Organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj)
PDCA	Plan, Do, Check, Act (planiranje, primjena, provjera, poboljšanje)
PTV	Potrošna topla voda
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (registracija, evaluacija, autorizacija i ograničavanje hemikalija)
SIN	Substitute It Now (Zamijenite odmah)
TPM	Total Productive Maintenance (ukupno produktivno održavanje)
VFD	Variable Frequency Drive (frekventni regulator)
VOC	Volatile Organic Compounds (hlapivi organski spojevi)
UV	Ultra violet (ultravioletno)
UNEP	United Nation Environment Programme (Program Ujedinjenih nacija za okoliš)

1. UVOD

U posljednjih trideset godina globalna eksploatacija sirovina se i više nego udvostručila. Najveći porast desio se u eksploataciji industrijskih i građevinskih minerala, gdje se povećao za oko 240%, čime se jasno vidi veza između industrijskog razvoja i povećane potrošnje navedenih resursa. Tokom istog razdoblja eksploatacija ruda metala povećala se za oko %, fosilnih goriva za oko 82% i korištenje biomase za oko 61%.

OECD (Organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj) predviđa da će se svjetska ekonomija do 2050. godine učtverostručiti, a globalna populacija porasti s današnjih sedam milijardi ljudi na više od 9,2 milijarde, što će predstavljati dodatni izazov za materijalne i energijske resurse kao i okoliš.

Povećanje potrošnje resursa (Slika 1) osim što dovodi do smanjenja dostupnih rezervi ima i negativne utjecaje na okoliš kroz povećanje emisija u vodu, tlo i zrak. Također, neracionalnim korištenjem prirodnih resursa može se dovesti do smanjenja količina i obnovljivih resursa kao što su voda i šume, čije zalihe, ako se prekomjerno i neracionalno koriste, zahtijevaju dugotrajan period za obnavljanje. Drvna biomasa danas je glavni nosilac energije u obnovljivim izvorima energije (više od 50%) i sve veće korištenje biomase dodatno će doprinijeti smanjenju korištenja fosilnih goriva u budućnosti. Međutim, potrebno je racionalizirati korištenje biomase kako bi se omogućila upotreba ovog resursa na održiv način.



Slika 1. Globalni trend porasta potrošnje prirodnih resursa [1]

2. ZELENI POSLOVNI MODELI

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 uporabu 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 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. Naprimjer, "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 zraku, 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 2).

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

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 ekološkog 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 okolinu, već i doprinosi stvaranju održivijeg i odgovornijeg poslovnog modela.



Slika 2. Ključne komponente zelenih lanaca snabdijevanja

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 3).



Slika 3. 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 predviđa da će se svjetska ekonomija do 2050. godine učtverostručiti, a globalna populacija porasti s današnjih sedam milijardi ljudi na više od 9,2 milijarde, što će predstavljati dodatni izazov za materijalne i energijske resurse kao i okoliš.

Drvena industrija može pomoći Evropskoj uniji (EU) u postizanju ključnih ciljeva, kao što su smanjenje emisija stakleničkih plinova u skladu s Pariskim sporazumom i uspostavljanju cirkularne bioekonomije, uz otvaranje radnih mjesta i stabilnost zapošljavanja.

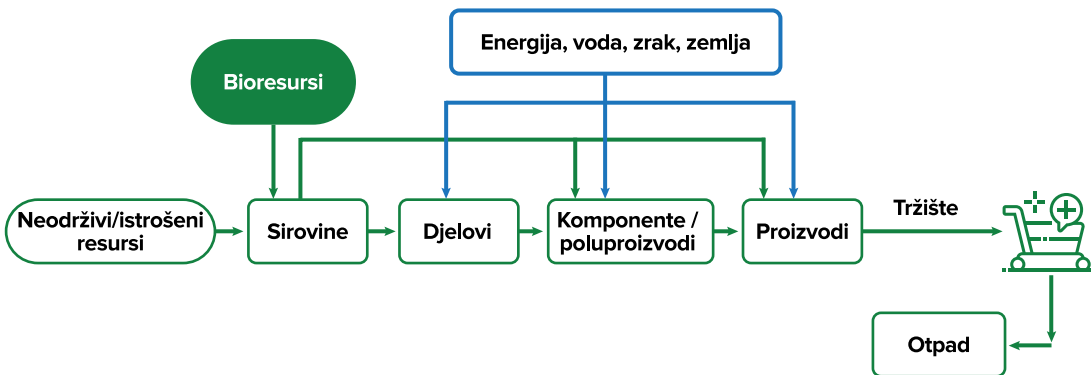
U drvnoj industriji potrošnja resursa u najvećem obimu veže se za potrošnju drvnih sirovina. Međutim, za proces proizvodnje proizvoda i poluproizvoda od drveta koriste se i ostali resursi, u koje se ubrajaju voda, energija, zrak, boje, lakovi, metal, plastika itd. Istovremeno, drvoprerađivačka industrija je i izvor emisija čvrstog otpada, otpadnih voda i emisija u zrak (Tabela 1), koje također mogu biti reciklirane kroz ponovnu upotrebu bez obrade ili obrađene primjenom određenih tehnologija.

Tabela 1. Otpadni materijalni tokovi u drvoprerađivačkoj industriji

Čvrsti otpad	Emisije u zrak	Emisije otpadnih voda
Piljevina	Rastvarači iz operacije premazivanja	Voda od odmuljavanja i odsoljavanja kotlova
Ostaci drveta	Rastvarači iz operacije čišćenja	Voda iz rashladnog tornja
Prašina od brušenja	Drvena prašina	Odvod vode iz kabine za prskanje sa zidom vodenih zavjesa
Pepeo iz kotla	Plinovi od sagorijevanja u kotlovima	Kondenzat zračnog kompresora
Otpadna ambalaža (kutije, sanduci itd.)	Emisije hlapivih	
Prazni kontejneri		
Ostaci materijali za održavanje mašina		
Čvrste materije ili otpadne tečnosti i filteri iz kabine za bojenje		

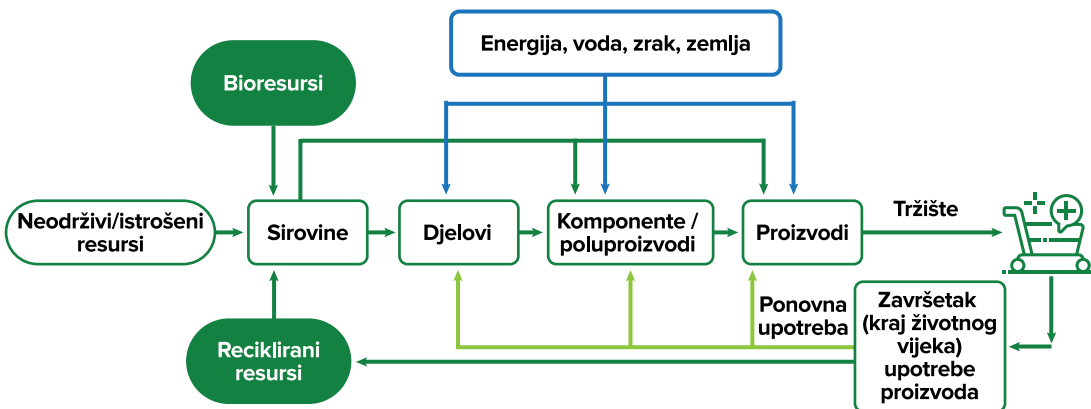
Rastvori za čišćenje pištolja za prskanje Odstranjene čvrstih materija i rastvori Završni materijali van specifikacije Proljevanje/kontaminirana prljavština i tako dalje Krpe od brisanja	organskih materija iz ljepljiva	Voda od pranja krpa
--	---------------------------------	---------------------

Korištenje resursa bez recikliranja materijalnih tokova ostavlja negativan utjecaj na okoliš zbog gomilanja otpada i eksploatacije zamjenskih sirovina za potrebe procesa proizvodnje. Slika 4 prikazuje tok proizvodnje bez ponovnog korištenja proizvoda nakon prestanka upotrebe.



Slika 4. Tok proizvodnje bez ponovnog korištenja proizvoda nakon upotrebe [2]

Potrošnju resursa potrebno je racionalizirati koristeći koncept ponovne upotrebe prethodno korištenih materijala i proizvoda. Zbog toga se fokus stavlja na održivo i odgovorno korištenje resursa s ciljem zadovoljenja okolišnih i ekonomskih utjecaja. Na slici 5 dat je prikaz ocjene efikasnosti korištenja resursa u smislu procjene utjecaja na okoliš, gdje se posmatra odnos učešća recikliranih resursa, bioresursa i neodrživih resursa u procesu proizvodnje.



Slika 5. Tok proizvodnje s ponovnim korištenjem proizvoda nakon upotrebe [2]

3. 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 emisija 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 ponovno 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 [3].

Postoji niz direktiva i regulativa koje imaju značajne implikacije za drvnu industriju. 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 drvna industrija. Direktive 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 drvnu 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. Direktive REACH (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 zagađenosti, ima za cilj zabraniti štetne hemikalije u potrošačkim proizvodima i promovirati „zelenu“ hemiju, koja uključuje korištenje obnovljivih resursa za proizvodnju materijala i energije.

Bazelska konvencija o kontroli prekograničnog kretanja opasnog otpada i njihovog

odlaganja je međunarodni sporazum koji je stupio na snagu 1992. godine i potpisale su ga 172 zemlje. Namijenjen je zaštititi ljudskog zdravlja i okoline od mogućih štetnih učinaka opasnog otpada, kroz kontrolu prekograničnog kretanja i odlaganja opasnog otpada.

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 Bosnu 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 Pariskog sporazuma (čiji je član i Bosna i Hercegovina) i Sofijskom deklaracijom (koju je prihvatila i Bosna i Hercegovina)[4].

Kada je riječ o drvnom sektoru, cilj je da se promoviraju proizvodi čiji nastanak ne uključuje eksploataciju i degradaciju šuma, zbog čega su uvedena nova pravila označavanja proizvoda. Kako je navedeno u Uredbi EU 995/2010 Evropskog parlamenta i Evropskog vijeća od 20. oktobra 2010. godine, kojom se utvrđuju obaveze subjekata koji stavljaju u promet drvo i proizvode od drveta, svi proizvođači proizvoda od drveta koji žele izvoziti u EU moraju pružiti potpune informacije o proizvodu, zajedno s dokazima da drvo ne potiče iz ilegalnih izvora.

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 stupova. Zelena agenda daje konkretne preporuke za postizanje sljedećih ciljeva:

- Usklađivanje regije s ambicijom EU do 2050. godine tako da Evropa postane ugljično neutralni kontinent,
- Otključavanje potencijala cirkularne ekonomije,
- Borba protiv zagađenja zraka, vode i zemljišta,
- Promocija održive metode proizvodnje i snabdijevanja hranom i
- Iskorištavanje ogromnog turističkog potencijala 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 Pariskim sporazumom o klimatskim promjenama i Okvirom za klimatsku i energetske politiku u periodu 2020–2030 godine. Direktiva o obnovljivim izvorima energije iz 2018. godine uključuje obavezu da se do 2030. godine postigne najmanje 32% snabdijevanja energijom iz obnovljivih izvora.

Bosna i Hercegovina također je pripremila nacrt Integriranog energetske i klimatskog plana (engl. *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

(smanjenje emisije stakleničkih plinova, povećanje udjela obnovljivih izvora energije), energijska efikasnost, energijska sigurnost i unutrašnje energetske tržište, istraživanje, inovacije i konkurentnost. NECP se sveobuhvatno bavio biološkim ciklusom kružne ekonomije, s posebnim fokusom na proizvodnju energije i korištenje iz industrijskog otpada (kružnost biomase za proizvodnju energije, povrat otpadne toplote).

4. SEKTOR OBRADE DRVETA U BOSNI I HERCEGOVINI

Kada je riječ o drvnoj industriji, u Bosni i Hercegovini trenutno je na snazi Strategija razvoja drvne industrije Federacije BiH za period od 2016. do 2025. godine, u kojoj su predstavljeni dugoročni i kratkoročni ciljevi [5]. Navedeni ciljevi odnose se i na usklađivanje i provođenje evropskih normi i standarda u šumarstvu i drvoprerađivačkom kao i uvođenje novih tehnologija u primarnoj preradi te finalizaciju procesa u skladu s certifikacijom poduzeća FSC (*Forest Stewardship Council*).

Drvoprerađivački sektor jedan je od najsnažnijih i najuspješnijih industrijskih sektora u Bosni i Hercegovini s razvijenim poslovanjem unutar i izvan zemlje. Razvoj ovog sektora omogućen je prirodnim bogatstvima zemlje. Prema podacima iz 2020. godine u drvoprerađivačkim poduzećima, kojih je oko 1350 i koja posluju u deset djelatnosti, bilo je zaposleno oko 25.000 radnika. Najviše poduzeća čine pilane (oko 44%), zatim proizvođači ostale građevinske stolarije i elemenata (oko 17%) te proizvođači ostalog namještaja (oko 12%) i ostalih proizvoda od drveta, proizvoda od pluta, slame i pletarskog materijala (oko 10%).

Ključni izazovi u drvoprerađivačkom sektoru jesu potrebe za modernizacijom tehnologije, materijalna efikasnost, digitalizacija proizvodnih procesa i ozelenjavanje proizvodnje. Prethodno implicira integriranje praksi upravljanja okolišem, povećanje upravljanja otpadom i recikliranje kao i ponovnu upotrebu resursa i materijala u procesu proizvodnje. Također je važno napomenuti da se drvoprerađivački sektor u Bosni i Hercegovini i dalje oslanja na niske troškove energije, iako 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 emisijama ili bude podložna karbonskom graničnom prilagodbenom mehanizmu (CBAM) [6].

5. ODRŽIVO UPRAVLJANJE ENERGIJOM

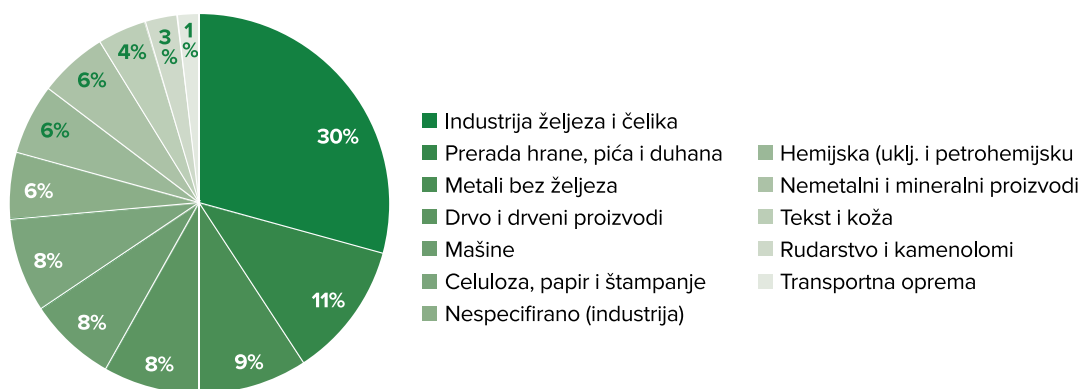
5.1 POTROŠNJA ENERGIJE

Za nastanak finalnih proizvoda od drveta za pojedinačne faze proizvodnje koriste se toplotna i električna energija. Ključni potrošači energije su:

- kompresori,
- mašine za obradu drveta (CNC-mašine, glodalice i slično),
- ventilatori na sistemima za otprašivanje,
- sušare,
- pumpe i prateća elektrooprema unutar kotlovnice,
- uređaji za klimatizaciju i dr.

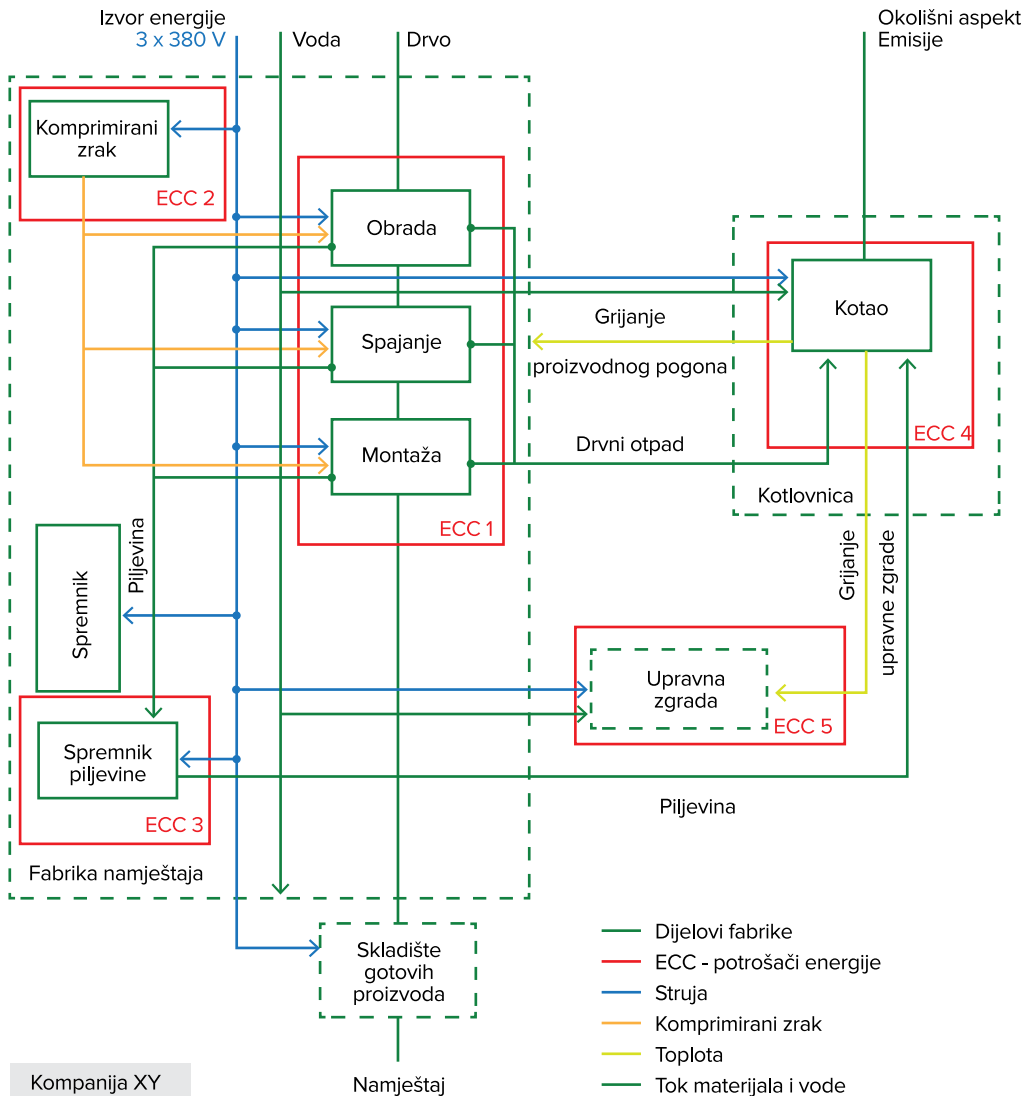
Proces obrade drveta zahtijeva gotovo neprekidan rad većine prethodno navedenih sistema, što uzrokuje konstantnu potrošnju električne energije. Prekomjerna potrošnja energije dovodi do većih operativnih troškova, stoga je neophodno praćenje i analiza potrošnje energije s ciljem primjene mjera energijske efikasnosti.

U finalnoj potrošnji električne energije u Bosni i Hercegovini u 2021. godini drvo i drveni proizvodi učestvuju s oko 8% [7], što se vidi na slici 6.



Slika 6. Struktura potrošača električne energije u industrijskom sektoru u BiH u 2021. godini [7]

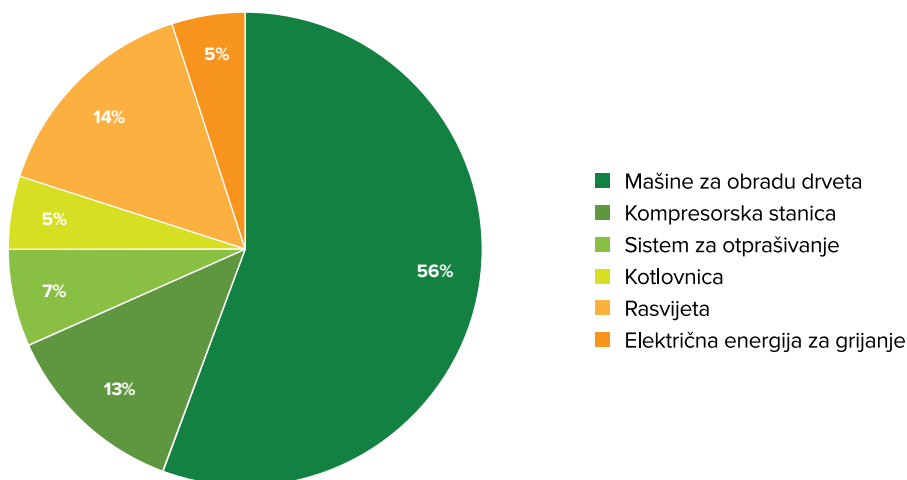
Električna energija u fabrici koristi se za rad mašina, rasvjete i drugih potrošača električne energije, dok se toplotna energija koristi u procesu grijanja upravne zgrade i proizvodnog pogona te za potrebe sušenja drveta finalnih proizvoda nakon lijepljenja ili bojenja. Slika 7 prikazuje shemu toka procesa proizvodnje namještaja u kojoj je osnovna sirovina već obrađeno drvo.



Slika 7. Tok energije i materijala u fabrici za proizvodnju namještaja i drvenih ploča [8]

Kod potrošnje resursa u drvnjoj industriji dominantna je potrošnja električne energije, dok se voda kao resurs koristi prilikom završne obrade, odnosno za bojenje i za osnovne potrebe. Prema tome, najveće mogućnosti za resursnu efikasnost ogledaju se u smanjenju potrošnje energije, odnosno uvođenju mjera za efikasnu potrošnju ovog resursa. Jedan od najvećih potrošača električne energije kod obrade drveta je sistem za otprašivanje, koji učestvuje u ukupnoj potrošnji s oko 7%. Raspodjela potrošnje električne energije data je na slici 8. Navedeni primjer distribucije potrošnje električne energije odnosi se na fabriku za proizvodnju namještaja te on nije pravilo jer se potrošnja električne energije razlikuje u skladu s vrstom procesa i tehnologije koju koristi kao i s vrstom finalnog proizvoda.

Najveći potrošač električne energije je procesna oprema (mašine za obradu drveta) (s oko 56 %), dok su kompresori i rasvjeta približno procentualno jednaki potrošači (s oko 13 % i 14 %, respektivno). Najčešći problemi u drvnjoj industriji ogledaju se u zastarjelosti opreme, neprilagođenosti mreže sistema otprašivanja potrebama mašina i regulaciji rada motora.



Slika 8. Raspodjela potrošnje električne energije u drvnjoj industriji [8]

Prilikom rezanja i pripreme drvene sirovine za proces sušenja oko 90% električne energije troše elektromotori, iz čega se vidi da važan aspekt analize i praćenja potrošnje energije u pilani čini indikator specifične potrošnje energije motora po m³ drvene mase (kWh/m³). Proces sušenja također predstavlja energijski intenzivan proces, koji prema procjenama predstavlja više od 40% ukupne potrošnje energije u procesu nastanka drvnih proizvoda [9].

Nivo specifične potrošnje energije (potrošena energija po jedinici gotovog proizvoda) zavisi od vrste proizvodnih procesa koji se primjenjuju, tehnologije i opreme, organizacije rada, kvaliteta sirovina, vrste finalnog proizvoda i dr.

Kod obrade ploča odnos utrošene električne energije i utrošene toplotne energije raste s debljinom ploče. Deblje ploče zahtijevaju manje električne energije u procesu piljenja i sječenja, ali troše više energije pri procesu sušenja zbog dužeg trajanja procesa [10]. Tabela 2 daje prikazuje potrošnju električne i toplotne energije prema debljini drveta.

Tabela 2. Potrošnja energije prema debljini drveta [10]

Debljina drveta (mm)	20	32	40	50
Toplotna energija (GJ/dan)	561	429	370	317
Električna energija (sušara) (GJ/dan)	26	26	26	26
Električna energija (pilana) (GJ/dan)	9	7	6	5
Električna energija ukupno (GJ/dan)	35	33	32	31

Odnos između ukupnog udjela potrošnje električne i toplotne energije značajno varira između različitih poduzeća i zavisi od niza faktora kao što su vrsta energenta, vrsta tehnološkog procesa, vrsta i efikasnost opreme te nivo primjene cirkularnosti otpadne energije.

Detaljnou analizom pogona i postrojenja moguće je identificirati ključne segmente gdje bi se mogla unaprijediti energijska efikasnost te samim tim smanjiti potrošnja energije.

5.2 ENERGIJSKI EFIKASNJI SISTEMI ZA OTPRAŠIVANJE

U drvnoj industriji mašine stvaraju veliku količinu usitnjenog materijala (drvena piljevina i prašina), a najpogodniji sistem za prihvatanje i transport ovog materijala jesu sistemi za otprašivanje. Ovaj vid transporta nezamjenjiv je u drvnoj industriji, jer omogućava transport usitnjenog materijala s više mašina, a time poboljšava zdravstvene uvjete rada u postrojenju, a i efikasan rad mašina i posljedično dobivanje kvalitetnog finalnog proizvoda. Sistemi za otprašivanje predstavljaju značajan udio u potrošnji električne energije u drvnoj industriji i koriste se za skupljanje drvene prašine i piljevine, te odlaganje izvan proizvodnog pogona. Postoji više opcija povećanja efikasnosti sistema otprašivanja kao što su:

- promjenjiva brzina ventilatora,
- promjena statičkog pritiska na ventilatoru,
- balansiranje (optimizacija) sistema.

Pored značajnog udjela u potrošnji električne energije sistem otprašivanja poboljšava sigurnosne i zdravstvene uvjete proizvodnog pogona. Zdravstveni rizici za radnike su rizici koji nastaju od povećane koncentracije drvene prašine u okolini, a koji mogu uzrokovati alergije i poremećaje u disajnim putevima.

Pravilan rad sistema za otprašivanje veoma je bitan zbog sitnih čestica drvene prašine, s obzirom na moguću zapaljivost/eksplozivnost u kombinaciji s toplim zrakom. Zbog toga je neophodno osigurati kontinuirano i potpuno odvođenje prašine. Dešava se da se proizvodni pogoni oštete ili čak unište od požara koji obično nastaju u opremi za usisavanje prašine, te može doći i do ozbiljnih povreda osoblja. Pored toga, otprašivanje je efikasan sistem za čišćenje jer je potrebno manje vremena za čišćenje pogona, a opasnosti od požara i zdravstveni rizici smanjuju se na minimum [11].



Slika 9. Savremeni efikasni sistem za otprašivanje ugrađen direktno na mašinama [13]

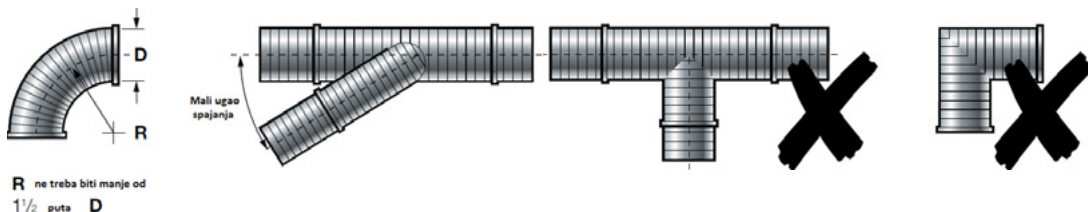
Sistem za otprašivanje treba osigurati dovoljnu brzinu strujanja zraka i pad pritiska kako bi se omogućilo nesmetano izdvajanje prašine i drvnih ostataka iz proizvodnog pogona. Međutim, često se u fabrikama na već balansirane projektirane sisteme, usljed promjena u rasporedu mašina ili ugradnjom novih mašina, dodaju nove cijevne grane, uglavnom bez promjena u dizajnu sistema. Zbog toga je većina starijih sistema za otprašivanje izvan ravnoteže, što rezultira povećanim padom pritiska i povećanom potrošnjom energije kao i smanjenom efikasnošću sistema.

Efikasno otprašivanje smanjuje potrebu za učestalim čišćenjem mašina, smanjen je broj zaustavljanja zbog začepijavanja kanala za odvod piljevine, smanjuje se trošenje alata i postiže se jednostavnije i efikasnije zbrinjavanje prašine i piljevine.

5.2.1 Omogućavanje nesmetanog protoka zraka kroz cijevnu mrežu

Protok zraka kroz cijevnu mrežu treba biti što je moguće ravnomjerniji. Prilikom projektiranja i instalacije sistema potrebno je izbjegavati koljena i ostale komade za spajanje s pravim uglovima (pod 90°) te njihov broj svesti na najmanji mogući. Također, dionice trebaju biti što kraće, kako bi se smanjio linijski pad pritiska. Na postojećim sistemima trebalo bi zamijeniti sve dijelove sistema s pravim uglovima, gdje je to primjenjivo, i po mogućnosti zamijeniti/uskладiti trasu kanala kako bi se smanjile dužine cijevi, a time i pad pritiska. Također, treba voditi računa da vertikalne i kose dionice bude što kraće, jer one imaju veći pad pritiska od horizontalnih dionica. Sve spojeve treba provjeriti kako bi se osigurao ravnomjeran protok zraka kroz cjevovod. Slika 10 prikazuje pravilno i nepravilno projektiranje dijelova cijevne mreže, gdje se jasno vidi da se spojni komadi s pravim uglovima mogu zamijeniti komadima s manjim uglovima.

Ravnomjeran protok zraka troši manje energije i stvara manje buke, a kraće dužine dionica i manji broj koljena smanjuje pad pritiska i povećava efikasnost sistema. Naravno, treba voditi računa da se cijevi postave tako da ne smetaju prilikom same proizvodnje.



Slika 10. Pravilno i nepravilno spajanje cijevne mreže u sistemu otprašivanja [11]

Slika 11 prikazuje nepravilno izvedene spojeve na cijevnoj mreži u proizvodnom pogonu, koji su često improvizirani, pa ponekad i izvedeni ljepljivom trakom. Slika 12 prikazuje nepravilno izvedene spojeve sa sistemom za tretman emisija prašine, gdje se vidi da su spojevi nepravilno popravljani trakom.



Slika 11. Nepravilno izvedeni spojevi cijevne mreže lijepljeni trakom (arhiva autora)



Slika 12. Nepravilno izvedeni spojevi na ventilatoru i odvajaču (arhiva autora)

Jasno se vidi da je došlo do oštećenja cjevovoda na pojedinim mjestima, vjerovatno usljed velike brzine čestica u cijevi, koje dalje izazivaju abraziju cjevovoda i njegovo oštećenje. Da bi se smanjila abrazija cjevovoda, brzina zraka i čestica mora se držati u preporučenim granicama. Ako je cjevovod dug, može doći do velikih brzina koje prelaze preporučene granice, a što se efikasno može riješiti promjenom prečnika cjevovoda. Naravno, treba voditi računa da brzine ne padnu ispod preporučene granice kako ne bi došlo do zagušenja cjevovoda.

5.2.2 Ugradnja regulacijskih klapni za protok zraka

Veoma se često dešava da u sistemima za otprašivanje difuzno grlo ili nije u funkciji ili nije adekvatno zatvoreno. Slika 13 prikazuje oštećenje cijevne mreže na difuznom grlu. Kroz njega ne smije prolaziti zrak, ali to se često dešava, što povećava lokalne gubitke pritiska. Oštećenja cijevne mreže sistema otprašivanja i neprikladno povezani spojevi smanjuju efikasnost sistema otprašivanja i povećavaju pad pritiska u sistemu, a time i potrošnju energije.



Slika 13. Oštećenje cijevne mreže u difuznom grlu (arhiva autora)

Ugradnjom automatske regulacije protoka zraka omogućava se korištenje sistema za otprašivanje u skladu s potrebama i radom mašina. Klapne koje su ugrađene na otvorima cijevne mreže iznad mašina automatski se otvaraju ili zatvaraju u trenutku kada se mašina uključuje ili isključuje. Ovaj sistem regulacije pogodan je za industrije proizvodnje namještaja, jer se u toku proizvodnog procesa često mijenja potreba za određenim mašinama. Nerijetko se dešava da klapne na otvorima ostaju zatvorene iako mašina radi. Ugradnja indikatora protoka zraka kroz cijevnu mrežu isključit će mogućnosti da se bespotrebno troši energija, ali i potencijalno nastajanje visoke koncentracije prašine u slučaju da mašina radi. Slika 14 prikazuje indikator protoka zraka ugrađen u sistemu otprašivanja. Treba voditi računa da se indikator postavi na vidnom mjestu, kako bi se mogao pratiti protok zraka i reagirati u slučaju da protok zraka padne ispod preporučenog.



Slika 14. Indikator protoka zraka [11]

5.2.3 Redovna kontrola sistema za otprašivanje

U sistemu otprašivanja postoji nekoliko kritičnih tačaka koje treba redovno provjeravati kako bi sistem radio efikasno, kako u pogledu potrošnje energije, tako i odnosu na efikasnost prečišćavanja. Redovna kontrola sistema za otprašivanje podrazumijeva najmanje sljedeće [12]:

- provjeru diferencijalnog pritiska,
- provjeru zapunjenosti spremnika drvene prašine,
- provjeru ispravnosti ventila,
- provjeru pritiska u sistemu komprimiranog zraka,
- provjeru ispravnosti zaptivki na vratima.

Redovna provjera diferencijalnog pritiska u sistemu, koji mjeri razliku u pritisku između prljave i čiste zračne strane kolektora, može ukazati na zaprljanost filtera, a nagli pad pritiska ukazuje na vjerovatno postojanje oštećenja na cjevovodu ili spojevima.

Provjera zapunjenosti spremnika drvene prašine štiti filtere od oštećenja. Spremnici se moraju isprazniti prije nego što nakupljena drvena prašina dođe do vrha. Kada su spremnici prepunjeni, može se desiti da se drvena prašina počne taložiti u cijevima (Slika 15), čime može doći do oštećenja filtera i zapaljenja prašine. Preporučuje se instaliranje senzora nivoa prašine kao sigurnija opcija.



Slika 15. Začepjenost cijevne mreže drvnom piljevinom [13]

Uklanjanje nakupljene prašine s filtera sistema za otprašivanje bazira se na tzv. principu puls-jet, odnosno pulsnom propuštanju komprimiranog zraka u središte filtera otvaranjem elektromagnetnih ili pneumatskih ventila. Ovi se ventili mogu oštetiti ili procuriti. To uzrokuje gubitak komprimiranog zraka, što može utjecati na neadekvatno čišćenje filtera. Radi osiguranja efikasnosti rada filtera potrebno je redovno provjeravati jesu li svi ventili u funkciji kada sistem za čišćenje pulsira. Drugo, potrebno je provjeriti otvaraju li se i zatvaraju ventili do kraja, kao i jesu li sva crijeva pričvršćena i ima li curenja.

Efikasnost čišćenja filtera ovisi i o pritisku komprimiranog zraka, pa ga treba redovno

kontrolirati. Optimalan nivo pritiska uvijek je naveden u tehničkoj dokumentaciji postrojenja. Ako je pritisak prenizak, sistem puls-jet sistem ne može efikasno očistiti filtere. Ako je pritisak komprimiranog zraka previsok, filteri se mogu oštetiti. Redovno provjeravajte pritisak komprimiranog zraka.

Vrata za pristup filterima trebaju imati funkcionalnu zaptivku koja zadržava zrak i prašinu. Ako je zaptivka oštećena, propuštanje zraka može omogućiti izlazak prašine, ili obrnuto, može doći do uvlačenja zraka i poremećaja rada sistema za otprašivanje.

Važnu ulogu za usis zraka i čestica drvene prašine ima ventilator, pa je stoga kontrola rada ventilatora veoma važna. Uz isporučeni ventilator, kao i za drugu opremu, dolazi tehnički i korisnički priručnik, u kojem se nalaze upute za njegovo održavanje. Striktno pridržavanje uputa o održavanju, kao npr. uputa o podmazivanju ležajeva, produžava radni vijek i efikasnost opreme.

5.3 ENERGIJSKI EFIKASNIJI RAD ELEKTROMOTORA

5.3.1 Zamjena standardnih klinastih kaišnih prijenosnika sinhronim kaišnim prijenosnicima

Osnovna preporuka za poboljšanja efikasnosti elektromotora proizvodnog pogona je zamjena standardnih klinastih kaišnih (remenih) prijenosnika sinhronim kaišnim prijenosnicima radi efikasnijeg prenošenja snage. Sinhroni kaiševi nemaju klizanje, što osigurava bolji prijenos snage, dok standardni klinasti kaiševi usljed trenja klizanja zahtijevaju dodatnu jačinu struje iz elektromotora, tako da sinhroni kaiš osigurava u prosjeku oko 2% veću efikasnost u odnosu na klinasti remen. Naprimjer, ugradnja sinhronih kaišnih prijenosnika na elektromotorima snage preko 15 kW osigurat će period otplate od dvije godine ili kraće kod rada u više smjena [14].

5.3.2 Ugradnja frekventnih pretvarača na elektromotore sistema za otprašivanje i usklađivanje brzine odsisa sistema

Kako bi se poboljšala efikasnost sistema otprašivanja i smanjila potrošnja energije, savjet je da se ne premašuje preporučena brzina usisa u kanalima za prikupljanje prašine. Ako brzina usisa nije usaglašena s potrebama mašine i ako je veća od potrebne, dolazi do povećane potrošnje električne energije. Brzina usisa treba pratiti brzinu nastanka prašine na mašini, odnosno biti dovoljna da se sva prašina usisa u određenom periodu. Da bi se to ostvarilo, neophodna je ugradnja uređaja koji bi kontrolirao protok na sistemu otprašivanja. Ako mašine rade sa sistemima za sakupljanje prašine pri brzinama većim od preporučene brzine za obrađivanje materijala (usaglašavanje s potrebama mašina do nivoa koji nije

mnogo veći od brzine taloženja materijala), to dovodi do nepotrebne potrošnje električne energije. Potrebno je ugraditi uređaje koji bi kontrolirali protok zraka u sistemu za otprašivanje. Prema istraživanju oko 10% smanjenja protoka u sistemu otprašivanja dovest će do smanjenja oko 30% potrošnje električne energije [15].

Najefikasniji način optimizacije protoka zraka u sistemu otprašivanja je ugradnja frekventnih regulatora (engl. variable frequency drive – VFD), čime se prate parametri sistema, kao što je to naprimjer statički pritisak na ulazu. Sistem digitalnog upravljanja s VFD-om može pratiti stanje sistema i automatski prilagođavati protok zraka u skladu s promjenama u sistemu otprašivanja tokom vremena. Ugradnjom VFD-ova rad elektromotora na ventilatorima prilagođava se procesnim potrebama, tako da ventilatori ne rade uvijek pod punim opterećenjem, nego mijenjaju svoju brzinu u skladu s potrebnim pritiskom. Pored uštede u potrošnji električne energije na ovaj način dolazi i do produženja životnog vijeka opreme, a posebno ventilatora, koji je najbitniji i najskuplji element sistema.

Prednost digitalno kontroliranog motora ventilatora je u tome što automatski održava/ mijenja protok zraka, jer se stalno dešavaju promjene u sistemu. Sistem frekventne regulacije strujanja zraka pomaže pri održavanju odsisa na otvorima, održavajući visoku produktivnost i pomažući u osiguranju kvalitetnog zraka radne zone postrojenja. Također osigurava potrebnu brzinu prijenosa koja smanjuje nakupljanje prašine u kanalima, umanjujući potrebe za održavanjem i veće navedene potencijalne rizike. Slika 16 prikazuje primjer frekventnih regulatora.



Slika 16. Frekventni regulatori

Elektromotori na sistemima za otprašivanje bez frekventne regulacije izloženi su maksimalnom opterećenju i u trenucima kada nema potrebe za tim. Maksimalno opterećenje skraćuje životni vijek elektromotora te dovodi do njegovog pregrijavanja i potencijalnih kvarova, kao i do povećane potrošnje električne energije. Ugradnjom frekventnih regulatora potrošnja električne energije sistema za otprašivanje može se značajno smanjiti te će elektromotori raditi onoliko koliko je u trenutku potrebno.

Primjer dobre prakse: Ugradnja frekventnih pretvarača na elektromotore sistema za otprašivanje [16]

Kako bi se odvela drvena prašina, na mašine su spojeni sistemi za otprašivanje koji odvođe prašinu iz pogona. Odvod drvene prašine ostvaruje se radom četiri elektromotora snage od po 2x45 kW i 2x55 kW. Elektromotori nisu bili frekventno regulirani te su tokom radnog vremena bili pod maksimalnim opterećenjem, s obzirom na konstantan rad mašina za obradu drvnog materijala. U cilju smanjenja potrošnje električne energije emisija stakleničkih plinova kao i smanjenja opterećenja opreme poduzeće je ugradilo frekventne regulatore na elektromotore. Na ovaj način poduzeće je postiglo uštedu od oko 65% u ukupnoj godišnjoj potrošnji električne energije, odnosno oko 46.000 BAM godišnje (uštete su računate sa srednjom specifičnom cijenom električne energije koju je poduzeće plaćalo u 2022. godini). Ako se u obzir uzme investicija od 105.000 BAM, jednostavni period povrata iznosio je oko 2,3 godine. Potrošnja električne energije prije i poslije uvođenja mjera kao i uštete date su u sljedećoj tabeli.

Karakteristika	Prije uvođenja mjera	Poslije uvođenja mjera
Potrošnja električne energije (kWh/god.)	336.000	117.600
Ušteta u potrošnji električne energije (kWh/god.)		218.400
Ušteta novčanih sredstava (BAM/god.)		46.000
Investicija (BAM)		105.000
Period povrata investicije (god.)		2,3

5.4 ENERGIJSKI EFIKASNije SUŠENJE DRVETA

Sušenje je kritičan korak u preradi drveta jer utječe na kvalitet konačnog proizvoda. Sušenje drveta energijski je intenzivan proces jer je za isparavanje vode iz drveta potrebna velika količina toplotne energije. Potrebna energija za sušenje drveta u konvencionalnim sušarama kreće se od 600 do 1000 kWh/m³ ovisno o vrsti o njegovoj debljini, što čini 50-70% ukupne potrebne energije za preradu drveta [17]. Budući da se potrebna energija generalno osigurava fosilnim gorivima kao što su ugalj, nafta i prirodni plin, ovaj proces svojim visokim karbonskim otiskom doprinosi klimatskim promjenama. Energijska efikasnost u procesu sušenja nije značajna samo zbog ušteta na troškovima već može i doprinijeti poboljšanju kvaliteta gotovog proizvoda kao i smanjenju negativnog utjecaja na okoliš. Kako cijene energije i dalje fluktuiraju, a zaštita okoliša postaje sve bitnija, postaje ključno za poduzeća da usvoje strategije koje povećavaju energijsku efikasnost operacija sušenja drveta. U nastavku je dat pregled nekoliko mogućnosti koje mogu pomoći u postizanju ovog cilja. Odabir odgovarajućeg sistema za sušenje u sušarama ključan je za postizanje željene ravnoteže između vremena sušenja, kvaliteta drveta i potrošnje energije. Razumijevanje ovih tehnologija od suštinskog je značaja za postizanje optimalnog procesa sušenja.

Tabela 3. Vrste sušara i njihove karakteristike

Tip sušare	Karakteristike
Konvencionalne sušare	Konvencionalne sušare su najčešći tip koji se koristi u drvnj industriji. Konvencionalna sušara relativno je jednostavna za rukovanje i održavanje, te je isplativa tehnologija za sušenje drveta. Loša strana ove tehnologije je energijska efikasnost. Konvencionalne sušare troše oko 50% više energije od one koja je potrebna za isparavanje vode. Potrošnja energije u konvencionalnoj sušari potrebna je za isparavanje vlage, zagrijavanje sušare i drveta, ventilaciju sušare, toplinske gubitke, curenje zraka i ovlaživanje zraka [18]. Konvencionalna metoda sušenja daje zadovoljavajući kvalitet pri sušenju manje osjetljivih vrsta (smrča, jela), dok kod osjetljivih vrsta uvijek postoji opasnost od pojave grešaka sušenja zbog primjene visokih temperatura. [19]
Kondenzacijske sušare	Kondenzacijske sušare za drvo pripadaju novijim tehnologijama sušenja drveta, kod kojih se kondenzacijom izdvaja vlaga iz drveta, pri čemu nema razmjene s vanjskim zrakom. Kondenzacijske sušare koriste toplotnu pumpu za uklanjanje vlage iz okolnog zraka unutar sušare. One su energijski efikasnije jer recikliraju toplotu koja nastaje tokom procesa uklanjanja vlage. Vođenje procesa sušenja u ovakvim sušarama je automatsko. Kvalitet sušenja u kondenzacijskim sušarama znatno je bolji nego kod konvencionalnih sušara, jer postoji ravnomjernost sušenja u cijelom složaju tako da nema rizika od kolapsa, pucanja, krivljenja i sl. [19].
Solarne sušare	Solarne sušare koriste energiju sunca za sušenje drveta. One su okolišno najprihvatljivija opcija i imaju minimalne operativne troškove. Solarne sušare obično su manje i potrebno im je duže vremena da se drvo osuši, ali su odlična opcija za male kapacitete sušenja i u regijama s obiljem solarne energije. [20]
Vakuumske sušare	Vakuumske sušare ubrzavaju proces sušenja koristeći vakuum za snižavanje tačke ključanja vode u drvetu, čime je omogućeno brže sušenje na nižim temperaturama okolnog zraka. Ova metoda posebno je korisna za sušenje debljih komada koji se teško suše ili za primjene gdje je potrebna veća brzina sušenja. Međutim, vakuumske sušare složenog su dizajna i mogu imati velike troškove rada. [21]

Put ka **energijski efikasnom sušenju** u sušarama počinje razumijevanjem karakteristika drvene sirovine, odnosno početnog sadržaja vlage. Različite vrste drveta imaju različita fizička svojstva i različit sadržaj vlage, što značajno utječe na daljnji proces sušenja. Početni sadržaj vlage u drvetu postavlja osnovu za to koliko će energije biti potrebno da se postigne željeni nivo suhoće. Tvrdo drvo naprimjer obično ima veću gustoću i može zadržati više vlage od četinara. Tvrdo drvo poput hrasta ili javora može također imati sadržaj vlage od 40-60%, te im je potrebno više vremena i energije da dostigne industrijski standardni sadržaj vlage od oko 6-8%. Četinari kao što su bor ili smreka mogu imati početni sadržaj vlage između 30-50% i mogu se sušiti brže zbog svoje manje guste strukture [22].

Kada je riječ o energijskoj efikasnosti sušara, potrebno je naglasiti da postoji niz preporuka s ciljem smanjenja potrošnje energije. Stariji modeli sušara neće biti energijski efikasni kao noviji, jer moderniji dizajn uključuje bolju izolaciju, efikasne sisteme grijanja i napredne

mehanizme protoka zraka.

Redovno održavanje sušare može spriječiti gubitak toplote i osigurati da sve komponente funkcioniraju optimalno, što pomaže u održavanju veće energijske efikasnosti. Naprimjer:

- Provjera i popravak curenja izolacije ili oštećenih vrata može spriječiti izlazak toplote iz sušare, čime se smanjuje energija potrebna za održavanje odgovarajuće temperature.
- Pravilno održavani ventilatori i otvori za ventilaciju također mogu osigurati efikasniju cirkulaciju zraka, što je od vitalnog značaja za ravnomjerno i efikasno uklanjanje vlage.

Vremenom neki dijelovi sušare mogu postati manje efikasni. Nadogradnja ovih komponenti na energijski efikasnije verzije može uštedjeti energiju.

Kontrola protoka zraka unutar sušare neophodna je za ravnomjerno sušenje i energijsku efikasnost. Zrak se mora ravnomjerno raspodijeliti po prostoru sušare kako bi se osiguralo da se svi dijelovi drveta suše istom brzinom. Neefikasan protok zraka može dovesti do 'mokrkih džepova' unutar naslaganog drveta, zbog čega sušara treba raditi više i duže na sušenju tih dijelova, što rezultira povećanom potrošnjom energije.

Ravnoteža uklanjanja vlažnog zraka uvođenjem suhog zraka ključna je jer povećano ventiliranje može trošiti energiju tako što uklanja toplotu zajedno s vlagom, dok nedovoljno ventiliranje može dovesti do previše vlažnih uvjeta, što usporava proces sušenja. Upotreba efikasnih ventilatora može osigurati pravilnu cirkulaciju zraka te smanjiti specifičnu potrošnju energije.

Temperatura i vlažnost u sušari moraju se pažljivo kontrolirati kako bi se optimizirala potrošnja energije. Operateri koriste strategiju sušenja s kontrolom temperature i podešavanjem prema fazi sušenja drveta. U početnim fazama više temperature mogu se koristiti za brzo isparavanje površinske vlage. Kako se drvo suši, temperature se često snižavaju kako bi se spriječila oštećenja površine.

Da bi upravljali vlažnošću, operateri često koriste metode kao što je metoda kontrole temperature „vlažnim termometrom“. To uključuje dodavanje vlage u zrak kako bi se spriječilo prebrzo sušenje drveta kada je to potrebno. Odgovarajućom temperaturom i nivoom vlage operateri sušara mogu značajno povećati energijsku efikasnost operacije sušenja. Korištenje mjerača vlage za redovnu provjeru sadržaja vlage u drvetu može pomoći u prilagođavanju rasporeda sušenja u realnom vremenu kako bi se spriječilo prekomjerno ili nedovoljno sušenje.

Potpunom izolacijom sistema za sušenje smanjuju se gubici toplote. U sušarama treba osigurati i **neometanu cirkulaciju zraka oko složenog drveta**, što dovodi do njegovog ravnomjernog sušenja.

Poželjno je **prethodno sušiti materijal** na temperaturama manjim nego u sušari (npr. prirodno sušenje), kako bi se postigla manja potrošnja energije. Sušenjem na vanjskom zraku postići će se smanjenje stepena vlažnosti drveta koje ulazi u sušare, a to će u konačnici rezultirati manjom potrebnom toplotnom energijom za proces sušenja. Prema podacima iz literature smanjenjem vlažnosti ulaznog drveta u sušaru od 1% umanjuje se potrebna toplotna energija za 11,7 kWh [23]. Sušenje na zraku također se preporučuje kada je riječ o drvenoj sječki koja se koristi u procesu proizvodnje toplotne energije, a u cilju

povećanja njene toplotne moći po kg sječke. Da bi gorivo bilo što efikasnije, odnosno da bi iskoristivost energije bila što veća, neophodno je smanjiti procent vlažnosti. Smanjenjem vlažnosti za 15% moguće je povećati toplotnu moć biomase za 1 kWh po jednom kg [24].

Korištenje **systema za povrat toplote** odličan je način za ponovno korištenje energije koja bi inače bila izgubljena u procesu sušenja. Najčešće korištene opcije su:

- **Iskorištavanje toplote ispušnog zraka:** Upotrebom izmjenjivača toplote iskorištava se toplota iz ispušnog zraka i koristi se za predgrijavanje ulaznog svježeg zraka.
- **Rekuperacija kondenzata:** Sakupljanjem kondenzata iz procesa odvlaživanja toplota sadržana u njemu može se ponovo iskoristiti za zagrijavanje sušare.

Predgrijavanje zraka moguće je postići i korištenjem solarnih ravnih pločastih kolektora (engl. *flat plate collectors*). Korištenje solarne energije za zagrijavanje zraka koji struji prema grijaču smanjit će potrošnju energije na grijaču, s obzirom na to da će temperatura zraka već biti povećana za određenu vrijednost zbog prethodnog zagrijavanja. Kombinacijom sistema za povrat toplote s ravnim pločastim kolektorima moguće je maksimalno smanjiti potrošnju energije za grijanje ulaznog zraka na grijaču. Sistemom za povrat toplote najprije se podigne temperatura ulaznog zraka, koji dalje struji prema pločastom kolektoru, gdje mu se temperaturni nivo dodatno podiže.

Upotreba **naprednih kontrolnih sistema** može značajno poboljšati energijsku efikasnost automatizacijom i optimizacijom rada sušare.

- **Automatska kontrola ventilacije:** Sofisticirani sistemi mogu prilagoditi ventilaciju na osnovu nivoa vlažnosti, čime se osiguravaju optimalni uvjeti sušenja.
- **Profiliranje temperature:** Kontrolni sistemi mogu modulirati temperaturu sušare tokom vremena kako bi odgovarali specifičnoj krivulji sušenja koja je potrebna za određeno drvo.
- **Daljinski nadzor:** Moderni kontrolni sistemi često dozvoljavaju daljinsko praćenje i prilagođavanja, što može spriječiti nepotrebno trošenje energije na licu mjesta i optimizirati performanse.

Provođenjem ovih strategija moguće je ne samo poboljšati energijsku efikasnost procesa sušenja već i doprinijeti održivijem radu. Prava kombinacija optimiziranog rasporeda, povrata toplote, napredne kontrole i redovnog održavanja može dovesti do značajnih ušteda energije i smanjenja ugljičnog otiska operacija sušenja drveta.

5.5 ENERGIJSKI EFIKASNIJA RASVJETA PROIZVODNIH POGONA

U drvnoj industriji proizvodi se širok spektar poluproizvoda koji zahtijevaju obradu, prilikom koje nastaju velike količine prašine. Iz tog razloga neophodna je ugradnja rasvjete u proizvodne pogone, s visokim stepenom zaštite od prašine. U pojedinim fabrikama zastupljene su i operacije ručnog rezbarenja, za koje je potrebno osigurati posebno dodatno osvjetljenje.

Generalno sagledavajući sve aspekte omogućavanje dovoljnog nivoa osvjetljenja u svim zonama proizvodnog pogona najvažniji je faktor za efikasan rad i rukovanje mašinama. Pored glavne rasvjete preporučuje se ugradnja i dodatnih rasvjetnih tijela koja će se koristiti za operacije s niskom frekvencijom rada. Neprilagođenost osvjetljenja potrebama radnog prostora jedan je od najčešćih problema koji se javljaju u drvnoj industriji te utječe na smanjenje efikasnosti proizvodnje i radnih uvjeta.



Slika 17. Primjer loše i dobro osvijetljenog skladišnog prostora [25]

Neke mjere za poboljšanje energetske 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. Ovisno o namjeni prostora i o tome koje su djelatnosti planirane u objektu, radi se proračun rasvjete i odabir rasvjetnih tijela. Ključni faktori su veličine U_0 i E_{av} , odnosno faktor ujednačenosti osvjetljenja i srednja rasvijetljenost prostora. Vrijednost ovih parametara propisana je za razne vrste industrije standardom Svjetlo i rasvjeta – Rasvjeta radnih mjesta – Dio 1: Radna mjesta u zatvorenom prostoru, BAS EN 12464-1:2012. Prema ovom standardu vrijednosti za obradu drveta su: $E_{av} = 500$, $U_0 = 0,60$, kontrola kvaliteta $E_{av} = 1000$, $U_0 = 0,70$, automatski procesi $E_{av} = 50$, $U_0 = 0,40$.
- 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.
- 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.
- Ostaviti otvore na krovu i sa strana hale koji propuštaju prirodno dnevno svjetlo kako bismo umanjili potrebu za potpunim vještačkim osvjetljenjem prostora (Slika 18).



Slika 18. Hala s prirodnim osvjetljenjem [26]

- Optimizacija visine postavljanja rasvjetnog tijela. Kod obrade drveta 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 19).

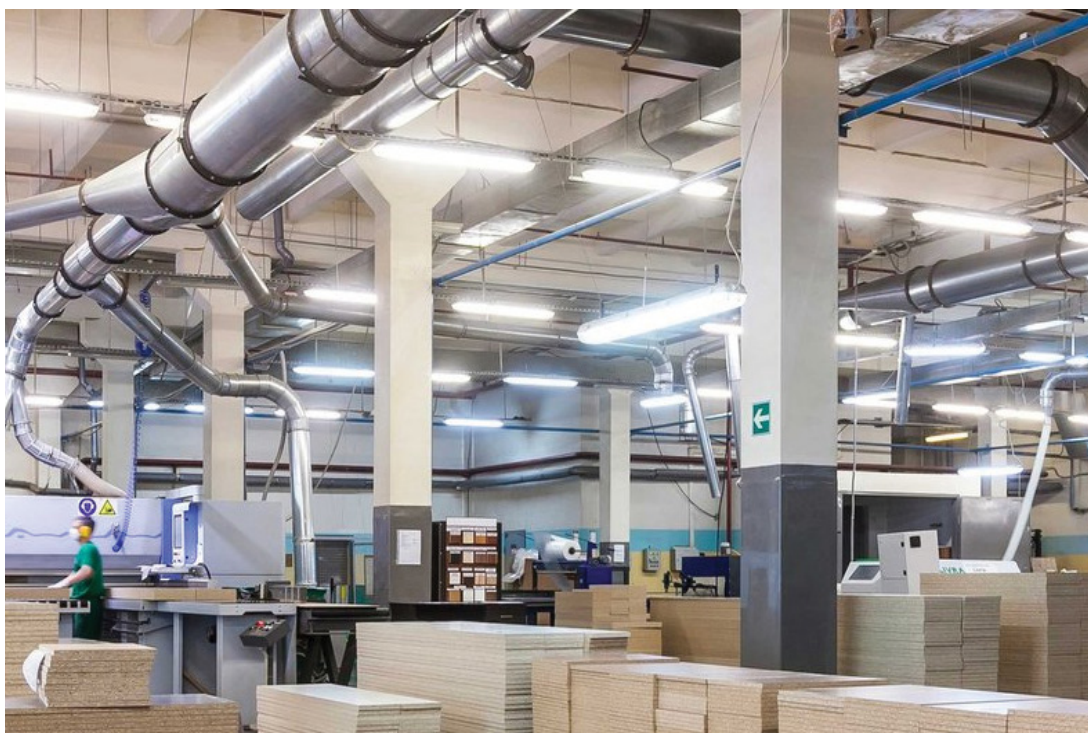


Slika 19. Rasvjeta postavljena neposredno iznad radnog mjesta [27]

5.5.1 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 [28]:

- Izvor svjetlosti: LED-diode su veličine 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.



Slika 20. LED-rasvjeta u proizvodnom pogonu [29]

Primjer dobre prakse: Zamjena rasvjete na bazi fluorescentnih sijalica LED-sijalicama [30]

Poduzeće za proizvodnju tapaciranog i pločastog namještaja koristilo je 73 fluorescentnih svjetiljke snage 2x36 W, koje su zamijenjene LED-industrijskim svjetiljkama snage 27 W, te 13 fluo svjetiljki snage 4x18 W zamijenjenih LED-svjetiljkama minimalne snage 36 W. Također je izvršena i zamjena 28 LED-ugradbenih panela snage 45 W LED-panelom minimalne snage 36 W. Potrošnja električne energije za rasvjetu iznosila je 18,56 MWh za 2022. godinu. Zamjenom 73 fluorescentnih svjetiljke snage 2x36W štedi se 7.686,90 kWh/god. Zamjenom 13 fluo svjetiljke snage 4x18W štedi se 589,68 kWh/god, a zamjenom 28 LED-panela štedi se 1.095,12 kWh/god.

Vrijednost investicije	Uštede			Period povrata investicije
	BAM	MWh/god.	t CO ₂ /god.	
22.727,3	9,37	6,97		Godina
				6,07

Primjenom ove mjere emisija CO₂ smanjenja je za 50%.

5.5.2 Automatska regulacija rasvjetnih tijela

Sistemi za automatsku regulaciju osvijetljenja intenzitet umjetne rasvjete podešavaju na osnovi dostupnosti dnevnog osvijetljenja. Korištenjem kombinacije različitih senzora može se postići još veća efikasnost, što dovodi i do smanjene potrošnje električne energije. Sistemi osvijetljenja automatskom regulacijom važni su i neophodni u prostorijama proizvodnih pogona, i to tamo gdje su poželjni promjenljivi nivoi osvijetljenja, bilo iz razloga što u nekim dijelovima prostorija ne borave stalno radnici ili zbog toga što u nekim dijelovima ima više prirodne svjetlosti.

Fotosenzori koriste elektroničke komponente koje pretvaraju 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 uspostavlja varijabilni izlazni signal i šalje kontroleru, koji kontinuirano podešava izlaz električne rasvjete.

Senzori pokreta pružaju lokalno upravljanje „uključeno-isključeno“ rasvjetnim tijelima u odnosu na prisutnost zaposlenika u prostoru. Prisustvo se detektira zvučnim, ultrazvučnim, pasivnim infracrvenim ili optičkim sredstvima. Ovi uređaji dizajnirani su za uključivanje svjetla kada zaposlenik uđe i ostavljaju ih upaljene dok se on ili ona zadrži u prostoru; svjetla se gase nakon pretpostavljenog odlaska zaposlenika. Senzori kretanja mogu uštediti do 80% u troškovima energije za rasvjetu.

5.6 ENERGIJSKI EFIKASNIIJA KOTLOVSKA POSTROJENJA

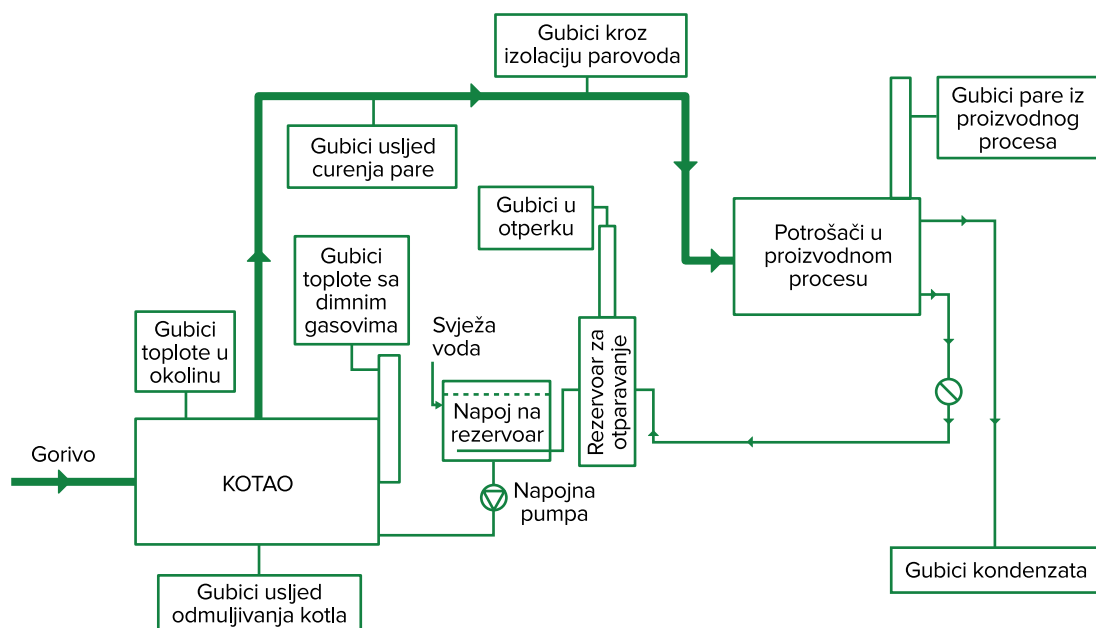
Kotlovska postrojenja mogu se koristiti za proizvodnju toplotne energije za zagrijavanje objekata kao i za proizvodnju pare za potrebe procesa sušenja drveta. Parne kotlovnice koriste se za snabdijevanje parom tokom procesa sušenja drva. U kotlovnicaama za proizvodnju pare primarni cilj je proizvodnja suhe i visokokvalitetne pare, što znači pare koja sadrži minimalno ili nimalo tekuće vode. Međutim, u nekim slučajevima kapljice vode mogu se prenijeti s parom i postati dio protoka pare. Dodatno se para može zaprljati hemikalijama i otopljeni krutim tvarima iz kotlovske vode.

To znači da para više nije čista i može postati vrlo problematična za sušenje. Ako se voda iz kotla prenosi u parnu liniju i ubrizgava u sušaru, može doći do oštećenja kako drveta tako i strukture sušare. Zaprljana para je para niske energije i niskog kvaliteta, što rezultira neujednačenim sušenjem i u konačnici uzrokuje varijacije u kvalitetu drveta. Ova pojava može uzrokovati i nagli pad efikasnosti kotla, dovesti do vodnog udara i nepredvidivog ponašanja kotla, otežati upravljanje procesom hemijske pripreme kotlovske vode te uzrokovati pojavu korozije u parovodu. Navedeni problemi dovode do povećanja potrošnje goriva u kotlu i dodatnih troškova [31].

Kako bi se spriječilo ili minimiziralo zaprljanje pare i prenošenje kapljica vode parom, pravilna obrada kotlovske vode, kontrola kvaliteta kotlovske vode, održavanje odgovarajućih nivoa vode u kotlu i upotreba parnih separatora ili odmagljivača uobičajene su prakse u parnim sistemima. Ove mjere pomažu osigurati proizvodnju visokokvalitetne i suhe pare za različite industrijske procese.

Kad se govori o energijskoj efikasnosti proizvodnje energije u industrijskim kotlovnicaama, potrebno je obuhvatiti cijeli sistem za proizvodnu i distribucije 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 21):

- gubici kroz plašt kotla,
- gubici usljed odmuljavanja 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 21. Gubici energije kod sistema za proizvodnju i distribuciju pare [32]

5.6.1 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. Tvrdoća, 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. Tvrdoća 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 veoma 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 doprinosi povećanju efikasnosti rada kotla, smanjenju potrošnje energije, vode i hemijskih sredstava za tretman vode. Ukoliko voda ne zadovoljava propisane parametre, potrebno ju je tretirati. Tretman može biti vanjski, koji se fokusira na uklanjanje soli, i unutrašnji, gdje se kotlovske vodi direktno dodaju hemikalije za tretman. Vanjski tretman moguće je obaviti primjenom sljedećih tehnologija: omekšavanje jonskom izmjenom, dealkalizacija, demineralizacija, reverzna osmoza, deaeracija, bistenje vode.

Izbor načina tretmana ovisi o kvaliteti napojne vode.

Za odgovarajuću pripremu vode od ključnog značaja je doziranje hemikalija kako bi se osigurala njihova stalna koncentracija u mjeri koja omogućava postizanje zahtijevanih vrijednosti parametara kvalitete. 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 gdje radnik dozira hemikaliju iz spremnika na bazi očitanih parametara kvalitete vode. Kod automatiziranog sistema doziranje se vrši na bazi vremenskih intervala, promjene pritiska, odnosno protoka, ili na bazi automatske kontrole kvalitete vode, što je najsigurniji a ujedno i najefikasniji način.

5.6.2 Optimizacija procesa odmuljivanja i odsoljavanja kotla

Da bi kotao efikasno i pouzdano radio, ne smije se dozvoliti stvaranje naslaga kamenca ili korozija, pa se vrši njegovo plansko odmuljivanje/odsoljavanje s ciljem održavanja koncentracije soli i ostalih nepoželjnih materijala 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 odmuljavanja jednaka temperaturi pare u kotlu. Optimiziranjem ciklusa odmuljavanja smanjuju se troškovi vode za dopunu i troškovi hemijske pripreme vode. Nizak stepen odmuljenja povećava koncentraciju nepoželjnih materija u kotlovskoj vodi.

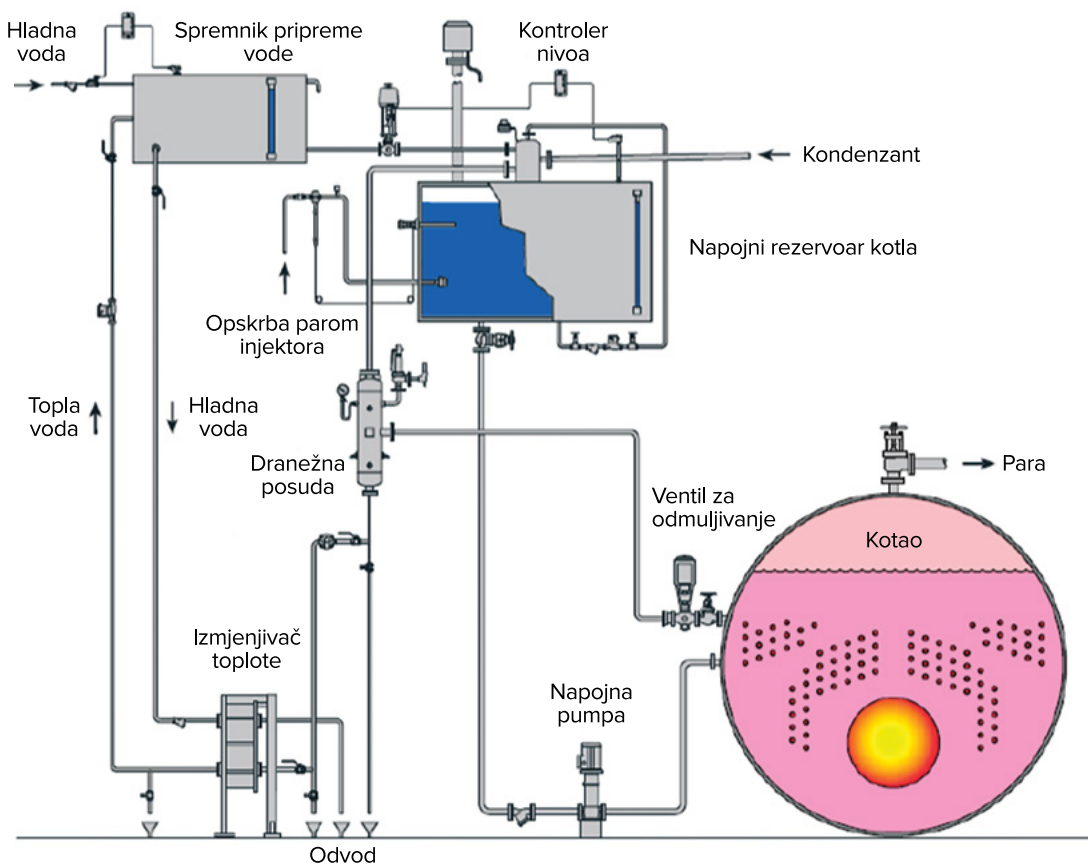
Ne postoji čvrsto definirano pravilo za optimalnu vrijednost stepena odmuljenja budući da kvalitet napojne vode značajno varira, a kreće se u intervalu od 1% pa sve do 25% (u odnosu na protok napojne vode u kotlu) [32].

Postoje tri načina odmuljivanja i odsoljavanja kotlova: kontinualno, ručno i automatsko. Primjenom automatskog odmuljivanja i odsoljavanja poboljšava se efikasnost, odnosno toplotni gubici i potreba za upotrebom hemijskih sredstava svedeni su na minimum. Ovu vodu zbog povišene temperature (95°C) prije ispuštanja u kanalizaciju treba ohladiti. Hlađenje se vrši obično gradskom vodom u procesu direktnog miješanja, a to predstavlja još jedan dodatni trošak za poduzeće.

Ova energija može se iskoristiti na efikasniji način korištenjem izmjenjivača toplote. Korištenjem izmjenjivača toplote, kompanija može optimizirati troškove hlađenja i istovremeno povećati energetske efikasnosti, 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 [33].

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 energetska 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 22).



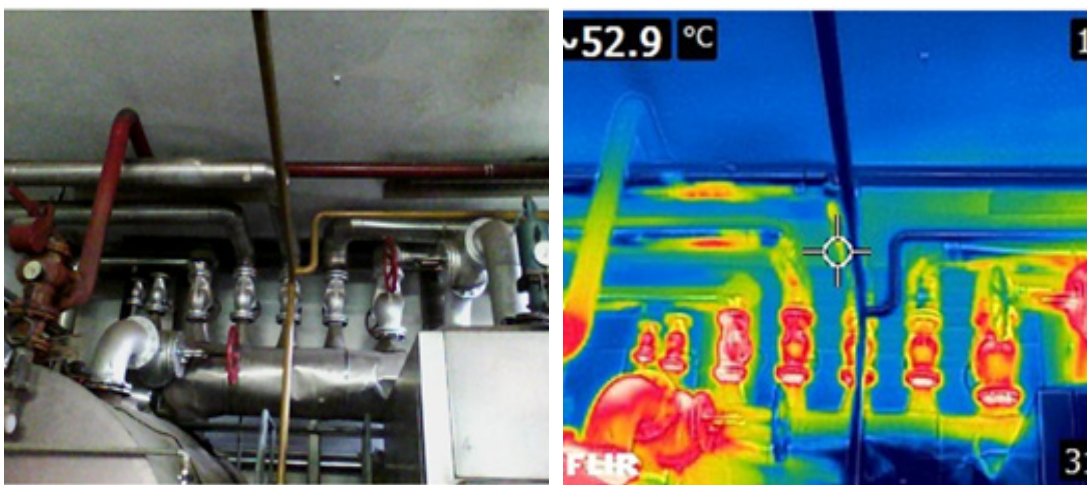
Slika 22. Iskorištenje rashladne vode u rezervoaru za pripremu vode [34]

5.6.3 Postavljanje/zamjena toplotne izolacije na dijelovima kotlovskeg sistema

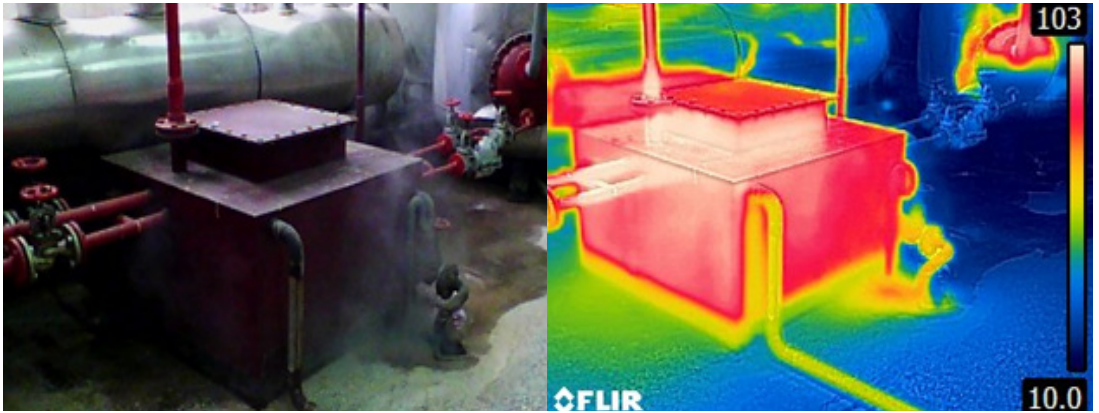
S ciljem smanjenja gubitaka toplote u industriji i energetici primjenjuje se toplotna izolacija opreme i instalacija (kotlovi, rezervoari, posude, cjevovodi i cijevne armature). Transport pare i vode do potrošača, kao i transport kondenzata nazad do kotla ostvaruje se cjevovodima koji trebaju biti toplotno 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 se prikazuju fotografski snimci i snimci termovizijskom kamerom, sačinjeni u kotlovnici jedne prehrambene tvornice u Bosni i Hercegovini. Snimci pokazuju gubitke toplote na plaštu kotla, ventilima, parovodu i spremniku kondenzata, kao i gubitke toplotne energije usljed istjecanja pare na prirubnicama (Slika 23, Slika 24, Slika 25 i Slika 26). Osim detekcije gubitaka pomoću termovizijske kamere dijelovi u kojima dolazi do najvećih gubitaka toplote mogu se detektirati i eliminirati opipavanjem, vizuelnim pregledom izolacije ili korištenjem površinskog ili radijacijskog termometra.



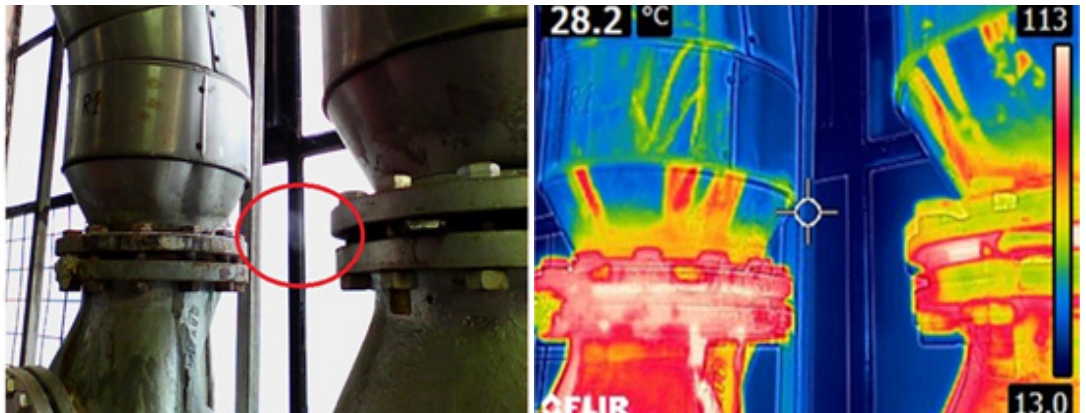
Slika 23. Gubici toplote kroz oplatu kotlova, oštećena izolacija kotlova i parovoda (arhiva autora)



Slika 24. Neizoliranost ventila (arhiva autora)



Slika 25. Neizoliranost spremnika kondenzata (arhiva autora)



Slika 26. Gubici toplotne energije usljed isticanja pare na priрубnicama (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 [35] (slika 27, slika 28, slika 29, slika 30, slika 31, Slika 32).



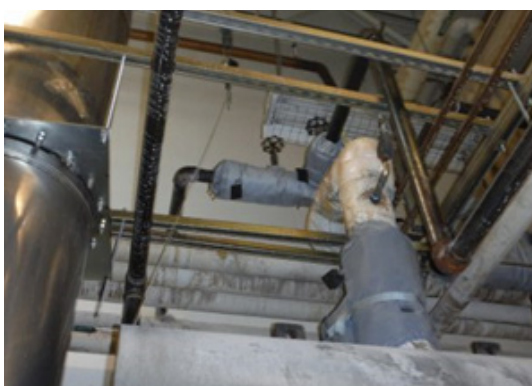
Slika 27. Odvojiva izolacija od kompozitnih materijala [36] Slika 28. Fiksna izolacija [37]



Slika 29. Odvojiva izolacija cilindričnog kotla [38]



Slika 30. Fiksna izolacija cilindričnog kotla [39]



Slika 31. Odvojiva izolacija cijevi [40]



Slika 32. Fiksna izolacija cijevi [41]

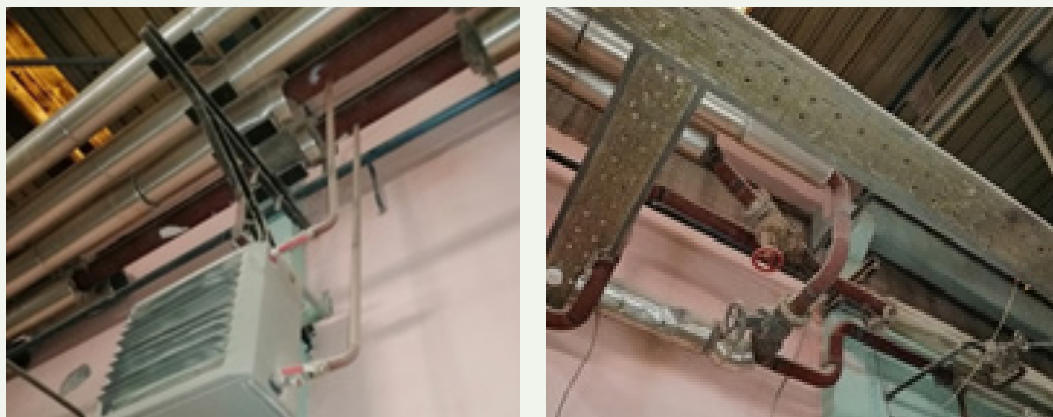
Temperatura površine cijevi ili posude neznatno se razlikuje od temperature medija koji se nalazi u posudi ili koji struji kroz cjevovod. Zbog toga neizolirani vodovi za distribuciju pare i povrat kondenzata predstavljaju stalni izvor izgubljene energije. Dobra izolacija obično može smanjiti toplotne gubitke za 90% i pomoći u održavanju odgovarajućeg pritiska pare u postrojenju. Sve površine na temperaturi iznad 50°C trebale bi biti izolirane, uključujući površine bojlera, povratne cijevi pare i kondenzata i ostalu opremu. [42]

Naprimjer, gubici toplote za neizolirani cjevovod nazivnog prečnika 100 mm kroz koji struji pregrijana vodena para pritiska 10 bara iznose 1052 W/m. Postavljanjem toplotne izolacije (CaSiO₄) 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 ekvivalentni su gubicima toplote neizoliranog cjevovoda dužine 1,1 do 1,3 m. Kada su u pitanju neizolirane prirubnice kod cjevovoda, gubici toplote ekvivalentni su gubicima toplote neizoliranog cjevovoda dužine 0,3 do 0,4 m. [43]

Kao izolacijski materijali u industriji se najviše 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 oplata od limena vrši se vijcima ili zakovicama. [43]

Primjer dobre prakse: sanacija izolacije cjevovoda [44]

Tvornica za proizvodnju namještaja vrši primarnu i finalnu obradu drveta. U pogonu je šest sušara koje se napajaju parom s parovodnog kotla snage 3 MW. Dijelovi parovoda u proizvodnim halama trenutno nisu u potpunosti izolirani.



Slika 33. Oštećenost izolacije cjevovoda u proizvodnom pogonu

Za izolaciju dijelova parovoda od kotlovnice do proizvodnih hala, a koji nisu izolirani, urađena je izolacija s mineralnom vunom u oblozi od aluminijskog lima. Za cjevovode koji se spuštaju prema grijnim tijelima (kaloriferima), a koji su manjih prečnika, predložena je izolacija od polietilenske pjene. Primjenom ove mjere postignuta je ušteda od 5 MWh/ godišnje.

Vrijednost investicije (BAM)	Uštede energije (MWh/godišnje)	Uštede novca (BAM/godišnje)	Vrijeme povrata investicije (god.)
1.800	5	230	7,8

5.6.4 Povrat kondenzata

Često se odvajači kondenzata pare zanemaruju, jer su cjevovodi postavljeni na mjestima koja su teško dostupna, tako da dolazi do čestih kvarova ovih odvajača. Sistemi povrata kondenzata također su sistemi koji nemaju prostora za grešku. Vraćanje parnog kondenzata u kotlovski sistem omogućava smanjenje potrošnje vode i njene obrade. Smanjenjem količine energije potrebne za pretvaranje kondenzata iz pare pri 160°C u vodu pri 40°C moguće je ostvariti uštedu energije [45].

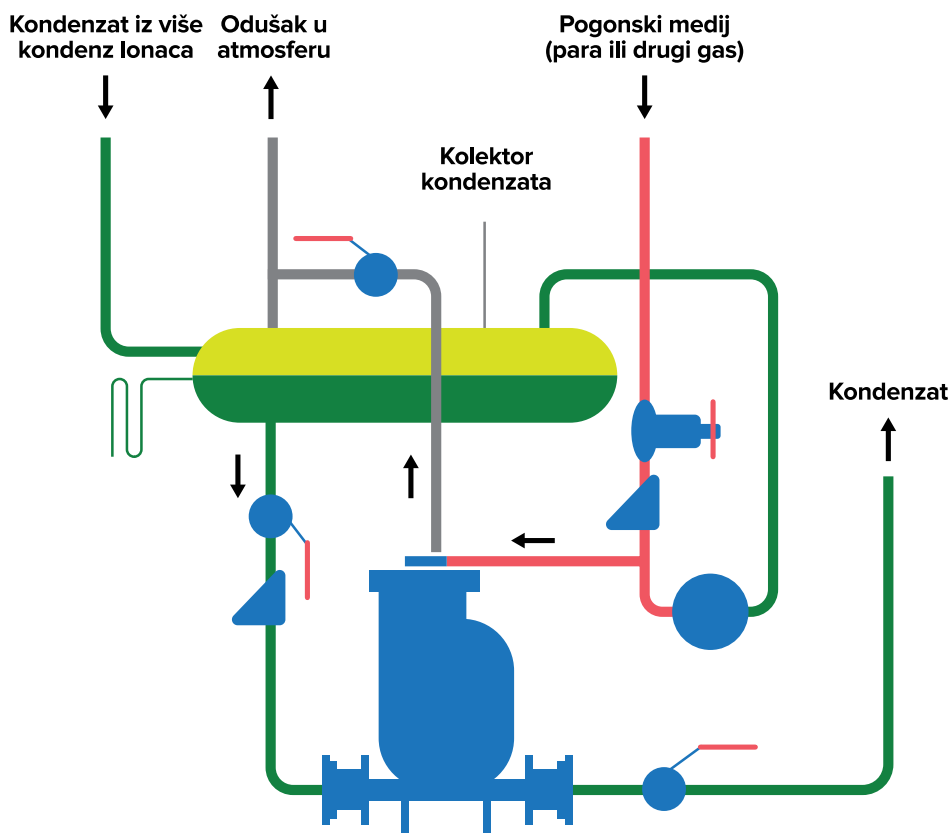
Vraćanjem kondenzata moguće je značajno poboljšati efikasnost parnih postrojenja. Povrat kondenzata s izmjenjivača toplote i druge opreme unutar parnog procesa opravdano je i s ekonomskog i s tehničkog aspekta jer povrat kondenzata pozitivno utječe na efikasnost procesa, njegovu stabilnost, ali i duži životni vijek opreme. Neke od prednosti iskorištavanja toplote 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 kotlovskeg 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 [46].

Primjenom ove mjere pretpostavlja se postizanje 10% uštede energije s periodom povrata investicije od 1,1 godinu [47]. Da bi se dostigao, a potom i održao visok nivo povrata kondenzata, prvenstveno je važan dobar izbor odvajачa 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 toplote.

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 transportirala 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. [48]



Slika 34 Princip povrata ukupnog kondenzata uz pomoć mehaničke kondenzacione pumpe [48]

5.6.5 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 zavisi od kvaliteta ovog miješanja. Ako odnos zraka i goriva nije optimalan, efikasnost industrijske peći ili kotla opada. Ako premalo zraka uđe u gorionik ili komoru za sagorijevanje, gorivo ne sagorijeva u potpunosti. Zbog toga se manje hemijske energije pretvara u toplotnu 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. Kontrola kroz redovnu ili kontinuiranu analizu stvarne potrošnje goriva, zraka za sagorijevanje i (viška) kisika 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. [50]

5.7 ENERGIJSKI EFIKASNJI SISTEMI S KOMPRIMIRANIM ZRAKOM

U mnogim proizvodnim pogonima sistemi za komprimiranje zraka imaju najmanju energijsku efikasnost u odnosu na ostalu opremu te su često predmet analize prilikom prijedloga mjera poboljšanja energijske efikasnosti.

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 da su troškovi proizvodnje i upotrebe komprimiranog zraka veoma visoki, potrebno je da njegov cjelokupan sistem bude uvijek u optimalnom stanju. [51]

Osnovne komponente sistema komprimiranog zraka su: filter, sušač komprimiranog zraka, separator i sistem distribucije. Prisutnost filtera, separatora i sušača zraka služi za uklanjanje čestica i vlage iz zraka i povrat ulja u kompresor. Sistemi distribucije zraka više ili manje uvijek su projektirani tako da slijede potrebe krajnjih korisnika.

Pored toga, motori za pogon kompresora igraju značajnu ulogu u cjelokupnom sistemu. Efikasnost motora može se povećati [52]:

- ugradnjom frekventnih regulatora za pogon vijčanog kompresora, čime je moguće 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 4 prikazuje najčešće probleme koji se mogu javiti pri radu kompresora, kao i moguća rješenja.

Tabela 4. Najčešći problemi u kompresorskim stanicama proizvodnih pogona [53]

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 alternativnih rješenja
Sistem bez spremnika komprimiranog zraka	Sistem radi bez skladištenja komprimiranog zraka	Ugradnja spremnika komprimiranog zraka
Nekorištenje otpadne toplote	Gubici otpadne toplote, bez ponovnog korištenja	Rekuperacija otpadne toplote kompresora

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.

Proizvođač kompresorskih sistema Kaser nudi web-alat za proračun ušteta u energiji primjenom različitih mjera koje poboljšavaju energijsku efikasnost kompresora. Alat je dostupan na adresi:

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

5.7.1 Regulacija sistema komprimiranog zraka

Regulacija je najbolji način za upravljanje sistemom komprimiranog zraka. Moderni regulacijski sistemi mogu osigurati uštede u vrijednosti 5–20 % ukupnih troškova proizvodnje komprimiranog zraka uz relativno male kapitalne izdatke. S obzirom na to da su pogonski uvjeti ponekad vrlo promjenjivi (više nego što je pretpostavljeno tokom projektiranja), 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 u spremniku komprimiranog zraka, tako da je kompresor u punom pogonu dok pritisak u spremniku ne dosegne definiranu granicu, nakon čega se kompresor gasi ili „rasterećuje“ – ovo je najčešća metoda.

- Prilagođavanjem 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, a što zavisi od vrste 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 tvornicama 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 oko 7%. Pored toga, ovako povećan pritisak povećava i trošenje opreme, što dovodi do povećanih troškova održavanja i skraćenja životnog vijeka opreme [54].

Današnja tehnologija također uvijek uključuje ugradnju frekventnog regulatora za upravljanje opterećenjem, prilagođavajući brzinu kompresora trenutnim potrebama procesa koji koristi komprimirani zrak. Sa energetske strane stanovišta uštede energije, ovaj sistem regulacije je najbolji. Primjena pogona s promjenjivom brzinom naročito se preporučuje za tvornice koje rade u tri smjene i bez prekida rada za vikend, a pri tome imaju znatne fluktuacije potrebe za zrakom pod pritiskom.

5.7.2 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 - 10% od ukupnog kapaciteta, ali mogu narasti i do 40% u postrojenjima koja se ne održavaju na odgovarajući način. Smatra se da se može tolerirati ako je curenje do 10% ukupne proizvodnje, međutim kontrola curenja zraka trebala bi biti dio programa preventivnog održavanja [54]. Slika 35 prikazuje mjesto oštećenja i pojave curenja u cijevnoj mreži, te nepravilnu popravku oštećenja.

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.

Tabela 5 prikazuje troškove koji se javljaju zbog curenja zraka pod pritiskom u zavisnosti od prečnika rupe oštećenja, pri čemu je pri proračunu troškova razmatran sistem pritiska od 6 bara, a cijena električne energije 0,196 BAM/kWh (na osnovi prosječnih troškova industrijske električne energije u EU). Sistem radi 8.000 h godišnje, a cijena priprema zraka pod pritiskom iznosi 0,0039 BAM/m³.



Slika 35. Oštećenost distributivne mreže komprimiranog zraka (pojava curenja)

Tabela 5. Troškovi curenja zraka pod pritiskom [54]

Prečnik rupe	Gubitak zraka pri pritisku od 6 bara		Gubitak energije	Troškovi proizvodnje na godišnjem nivou	Troškovi proizvodnje, pripreme i distribucije na godišnjem nivou
	l/min	m ³ /h			
mm			kW	BAM	BAM
1	80	4,8	0,4	627	1.505
3	670	40	4	6.270	12.602
5	1.857	111	10	15.674	34.927
10	7.850	471	43	67.398	147.648

Osim povećane potrošnje energije curenja mogu učiniti alate koji rade na komprimirani zrak 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 uočena mjesta curenja su spojnice i drugi spojevi, crijeva, cijevi, fitinzi, rezervoari i spremnici, sistemi za odzračivanje, regulatori pritiska, otvoreni odvodnici kondenzata i zaporni ventili, rastavljači i brtvila za navoje.

Poduzeća bi trebala kontinuirano provoditi programe otkrivanja curenja i popravki. 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 puno 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. Popravakom curenja i održavanjem curenja zraka mogu se smanjiti na manje od 10%, što može rezultirati smanjenjem godišnje potrošnje energije sistema komprimiranog zraka od oko 20% . [52]

Primjer dobre prakse: Uvođenje mjere EE – Sanacija cijevne mreže i ugradnja regulatora protoka zraka [53]

Poduzeće za proizvodnju namještaja posjeduje dva vijčana kompresora snage 75 kW. Kompresori rade u modularnom načinu i proizvode komprimirani zrak (0,5 m³/s) i nemaju ugrađene regulatore pražnjenja. Sistem radi 6.000 h godišnje, a vikendom je potpuno isključen. Usljed oštećenosti cijevne mreže došlo je do pojave curenja komprimiranog zraka, što je prouzrokovalo pad pritiska u sistemu i povećanje potrošnje energije.

Izvršena je sanacija oštećenih dijelova cijevne mreže na kojima se javljalo curenje i ugrađen je regulator protoka komprimiranog zraka. Proizvodnja komprimiranog zraka regulirana je u skladu s procesnim potrebama, odnosno krajnjim potrošačima. Izvršeno je prilagođavanje protoka zraka na ulazu kompresora korištenjem ventila za smanjivanje protoka zraka. Potrošnja energije smanjenja je za 48%, što je rezultiralo godišnjim uštedama od 83.104 BAM prema navedenoj cijeni električne energije od 0,196 BAM/kWh.

Karakteristika	Prije uvođenja mjera	Poslije uvođenja mjera
Ukupna potrošnja električne energije kompresora (kWh)	880.000	456.000
Curenja m ³ /s	0,05	0,02
Pritisak sistema (bar)	8	7

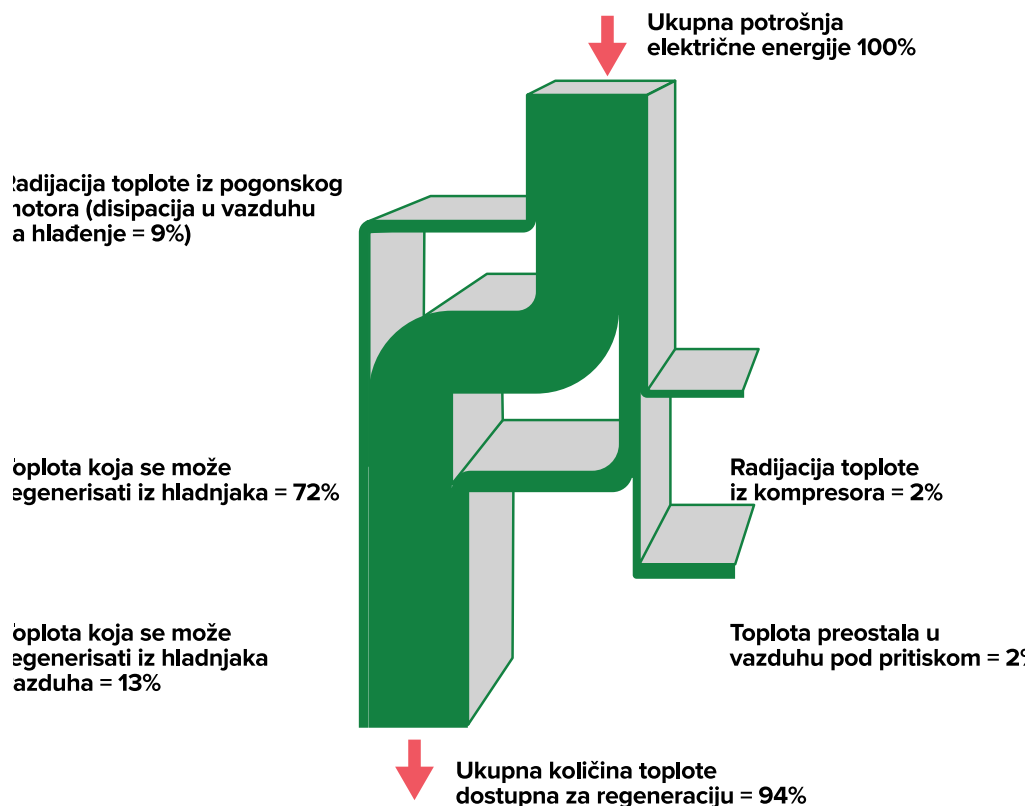
5.7.3 Cirkularnost otpadne toplote kompresora

Sistemi za komprimiranje zraka spadaju u energijski neefikasne uređaje s velikom količinom otpadne toplotne energije. Otpadna toplotna energija nastaje usljed zagrijavanja zraka, koji nastrojava preko komponenti sistema i preko hladnjaka. U hladnjaku dolazi do hlađenja zagrijanog ulja i komprimiranog zraka, odnosno indirektno izmjene toplote između zraka za hlađenje te ulja i komprimiranog zraka. S obzirom na to da se u većini slučajeva nakon prolaska preko hladnjaka zrak pušta u okoliš, toplotni potencijal zagrijanog zraka biva neiskorišten. Približno 70-80% električne energije koju koristi industrijski kompresor pretvara se u toplotu.

Potencijal za iskorištavanje toplote koja se uklanja hlađenjem zraka tokom kompresije iznosi i do 94%. Najviše energije moguće je nadoknaditi vijčanim kompresorima, a najmanje klipnim kompresorima. Ova energija može se koristiti za razne druge operacije unutar

poduzeća (naprimjer zagrijavanje napojne vode kotla, zagrijavanje sanitarne vode i slično). Također se otpadna toplota kompresora može koristiti za grijanje prostorija u objektima i time se smanjuje potreba energija za grijanje. Prema iskustvenim podacima korištenjem otpadne toplote s kompresora godišnje se može uštediti do 20% toplotne energije koja se koristi za grijanje prostorija [52]. Slika 36 prikazuje strukturu gubitaka kao i količinu toplote koju je moguće ponovno iskoristiti.

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



Slika 36. Struktura gubitaka u tipičnom kompresorskom sistemu [54]

Otpadna toplota kompresora može se iskoristiti na dva načina i to [55]:

- direktno, putem odsisnog kanala (Slika 37),
- putem izmjenjivača toplote (Slika 38).

Korištenjem zagrijanog zraka iz kompresora susjedne prostorije mogu se jednostavno i efikasno zagrijavati putem direktnog odvođenja ispušnog zraka. Na taj način može se ponovo iskoristiti do 90% električne energije isporučene kompresoru – ili za potrebe grijanja neke prostorije ili za daljnju upotrebu kao procesna toplota [55]. 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. Zrak s kompresora u ovom

se slučaju usmjerava 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 37).

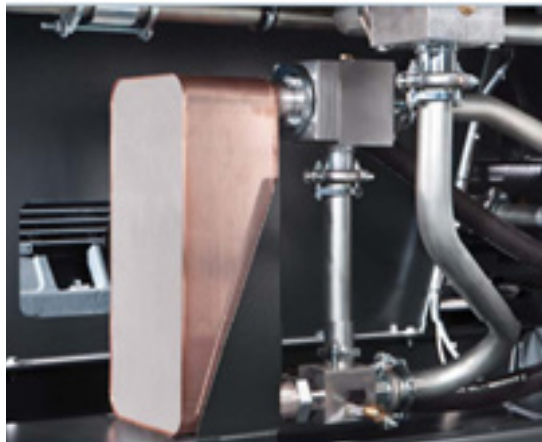
Pored ugradnje odsisnih kanala povećanje energijske efikasnosti sistema može se postići i ugradnjom izmjenjivača toplote tipa ulje-voda (najčešće pločastog). Na ovaj se način može preuzeti toplotna energija s ulja te zagrijati potrošna topla voda (PTV). Nakon hlađenja ulje opet prolazi kroz hladnjak, kako bi došlo do potpunog hlađenja ulja na potrebnu temperaturu.



Slika 37. Iskorištavanje otpadne toplote s kompresora putem kanala za odsis toplog zraka [55]

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.



Slika 38. Prikaz IT za iskorištavanje toplote ulja [55]

Primjer dobre prakse: Iskorištavanje otpadne toplote kompresora [30]

Tvornica koja proizvodi namještaj od drveta za procesne potrebe koristi komprimirani zrak. Korišteni kompresor je KAESER ABT 102 nazivne snage 55 kW, sa spremnikom komprimiranog zraka zapremine 1.000 litara. Aktivno radno vrijeme kompresora je oko 4 h dnevno, što dovodi do nastanka od oko 52.800 kWh otpadne toplotne energije na godišnjem nivou. Na bazi navedenog poduzeću je predložena mogućnost iskorištavanja otpadne toplote za grijanje administrativnog dijela zgrade te pripremu PTV. Prijedlog mjere povećanja energijske efikasnosti obuhvatio je ugradnju kanala za odvod toplog zraka s kompresora u administrativni dio zgrade te ugradnju pločastog izmjenjivača toplote ulje-voda za pripremu PTV. Na ovaj je način iskorišten veliki dio otpadne toplotne energije s tim da se u toku ljetnog perioda dio toplote pušta u okoliš, s obzirom na to da se ne radi o sezoni grijanja.

Karakteristika	Prije uvođenja mjera	Poslije uvođenja mjera
Potrošnja električne energije za pripremu PTV (kWh/god)	9.100	0
Smanjenje potrošnje energije za grijanje administrativnog dijela zgrade korištenjem kotla na pelet (kWh/god)		38.000
Vrijednost investicije (BAM)		22.000
Novčana ušteda (BAM/god)		4.000
Jednostavni period povrata investicije (god)		5,5

5.7.4 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 energetska 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). Sa velikim spremnikom, promjene u pritisku su jako spore. To dozvoljava postavljanje malog diferencijalnog pritiska (razlika između zadane vrijednosti opterećenja i rasterećenja) i također dozvoljava 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%. [56]

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

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

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 (Nm/s). [54]

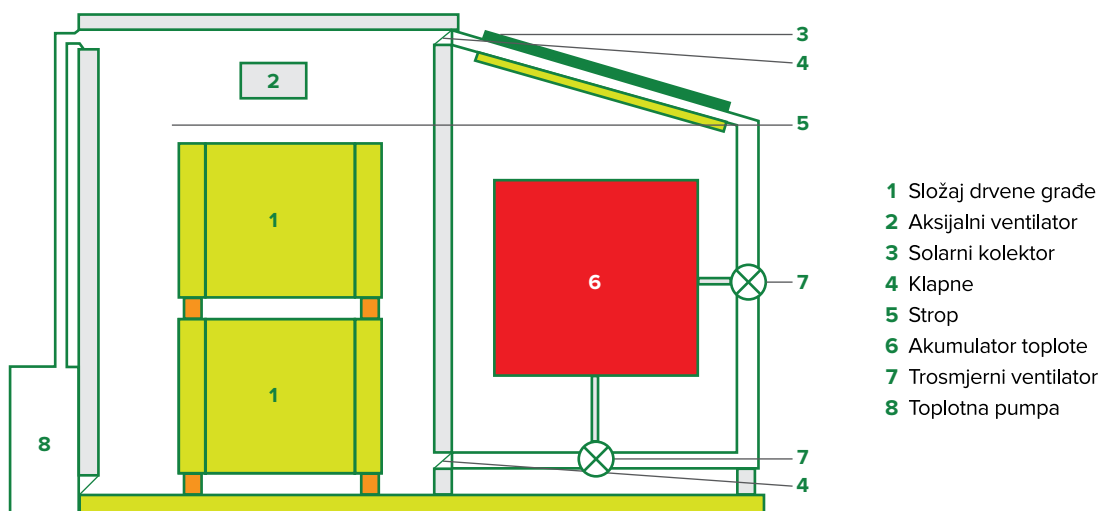
5.8 UPOTREBA TEHNOLOGIJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U DRVNOJ INDUSTRIJI

S ciljem uštede energije i smanjenja štetnih emisija poduzeća u drvnj industriji trebala bi maksimizirati učešće obnovljivih izvora energije u energijskoj mješavini. Najveći izazov za implementaciju zelenih tehnologija za industrijska poduzeća svakako predstavlja vrijednost investicije, ali će dapače biti neophodno implementirati tehnologije OIE jednom kada se sistem trgovanja emisijama uspostavi. Na taj će način poduzeća povećati konkurentnost i proizvoditi „zeleniji“ proizvod koji će se na tržištu više cijeliti. Pored toga, potrošnjom energije iz obnovljivih izvora smanjit će se i vrijednost takse za emitirani CO₂. Za drvnu industriju kompatibilne tehnologije su fotonaponske elektrane (FN), solarni kolektori i toplotne pumpe. Toplotne pumpe i solarni kolektori proizvode toplotnu energiju koja se može koristiti za različite potrebe (sistemi grijanja, sušare, PTV i druge procesne potrebe), dok fotonaponske elektrane proizvode električnu energiju.

5.8.1 Sušenje drveta upotrebom solarne energije

Sušenje drvnog proizvoda moguće je ostvariti uz direktno izlaganje suncu, s pasivnim ili prinudnim kretanjem zraka, i takve se sušare koriste za sušenje manjih količina drveta. Kod indirektno pasivne sušare solarno zračenje ne djeluje direktno na materijal koji se suši i one se izrađuju za veće kapacitete industrijskog sušenja drveta. Kako je nedostatak solarnih sušara fluktuacija solarnog zračenja, razvijaju se kombinirane solarne sušare, koje osim solarne energije koriste još neki drugi vid energije (biomasa, vjetar, plin), a to im osigurava kontinuiran rad, bez obzira na vremenske uvjete i vrijeme trajanja sunčevog zračenja. Podjela kombiniranih solarnih sušara je sljedeća [20]:

- solarna energija s toplotnom pumpom (slika 39),
- solarna energija i biomasa,
- solarna energija i bioplin,
- solarna energija i energija vjetra.



Slika 39. Kombinirana solarna sušara s akumulatorom toplote i toplotnom pumpom [20]

5.8.2 Primjena toplotnih pumpi u sušarama

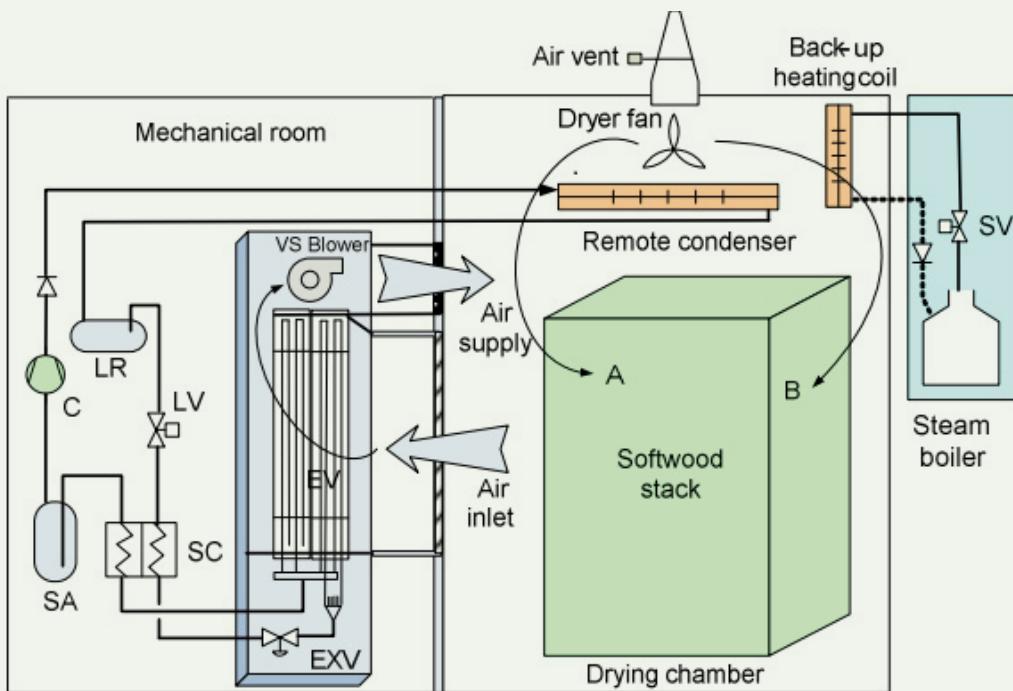
Toplotna je pumpa uređaj pomoću kojeg se toplotna energija iz jedne sredine prenosi u drugu. Kao izvor toplote može poslužiti zemlja, voda te okolni ili otpadni zrak. Najčešća primjena toplotnih pumpu kod procesa sušenja je moguća tamo gdje se za rad pumpe koristi toplota zraka. Toplotna pumpa ima visok stepen efikasnosti u poređenju s klasičnim sistemima za sušenja. Naprimjer, kotao koji radi na lož-ulje ima stepen efikasnosti do 90%, a toplotna pumpa ima stepen efikasnosti i veći od 1, koji ide čak i do 5. Za svaki uloženi kWh električne energije za pogon toplotne pumpe moguće je dobiti i do 5 kWh toplotne energije za sušenje. Stepenn efikasnosti zavisi od potrebne temperature za sušenje.

Primjer dobre prakse – primjena rasporeda sušenja i otpadne toplote sušara za rad toplotne pumpe [57]

Tvornica koja se bavi preradom prirodnog drveta poput bora, jele i smreke za proizvodnju svojih proizvoda prethodno provodi proces sušenja tog drveta na temperaturama do 115°C. U cilju energijske efikasnosti implementiran je postupak sušenja pomoću dvije toplotne pumpe uz zagrijavanje sušare parnim grijačem. Sušara ima kapacitet od 354 m³, a grijanje se provodi parom iz kotla na lož-ulje. Svaka toplotna pumpa sadrži kompresor snage 65 kW, isparivač i kondenzator, frekventno regulirani ventilator i upravljačku jedinicu smještenu u zasebnoj prostoriji. Kondenzatori su instalirani unutar komore za sušenje. Termoekspanzijskim prigušnim ventilima upravljaju kontroleri na bazi mikroprocesora, koji prikazuju zadane vrijednosti i stvarne procesne temperature. Slika 40 prikazuje upotrebu toplotne pumpe za sušenje drveta. Teoretski je upotrebom toplotne pumpe moguće postići temperaturu sušenja od 116°C (zavisno od vanjske temperature), a zbog gubitaka realna temperatura iznosi od 83,3 do 93,3°C. Za pogon toplotne pumpe koristi se toplota vanjskog zraka.

Dati su podaci za upotrebu toplotne pumpe kod sušenja smreke i balzamske jele. Svaki ciklus sušenja uključuje predgrijavanje na maksimalnoj temperaturi od 87,7°C, i to od 6 do 8 sati, a kako bi se uništili mikroorganizmi odgovorni za promjenu boje. Predgrijavanje se izvodi na temperaturama suhog termostata od 93,3°C. Kada su toplotne pumpe puštene u rad, sadržaj vlage prvo se linearno smanjivao s vremenom, a zatim nelinearnim smanjenjem dok drvene

ploče ne dođu u ravnotežno stanje, kada se ciklus sušenja gasi. Uvjeti koji se koriste za sušenje zavise od sadržaja vlage u drvetu, vrste drveta kao i dimenzija i kvaliteta samog drveta, a što se utvrđuje odgovarajućim programom sušenja. Sam proces sušenja toplotnom pumpom odvija se po određenim koracima, čije trajanje zavisi od vrste drveta. Primjenom odgovarajućeg rasporeda sušenja toplotnom pumpom kod sušenja bijele smreke i jele postignute su značajne uštede u potrošnji energije, i to od 27% do 57%, u poređenju s tradicionalnim ciklusima sušenja na lož-ulje. Specifične stope ekstrakcije vlage koristeći toplotne pumpe kreću se od 1,5 kgvode/kWh do 2,35 kgvode/kWh, s koeficijentom učinka od 3,0 do 4,6. Za 1 kWh utrošene električne energije za pogon toplotne pumpe dobiva se od 3,0 do 4,6 kWh toplotne energije za sušenje drveta. Primjena toplotnih pumpi za sušenje drveta također je rezultirala smanjenjem ukupnog ugljičnog otiska tvornice zbog visoke efikasnosti toplotnih pumpi, kao i korištenja obnovljivih izvora energije. Također je kao radni medij unutar toplotne pumpe potrebno koristiti medij s malim utjecajem na okoliš.



Slika 40. Shematski prikaz upotrebe toplotne pumpe za sušenje drveta

5.8.3 Proizvodnja električne energije iz fotonaponske elektrane

S ciljem smanjenja troškova za električnu energiju poduzeća u drвноj industriji sve češće se odlučuju na izgradnju fotonaponskih elektrana za vlastite potrebe. Prednosti korištenja solarne energije su:

- obnovljivi izvor energije,
- mali troškovi održavanja,
- kompatibilna tehnologija s drugim tehnologijama,

- mogućnost instalacije na različite površine,
- smanjenje potrošnje fosilnih goriva i sl.

Glavni nedostatak ove tehnologije je zavisnost od vremenskih uvjeta te činjenica da u toku noći ne proizvode električnu energiju.

Instalacijom elektrane na krov objekta moguće je godišnje smanjiti troškove za električnu energiju čak i do 70% (u slučaju da poduzeće nastavi preuzimati dio energije iz glavne distributivne mreže) ili do 100% ukoliko poduzeće instalira vlastitu mikromrežu (bez priključka na glavnu distributivnu mrežu). Faktori koji utječu na efikasnost SE su vremenski uvjeti (broj sunčanih dana godišnje), ali također i lokacija objekta, okruženje objekta (u smislu da nema zasjenjenja FN-panela tokom dana), te ugao pod kojim su FN-paneli postavljeni.

Električna energija proizvedena iz FN-elektrane distribuira se na različite načine u postrojenju, u zavisnosti od specifičnih potreba korisnika. Može se koristiti za opću potrošnju električne energije u objektu, obuhvatajući osvjetljenje, rad mašina i klimatizaciju. No, također uz pomoć odgovarajuće elektroinstalacije električna energija može se usmjeriti ka specifičnim podsistemima ili uređajima, kao što su sušare, lakirnice ili druge mašine ključne za proizvodnju, što se postiže putem električnih panela i prekidača.

Životni vijek SE procjenjuje se na 25 godina, za koji proizvođači daju garantiranu vrijednost stepena efikasnosti panela. Period povrata investicije varira u zavisnosti od jedinične cijene električne energije koju poduzeće plaća i vrijednosti specifične investicije za FN-elektanu. Danas je na tržištu moguće pronaći investicije svedene na jediničnu snagu FN-elektrane u vrijednosti od 1.200 BAM/kW do 2.000 BAM/kW (prethodno navedene vrijednosti ne isključuju postojanje i cijena investicije koje nisu u prethodno navedenom intervalu). Pored razlike u vrijednosti investicije postoji razlika i u jediničnoj cijeni električne energije. Tako će zbog različite cijene energije dva poduzeća za istu investiciju postići različite periode povrata investicije.

U Bosni i Hercegovini još uvijek nije stupio na snagu jedinstven zakon po kojem će vlasnici SE moći istovremeno koristiti proizvedenu električnu energiju za vlastite potrebe te prodavati višak proizvedene električne energije. Zbog toga je praksa da se instaliraju postrojenja koja mogu proizvesti do 70% potreba za električnom energijom korisnika, dok se preostala energija preuzima iz mreže, kako bi se spriječio nastanak viškova, koji predstavljaju i gubitke. Druga mogućnost je instalacija SE koja će u potpunosti proizvoditi samo električnu energiju za prodaju, uz maksimalno iskorištenje slobodnih kapaciteta krovnih i zemljišnih površina.

Međutim, u zemljama u kojima je uveden zakonski pojam „prosumera“ velika poduzeća bez problema mogu instalirati SE s velikim kapacitetima, a koje im pored finansijskih ušteda donose i profit. Finansijske uštede ogledaju se u činjenici da se električna energija ne preuzima iz mreže, a profit se ogleda u prodaji viška električne energije po cijeni koja zavisi od tržišta i tijela koja reguliraju cijene u određenoj državi.

Primjer dobre prakse: Instalacija fotonaponske (FN) elektrane na krov glavnog proizvodnog postrojenja [58]

Tvornica za proizvodnju namještaja ima potrošnju od oko 2.451 MWh/god. električne energije godišnje. U svrhu smanjenja karbonskog otiska instalirala je solarnu elektranu snage 726 kW (2.640 panela) na krov najveće hale. Elektrana ima prosječnu proizvodnju električne energije od 980 MWh/god., odnosno proizvodi cca 40% trenutnih potreba postrojenja. Objekt se nalazi na lokaciji na kojoj je tokom cijele godine prilično sunčano, zbog čega je proizvodnja i tokom zimskog perioda značajna (ide čak i do 65 kWh/mj.), dok je vršna proizvodnja u ljetnim mjesecima (97 kWh/mj.). Investicija je iznosila cca. 2 miliona BAM, a period povrata procijenjen je na cca. 11 godina. Procijenjena ušteda troškova u periodu od 30 godina od dana puštanja elektrane u rad iznosi približno 5,6 miliona BAM, a karbonski otisak smanjen je za 18.252 tCO₂ tokom životnog vijeka elektrane, a što je jednako emisijama koje nastanu prilikom cca. 62.982.482,00 km prijeđenih automobilom.



Slika 41. Solarna fotonaponska elektrana na krovu hale

Karakteristika	Prije uvođenja mjera EE	Poslije uvođenja mjera EE
Potrošnja električne energije (MWh/god.)	2.451	2.451
Količina električne energije preuzete iz mreže (MWh/god.)	2.451	1.471
Trošak za električnu energiju (BAM/god.)	994.692	606.969

Primjer dobre prakse: Instalacija fotonaponske (FN) elektrane na krov glavnog proizvodnog postrojenja [59]

Tvornica koja se bavi proizvodnjom tapaciranog namještaja u proizvodnom pogonu ima preko trideset različitih mašina i alata koje konstantno koriste električnu energiju za rad – svakog dana od 8 do 17 sati. S tim u vezi mjesečna potrošnja električne energije kreće se između 8.000 i 10.000 kWh. Godišnja potrošnja električne energije za 2022. godinu iznosila je 101,10 MWh, što u konačnici predstavlja značajan udio troškova u ukupnim troškovima poduzeća. Kako bi smanjilo troškove električne energije, a ujedno doprinijelo i očuvanju prirode, poduzeće je prepoznalo kao rješenje instalaciju solarne fotonaponske elektrane za vlastite potrebe, kojom je u prvih četiri mjeseca rada pokrilo 51% svojih potreba. Očekivani godišnji rezultat je 40-50%

zavisno od vremenskih uvjeta. Instalacijom FN-elektreane ostvarene su sljedeće koristi:

- Poduzeće je smanjilo ugljični otisak – manja emisija CO₂ za 32.273 kg/god.
- Isporučena/potrošena energija iz solarne elektrane (umjesto redovne električne energije) iznosi 68.698 kWh/god., što ima pozitivan finansijski efekt izražen kroz 30% niže iznose za plaćanje el. energije na godišnjem nivou.
- Pozitivan efekt ima i činjenica da nabavljena elektrana ima dugi garantni rok za ugrađene solarne panele (jamstvo za izlaznu snagu 90% – 10 godina, jamstvo za izlaznu snagu 80% – 25 godina, jamstvo za proizvode – 12 godina) i minimalne aktivnosti održavanja, tako da je proizvodnja energije u smislu operativnih troškova gotovo besplatna.
- Instalacija elektrane i proizvodnja za vlastite potrebe povećala je energijsku sigurnost poduzeća i smanjila ovisnost o fosilnim gorivima.
- Instalacijom elektrane uvećana je ukupna materijalna vrijednost poduzeća.



Slika 42. Solarna fotonaponska elektrana

5.9 TEHNIKE ZA KONTROLU POTROŠNJE U VRŠNOM OPTEREĆENJU I REAKTIVNE ENERGIJE

Elektroenergijski sistem je 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 elektroenergijski sistem treba osigurati napajanje potrošača bez obzira na to koliko ih je uključeno. Da bi se ekonomičnije eksploatirao elektroenergijski sistem, industrijskim potrošačima pored preuzete aktivne energije naplaćuje se i vršna (obračunska) snaga, te prekomjerno preuzeta reaktivna električna energija. Preuzeta aktivna električna energija i prekomjerno preuzeta reaktivna električna energija utvrđuju se isključivo mjerenjem, dok se obračunska snaga za potrošače manje snage (do 43,5 kW) obično ne utvrđuje mjerenjem, za razliku od potrošača veće snage.

Vršno opterećenje/obračunska snaga predstavlja najveću srednju vrijednost aktivne snage izmjerene u bilo kom vremenskom intervalu od 15 minuta u toku mjesečnog obračunskog perioda u vrijeme primjene većeg dnevnog tarifnog stava.

Prekomjerno preuzeta reaktivna električna energija je pozitivna razlika između stvarno preuzete reaktivne električne energije (kVARh) i reaktivne električne energije koja odgovara faktoru snage $\cos\varphi = 0,95$ induktivno, odnosno pozitivna razlika između ukupno preuzete reaktivne energije i 33% preuzete aktivne električne energije u istom periodu. Prekomjerno preuzeta reaktivna električna energija obračunava se i naplaćuje u periodu primjene većih dnevnih tarifnih stavova.

Kada je riječ o reaktivnoj energiji, nju je moguće isključiti 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 el. motoru ili na grupi potrošača. Česta je praksa da se izvodi centralna grupna kompenzacija za čitavo poduzeće na jednom mjestu.

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.

Kompenzacijom reaktivne energije moguće su uštede u troškovima za električnu energiju od oko 6%, s najčešćim periodom povrata investicije od 1,5 do 2,5 godine. Međutim, prethodno navedene procentualne uštede i period povrata investicije variraju u zavisnosti od mnogo faktora te se ne isključuju i vrijednosti izvan navedenih intervala.

Primjer dobre prakse: Kompenzacija reaktivne energije [60]

Tvornica proizvodi širok spektar proizvoda uključujući rezanu građu, proizvode od grubog drveta, kao što su tesani stupovi, građa, lajsne i vijenci, ormari, šperploča, kontejneri i drvene kuće. Prosječno se obrade 83 hiljade m³ drveta dnevno.

Analizom računa za električnu energiju utvrđeno je da je faktor snage veoma nizak. Najniži faktor snage iznosio je 0,30, dok je prosječni faktor snage iznosio 0,59 za analizirani period od 2000. do 2001. godine. Ukupna potrošnja električne energije iznosila je 1.054.400 kWh.

Višak naknade za reaktivnu energiju preuzetu iz javne elektrodistributivne mreže rezultat je nižeg faktora snage i iznosio je 3.292 BAM/god. Ukupno prekomjerno preuzeta reaktivna energija za analizirani period iznosi 7.305 kVar. Ukupni trošak električne energije iznosi 142.167 BAM, od čega je 3.976 BAM za reaktivnu energiju.

Glavni dio potrošnje električne energije dolazi od elektromotora. Induktivna komponenta, koja se nalazi u elektromotorima, uzrokuje da se napon i struja pomaknu iz faze. Reaktivna energija, koju uzrokuju indukcijski motori, pravi dodatne gubitke, utječe na zagrijavanje opreme, na naponske prilike, te na stabilnost sistema. Da bi postrojenje A minimiziralo reaktivnu energiju te da bi povećali faktor snage na vrijednost koja je najbliža jedinici, odlučili su se za upotrebu uređaja za kompenzaciju reaktivne energije, tzv. kondenzatorsku bateriju, koja se postavi blizu potrošača i uzrokuje smanjenje induktivne komponente električne energije. Za trenutne mašine koje posjeduju, a da bi podigli faktor snage na zadovoljavajući nivo, bilo im je potrebno dodatnih 320,19 kVar. Prosječna cijena kondenzatorske baterije potrebne za korekciju faktora snage je 27 BAM/kVar. Vrijednost investicije za kondenzatorsku bateriju iznosila je 8.616 BAM, a period povrata investicije je 2,1 godine. Faktor snage ovom investicijom poboljšan je na 0,885. Ova analiza naglašava značaj instalacije uređaja za kompenzaciju reaktivne energije u smislu smanjenja troškova za električnu energiju, što može dovesti do dugoročnih ušteda.

Karakteristika	Prije uvođenja mjera EE	Poslije uvođenja mjera EE
Potrošnja električne energije (kWh/god.)	61.800	61.800
Trošak za preuzetu reaktivnu energiju (BAM/god.)	3.976	0
Faktor snage	0,59	0,885
Investicija (BAM)	8.616	0
Period povrata (god.)	0	2,1
Ušteda u novcu (BAM/god.)	0	3.292

6. ODRŽIVO UPRAVLJANJE VODNIM RESURSIMA



6.1 UPOTREBA VODE I OTPADNE VODE

Voda u drvnjoj industriji igra ključnu ulogu u proizvodnim procesima i može značajno utjecati na okoliš. Koristi se u procesima za hlađenje alata, proizvodnju toplotne energije za grijanje ili pare za sušenje, bojenje i slično. Statistički podaci o potrošnji vode isključivo u drvnom sektoru nisu dostupni, ali 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 drvna industrija, u 2021. godini je za 7,7% veća u poređenju sa 2020. godinom [61].

Kvalitet otpadnih voda zavisi od sirovina koji se koriste u pojedinim procesima. U proizvodnji namještaja, naprimjer, nastaju raznolike otpadne vode, uključujući:

- vodu od odmuljivanja i odsoljavanja kotlova,
- kondenzat zračnog kompresora,
- otpadnu vodu od ispiranja prese za furnir,
- otpadnu vodu iz kabina za premazivanje,
- opasne otpadne vode od otapala, ulja i separatora mulja,
- vodu za pranje transportnih vozila.

Količina vode od odmuljivanja i odsoljavanja obično je u rasponu od 1% do 20% količine napojne vode koja se uvodi u kotao. Otpadna voda nakon odmuljavanja i odsoljavanja sadrži rastvorene supstance poput silicijevog dioksida, natrija, litija, molibdata, klorida i slane vode bogate organskim tvarima. Ove otpadne vode ne mogu se bez prečišćavanja ispuštati u gradsku kanalizaciju, oborinsku kanalizaciju, potoke, septičke jame ili u zemlju.

Tokom održavanja ili čišćenja preše za furnir voda ili druge otopine za čišćenje mogu se koristiti za pranje opreme. Nastala otpadna voda može sadržavati: čvrste čestice ili prašinu nastalu tokom procesa prešanja furnira, uključujući i komadiće drveta, zatim ostatke ljepila ili vezivnih sredstava korištenih u procesu prešanja furnira, što može uključivati različite vrste ljepila ili vezivnih sredstava, otopine za čišćenje ili deterdžente koji se koriste za čišćenje opreme za prešu furnira, tvari koje se koriste za podešavanje kiselosti ili lužnatosti ljepila, tragove emulgatora koji su dio ljepila itd.

Otpadna voda iz kabina za premazivanje može sadržavati različite tvari ovisno o specifičnim premazima, završnim obradama i postupcima čišćenja koji se koriste. Neke uobičajene tvari koje se nalaze u otpadnoj vodi iz kabina za premazivanje u industriji namještaja mogu uključivati:

- Boje i premaze: zaostale boje, lakovi ili drugi materijali za premazivanje nanoseni na površine namještaja.
- Otapala: otapala za čišćenje i razrjeđivači koji se koriste za čišćenje opreme i pištolja za boju.
- Sredstva za čišćenje: razna sredstva za čišćenje i deterdženti koji se koriste za čišćenje opreme i površina unutar kabine za nanošenje premaza.
- Čestice drveta: čvrste čestice ili prašina nastale tokom procesa premazivanja, uključujući čestice drva od brušenja ili rezanja.
- Supstance iz premaza poput inhibitora korozije, sredstva za podešavanje pH vrijednosti, biocidi za sprječavanje rasta mikroorganizama, teški metali poput olova, kroma ili kadmija, emulgatori koji se koriste za disperziju jedne tekućine u drugu.

Pravilno upravljanje i tretman otpadnih voda ključni su kako bi se osigurala usklađenost s propisima o zaštiti okoliša i smanjio utjecaj industrijskih procesa u industriji primarne obrade drveta i namještaja na okoliš.

6.2 PRISTUP EFIKASNIJEM UPRAVLJANJU VODAMA

Zbog važnosti održivog upravljanja ovim resursom potrebno je uvesti sistematski pristup te analizirati i implementirati mjere smanjenja potrošnje vode i njene ponovne upotrebe. U drvnjoj 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 drvnjoj industriji podrazumijeva analizu potrošnje i razvijanje **plana upravljanja vodom i ocjenjivanje nivoa potrošnje vode** [63].

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 43). Izrada Sankeyjevog dijagrama korisna je za analizu potrošnje i gubitaka svih materijalnih tokova, uključujući i osnovnu sirovinu drvo 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.

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,
- 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 drveta od npr. voda od odmuljivanja i odsoljavanja kotlova,
- otklanjanja oštećenja koja izazivaju curenja itd.

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

Primjer dobre prakse: Ponovna upotreba pigmentirane vode [64]

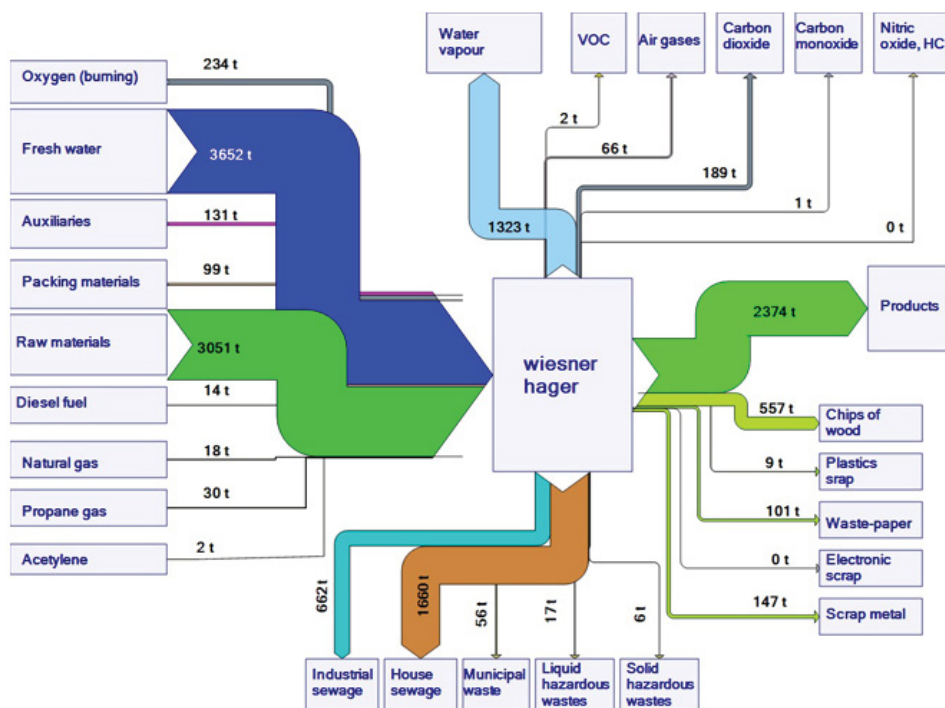
ProChem je razvio sistem za ponovnu upotrebu vode u drvnoj industriji čiji je prvobitni cilj bio uspostaviti sistem za pročišćavanje pigmentirane otpadne vode prije ispuštanja u lokalno postrojenje za tretman otpadnih voda. Otpadna voda nastajala je u sistemu za pročišćavanje emisija u zrak mokrim postupkom elektrostatičkog filtriranja.

Kod primjene standardnog postupka pročišćavanja koji se bazirao na korištenju koagulanata za pretvaranje rastvorenih zagađivača u čvrste čestice i polimera koji pomaže stvaranje flokula kako bi čestice dobile veću masu i istaložile se, efekti nisu bili očekivani jer su flokule drveta ostale da plutaju. Svakodnevni izazov za operatere postrojenja bio je pronaći optimalnu kombinaciju koagulanta i flokulanta kakobi se omogućilo dobro odvajanje u što je moguće kompaktnijem sloju.

Umjesto klasičnog taloženja čestice su se morale skidati s vrha i transportirati u prešu za mulj, što je opredijelio poduzeće da unaprijedi sistem pročišćavanja.

Stručni tim opredijelio se za koncept rasterećenja otpadnih voda primjenom dodatnog postupka. Ovaj pristup naziva se "bubrežna petlja", odnosno kontinuirano tretiranje dijela potoka kako bi se umanjio ukupni teret zagađenja u otpadnim vodama. Novom tehnologijom tretira se i ponovo upotrebljava 10% otpadne vode unutar postrojenja. Sistem koji je dizajniran temelji se na specijaliziranom programu tretmana vode membranskom tehnologijom i uključuje predtretman, filtraciju, membransku filtraciju reverznom osmozom i korištenje UV-svjetla za dezinfekciju.

Ova inovativna tehnologija omogućava postrojenju da tretira i ponovno koristi vodu unutar postrojenja za skidanje naslaga, pranje površina, vodnu zavjesu, ispiranje, smanjujući ukupnu potrošnju i minimizirajući utjecaj na okoliš.



Slika 43: Sankeyjev dijagram za proizvodnju namještaja [64]

7. ODRŽIVO UPRAVLJANJE HEMIKALIJAMA

7.1 POTROŠNJA HEMIKALIJA U DRVNOJ INDUSTRIJI

Hemikalije igraju ključnu ulogu u drvnj industriji jer se koriste za poboljšanje fizičkih, mehaničkih i estetskih svojstava proizvoda od drveta. U zavisnosti od namjene drvo se može zaštititi različitim metodama koje obuhvataju pravilnu selekciju u skladu s prirodnim karakteristikama drveta. Primjena hemikalija u proizvodnji posljednjih je godina u porastu zbog sve veće potražnje za proizvodima od drveta s poboljšanim svojstvima, kao i zbog potrebe za smanjenjem troškova i poboljšanjem učinkovitosti proizvodnje. Potrošnja hemikalija u drvnom sektoru može značajno varirati u zavisnosti od vrste drvne industrije i procesa koji se koriste. Najčešće korištene hemikalije u ovom sektoru su [66], [67]:

- **Rastvarači i razrjeđivači:** Ovi hemijski agensi koriste se za različite svrhe: rastvaranje, razrjeđivanje, čišćenje ili za nanos premaza. Postoje različite vrste rastvarača: mineralni rastvarači (npr. mineralni terpentini), rastvarači na bazi ugljikovodika (npr. mješavine metilenhlorida i metiletilketona), rastvarači na bazi estera (sintetički i prirodni), alkoholi, ketoni i sl.
- **Adhezivna sredstva ili ljepila:** Koriste se za povezivanje ili laminiranje drvnih komponenti kao što su šperploča, MDF i iverice. Primjeri ljepila koja se koriste u proizvodnji drva uključuju ureaformaldehid, fenolformaldehid i melaminformaldehid.
- **Premazi:** Premazi poput boja, lakova, smola i ulja najčešće se koriste za dekorativnu završnu obradu i za zaštitu drveta od vlage, UV-zračenja i drugih faktora. Ovi proizvodi često sadrže hemikalije uključujući poliuretane, akrilne boje i lakove, epoksidne premaze, boje i premaze na bazi vode.
- **Fungicidi:** Drvo se često impregnira hemijskim sredstvima kako bi se poboljšala otpornost na truljenje, insekte i gljivice. Primjeri fungicida uključuju spojeve na bazi bakra, kvaterne amonijeve spojeve i triazole.
- **Insekticidi:** Dodaju se za zaštitu drveta od napada insekata. Primjeri insekticida uključuju permetrin, cipermetrin i deltametrin.
- **Sredstva za odbijanje vode:** Dodaju se proizvodima od drveta kako bi se poboljšala njihova otpornost na vlagu i vremenske uvjete. Primjeri voodtopornih sredstava uključuju emulzije voska, silikonske emulzije i proizvode na bazi silana/siloksana.
- **Usporivači gorenja:** Dodaju se proizvodima od drveta kako bi usporili ili spriječili gorenje. Primjeri usporivača gorenja uključuju amonijev polifosfat, borate i spojeve na bazi fosfora.

- **Punila:** Punila kao što su kalcijev karbonat, talk ili glina dodaju se kako bi se poboljšala mehanička svojstva i dimenzijska stabilnost proizvoda od drveta. Također mogu smanjiti skupljanje i poboljšati obradivost materijala.
- **Nanočestice:** Nanočestice poput silicijevog dioksida, titanijevog dioksida ili aluminijskog oksida dodaju se u smjesu kako bi se povećala čvrstoća, krutost i trajnost proizvoda od drveta. Također mogu poboljšati otpornost na gorenje, vremenske uvjete i UV-zračenje.

Važno je napomenuti da mnoge hemikalije koje se koriste u drvnj industriji mogu imati potencijalno negativne efekte na okoliš i zdravlje ljudi. Stoga je bitno razumjeti različite vrste hemijskih sredstava koja se koriste u drvnj industriji, njihove prednosti i nedostatke te njihov utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje. Provedbom odgovarajućih smjernica i propisa o korištenju hemijskih supstanci drvena industrija može osigurati proizvodnju sigurnih i održivih proizvoda, dok istovremeno zadovoljava rastuću potražnju za visokoučinkovitim drvnim materijalima.

Industrija stalno teži pronalaženju okolišno prihvatljivijih alternativa i tehnologija. Regulative i standardi također igraju ključnu ulogu u kontroli i ograničavanju upotrebe određenih hemikalija u drvnj industriji kako bi se smanjili potencijalni rizici.

7.2 UPOTREBA ALTERNATIVNIH ZELENIH HEMIKALIJA

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

Zamjena opasnih tvari i smjesa s 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 je alternativa 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.

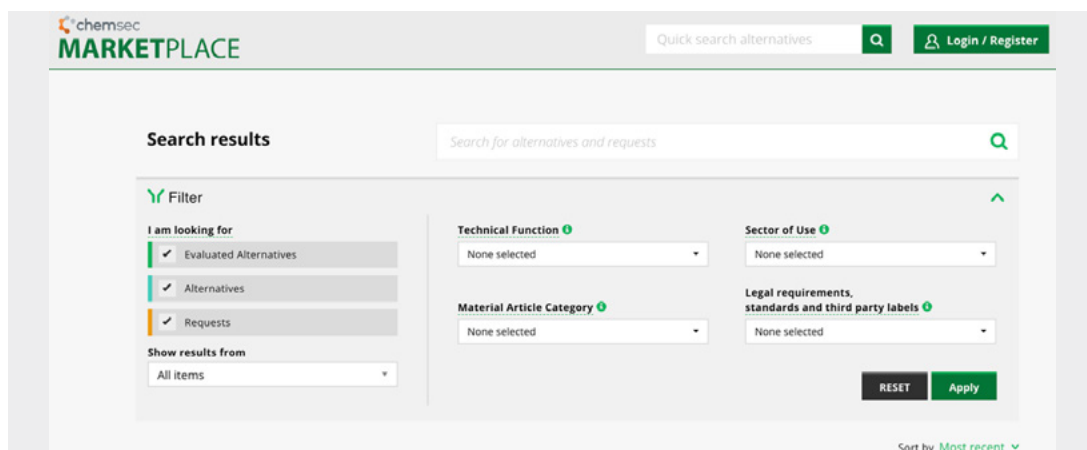
Razvijeno je niz alata i metoda za procjenu opasnosti, izvedbe i ekonomske isplativosti kao dio procjene alternativa.

ChemSec, Međunarodni hemijski sekretarijat (engl. *International Chemical Secretariat*), neprofitna je organizacija posvećena radu na smanjenju toksičnosti u okolišu. Ova organizacija pomaže poduzećima 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 poduzećima da smanje upotrebu opasnih hemikalija u svojim privrednim djelatnostima. To su sljedeći alati [68]:

- **SIN-lista** (engl. *Substitute It Now – Zamijenite odmah*) je lista opasnih hemikalija za koje se preporučuje poduzećima 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 (Slika 44).

Slika 44. Prikaz web-ekrana i informacija sa SIN-liste

- Alat Marketplace daje informaciju i omogućava poduzećima povezivanje sa snabdjevačima sigurnijih alternativa (Slika 45).



Slika 45. Prikaz web-ekrana alata Marketplace

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

Primjeri zelenih alternativnih hemikalija u drvnj industriji [67]

Ljepila na bazi soje: Ova ljepila napravljena su od proteina soje i nude alternativu ljepilima na bazi nafte. Ona su obnovljiva i biorazgradiva, što ih čini održivijom opcijom.

Pjene na bio bazi: Umjesto korištenja pjene na bazi nafte, pjene na bio bazi napravljene od obnovljivih izvora kao što su kukuruz ili soja su zelenija alternativa. Imaju slična svojstva kao tradicionalna pjena i mogu se reciklirati.

Reciklirana punila: Neki proizvodi od drveta mogu se napraviti od recikliranih punila, kao što su reciklirana plastika ili staklena vlakna. Time se smanjuje otpad i potreba za drvnim materijalima.

Ulja na biljnoj bazi: Ulja na biljnoj bazi kao što su laneno ili tungovo ulje mogu se koristiti kao prirodna završna obrada za proizvode od drveta. Oni su netoksični i biorazgradivi, što ih čini sigurnijom opcijom i za radnike i za okoliš.

Boje na bazi vode: Ove vrste boja manje su štetne po okoliš u poređenju s bojama koje se baziraju na rastvaračima ili drugim hemikalijama koje mogu izazvati visok nivo isparenja štetnih materija. Manje emitiraju isparenja štetnih organskih spojeva (VOC) tokom sušenja.

Važnosti korištenja alternativnih, zelenih, okolišno prihvatljivih hemikalija u drvnj industriji su sljedeće [67]:

- **Smanjenje utjecaja proizvodnog procesa na okoliš:** Tradicionalna hemijska sredstva mogu sadržavati štetne supstance koje mogu predstavljati rizik i za okoliš i za ljudsko zdravlje. S druge strane alternativne, okolišno prihvatljive hemikalije obično se proizvode od prirodnih i obnovljivih izvora i biorazgradive su, proizvode se korištenjem energijski učinkovitih procesa, smanjujući njihov ukupni ugljični otisak.
- **Usklađenost s preferencijama potrošača za održive i okolišno odgovorne proizvode:** Poduzeća koja daju prioritet održivosti i okolišnoj prihvatljivosti u svojim proizvodnim procesima vjerovatnije će privući okolišno osviještene potrošače, što rezultira

povećanom reputacijom brenda i lojalnošću kupaca.

- **Poboljšanje svojstava proizvoda:** Iako neka hemijska sredstva mogu biti skupa, mogu pružiti značajne prednosti koje opravdavaju njihovu cijenu, kao što su poboljšana trajnost, bolji izgled ili povećana efikasnost. Osim toga, bitno je uzeti u obzir dugoročnu isplativost korištenja određenog hemijskog sredstva, jer ono može u budućnosti omogućiti uštede smanjujući potrebu za održavanjem ili zamjenom.
- **Dugoročna isplativost:** Određene okolišno prihvatljive opcije u početku mogu biti skuplje, ali mogu dugoročno osigurati uštede smanjenjem otpada i poboljšanjem održivosti. Konačno, odabir pravih aditiva uključuje balansiranje između troškova i koristi koje oni pružaju te utjecaja koji imaju na okoliš.
- **Usklađenost s propisima:** Prilikom odabira hemikalija za proizvodnju drveta bitno je uzeti u obzir zahtjeve usklađenosti s propisima koji reguliraju upotrebu određenih hemikalija ili supstanci. Nepoštivanje propisa može rezultirati kaznama, pravnim postupcima i narušavanjem reputacije poduzeća. Stoga bi proizvođači trebali osigurati da hemikalije koje koriste ispunjavaju regulatorne zahtjeve i da imaju potrebne certifikate i odobrenja. Ovo uključuje usklađenost s okolišnim, zdravstvenim i sigurnosnim propisima, kao što su Direktiva REACH (1907/2006/EU) i Uredba o razvrstavanju, pakiranju i označivanju hemikalija (1272/2008/EU). Odabirom hemikalija koje su u skladu sa zakonskim zahtjevima proizvođači mogu osigurati da su njihovi proizvodi sigurni za ljudsko zdravlje i okoliš. To također pomaže u ublažavanju svih rizika povezanih s neusklađenošću propisa, što može biti skupo i štetno po reputaciju poduzeća.

7.3 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, koji vode nadležna ministarstva [69], [70].

Integralni inventar hemikalija sadrži sljedeće podatke [71]:

- identitet pravne osobe,
- identitet supstance ili proizvoda,
- klasifikacija i obilježavanje hemikalije,
- namjena hemikalije ili proizvoda, uvjeti za njihovo korištenje i rok,
- važenje dozvole za stavljanje hemikalije ili proizvoda na tržište, propisana ograničenja i zabrane,
- oznaka 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 sljedeće 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 sigurnost radnika i zaštitu 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 [69], [70], [72]:

1. Naziv i šifru hemikalije,
2. Identifikaciju opasnosti,
3. Podatke o sastavu,
4. Mjere prve pomoći,
5. Mjere za suzbijanje požara,
6. Mjere u slučaju nenamjernog ispuštanja hemikalije,
7. Rukovanje i skladištenje,
8. Nadzor nad izloženošću i ličnu zaštitu,
9. Fizička i hemijska svojstva,
10. Stabilnost i reaktivnost,

11. Toksikološke podatke,
12. Ekološke podatke,
13. Podatke o odlaganju,
14. Podatke o prijevozu,
15. Podatke o propisima,
16. Ostale podatke.

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 iskoristiti do 3% više hemikalije i smanjiti zagađenost otpadne ambalaže. Sprječavanjem isparavanja rastvarača postižu se znatne uštede i sprječava se emisija u okoliš i radnu sredinu, te implementacijom sistema za doziranje hemikalija postiže se sprječavanje prekomjerne upotrebe hemikalija i predoziranja. [73]













Kako bi poduzeće uvelo 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 provedbu programa efikasnog korištenja hemikalija.


Tabela 6. Koraci u provedbi programa efikasnog korištenja hemikalija [73]

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.


7.4 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 46. Sigurno skladištenje hemikalija [73]

7.5 ZBRINJAVANJE OTPADNIH HEMIKALIJA

Zbrinjavanje otpadnih hemikalija važan je proces u industriji kako bi se osigurala 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, te 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. [74]



Slika 47. Skladište otpadnih hemikalija [75]

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 predstavljali 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.

7.6 MJERE ZA SMANJENJE POTROŠNJE HEMIKALIJA

Optimizacija potrošnje hemikalija ključna je praksa u industrijama kako bi se smanjili troškovi, poboljšala efikasnost i minimizirali negativni utjecaji na okoliš i zdravlje zaposlenika. Uvođenje ispod navedenih mjera za optimizaciju potrošnje može pridonijeti održivijem poslovanju [63].

Optimizacija potrošnje hemikalija ključna je praksa u industrijama kako bi se smanjili troškovi, poboljšala učinkovitost i umanjili negativni utjecaji na okoliš i zdravlje zaposlenika. Uvođenje mjera kontrole i optimizacija potrošnje kemikalija podrazumijeva: i) vaganje drveta/proizvoda od drveta prije i poslije impregnacije; ii) utvrđivanje količine otopine sa zaštitnim sredstvom tokom i nakon impregnacije. Pri potrošnji kemikalija za obradu treba poštovati preporuke dobavljača.

Optimizacija upotrebe otapala u postupku raspoređivanjem boja u serije može pomoći u smanjenju gubitka materijala i optimizaciji potrošnje hemikalija. Ovime se minimizira višak materijala koji se često javlja pri promjenama boje ili premaza. Druga moguća mjera je optimiziranje usitnjavanja mlaza prskanja. Finiji mlazevi prskanja mogu pokriti veću površinu s manje materijala. Korištenje ove tehnike može značajno smanjiti količinu otapala, postići značajne uštede u potrošnji otapala, smanjiti emisiju VOC-ova.

Grupiranje boja – Modifikacija slijeda proizvoda kako bi se postigli veliki slijedovi iste boje.

Automatizacija promjene boja i pročišćavanje boje/premaza prikupljenim otapalima.

Napredni sistemi miješanja – Kompjuterski upravljana oprema za miješanje radi postizanja željenih boja/premaza/ljepila.

Blago pročišćavanje tokom prskanja – Ponovno punjenje raspršivača za prskanje novom bojom bez ispiranja između punjenja.

Sprječavanje istjecanja i izlijevanja upotrebom pumpi i brtvi koje su prikladne za materijal kojim se rukuje i kojima se osigurava odgovarajuća nepropusnost. To uključuje opremu kao što su oklopljene motorne pumpe, pumpe s magnetnom spojnicom, pumpe s višestrukim mehaničkim brtvama i sistemom prigušenja ili amortizacije, pumpe s višestrukim mehaničkim brtvama i suhim brtvama, membranske pumpe ili pumpe s mijehom.

Sprječavanje prelijevanja tokom pumpanja uključuje osiguravanje da se operacija pumpanja nadzire, da se u slučaju većih količina na spremnike za skladištenje rasutih materijala montiraju akustični i/ili optički alarmi visoke razine, a prema potrebi i sistemi za isključivanje.

Centralizirano snabdijevanje hemikalijama – Dovod hemikalija koje sadržavaju VOC-ove (npr. boje, premazi, ljepila, sredstva za čišćenje) u prostor u kojem se primjenjuju izravnim cjevovodom s prstenastim linijama, što uključuje i čišćenje čistačima cjevovoda ili propuštanjem zraka.

Ponovna upotreba korištenih otapala – Prikupljanje, skladištenje i ponovna upotreba otapala koja su upotrijebljena za pročišćavanje raspršivača/aplikatora i linija između promjena boje.

Čišćenje abrazivnim sredstvima – Čišćenje abrazivnim sredstvima, poput pjeskarenja plastičnim granulama, koristi se za uklanjanje nakupljenog viška boje sa stalaka za ploče i držača.

Primjena sistema uranjanja – Sistemi nanošenja u kojima se drvo uranja u otopinu sa zaštitnim sredstvom za impregnaciju učinkovitiji su od prskanja. Učinkovitost nanošenja u vakuumskim postupcima (zatvoreni sistem) iznosi gotovo 100 %. Pri odabiru sistema nanošenja uzimaju se u obzir razred i potrebna razina prodiranja.

Upotreba robotskog i mašinskog nanošenja premaza omogućava vrlo brzo i precizno nanošenje premaza s visokom razinom dosljednosti, čime se postižu optimizacija potrošnje premaza, smanjenje otpada i troškova sirovina. U većini tvornica namještaja koje ne posjeduju serijsku proizvodnju i dalje se koriste tradicionalne metode bojenja – korištenje konvencionalnog pištolja (ručno). Međutim, kako bi se smanjili negativni utjecaji na okoliš i povećala efikasnost korištenja resursa (boje) i procesa bojenja, nužno je uvođenje automatizacije u proces završne obrade i bojenja.

Dobra organiziranost radnog i skladišnog prostora – Gubitku materijala (boja) i isparavanju zagađujućih materija doprinosi i neurednost radnog prostora i ostavljanje otvorenih posude s bojama, lakovima, opasnim supstancama. Zatvorene posude s bojama te organiziranost i izoliranost prostora lakirnice doprinosi kvalitetnijoj završnoj obradi i racionalnijem korištenju resursa.



Slika 48. Otvorene posude s bojama i opasnim hemikalijama [77]



Slika 49. Dobro izolirana, moderna kabina za bojenje/odgovarajuća prostorija za skladištenje hemikalija [77]

8. ODRŽIVO UPRAVLJANJE OTPADOM

Prema posljednjim statističkim podacima za 2020. godinu količina otpada iz drvoprerađivačke industrije iznosi 155.002,79 t bezopasnog i 77,83 t opasnog otpada [78]. Najčešće vrste bezopasnog otpada u drvoprerađivačkom sektoru su kora od drveta, piljevina i strugotina te neiskorišteni komadi drveta. Ako materijal koji se obrađuje sadrži škodljiva ljepila i premaze, onda se neiskorišteni ostaci smatraju opasnim otpadom. Opasni otpad čine još i ostaci boja, lakova i drugih premaza kao i njihova ambalaža.

Određeni dio otpada nastaje kao posljedica grešaka u proizvodnji, kada se proizvod ili poluproizvod moraju odbaciti (škart) ili kod npr. loše iskorištenosti sirovine u postupku krojenja.

Škart može nastati zbog lošeg postupka sušenja drveta ili u proizvodnji kada npr. finalni proizvod ne zadovoljava kriterije kvaliteta. Često se loš kvalitet finalnog proizvoda dogodi zbog loše završne obrade, npr. lakiranjem, kada se čestice drvene prašine zalijepe za obojenu površinu. Ovo se obično događa u tvornicama u kojima je pogon za bojenje neposredno uz pogon za obradu drveta, bez odvajanja i bez efikasnog sistema otprašivanja. Nekada se i slobodne površine pogona za proizvodnju koriste kao kratkoročno skladište pripremljenih materijala ili materijala koji su potrebni za određeni tehnološki proces. Takva vrsta organizacije dovodi do zaprljanja gotovih proizvoda i onemogućava slobodno kretanje radnika, što produžava vrijeme proizvodnje i smanjuje kvalitet gotovog proizvoda. Dobra organizacija prostora, urednost i čistoća međuprostora i efikasno otprašivanje sigurno će smanjiti količinu škarta.

Upotreba kompjuterski upravljanih CNC-mašina za rezanje i oblikovanje materijala doprinosi smanjenju drvnih ostataka i kvalitetu proizvoda. Prvi korak u korištenju CNC-mašine za obradu drveta je kreiranje dizajna uz pomoć softverskih programa poput programa CAD (*Computer Aided Design*), pomoću kojeg se može pažljivo izabrati položaj dijelova za obradu i rezanje i time minimizirati količina drvnog ostatka. Kada je dizajn završen, onda se učitava u CNC-mašinu. Podešavanjem brzine rezanja, pomaka i drugih parametara osigurava se kvalitet gotovog proizvoda.



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 prvobitno su 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 [79].

Analiza gubitaka fokusira se na sljedećih sedam područja [79], [81]:

- **Prekomjerna proizvodnja** – proizvodnja proizvoda za koje nema narudžbi predstavlja gubitak vremena, osnovne sirovine 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 i 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 nepotrebni materijalima i robama ne mogu se uskladištiti potrebni. Ovo onemogućava proizvodnju prema zahtjevima tržišta, uzrokuje kašnjenja u dostavi te zastoje u proizvodnji i sl.
- **Nepotreban transport** – nepotreban transport sirovina i poluproizvoda tokom proizvodnje na veće udaljenosti uzrokovano 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 treba biti takva 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., što predstavlja gubitak vremena i novca.
- **Prekomjerna ili nepotrebna obrada** poluproizvoda koja se radi, a ne povećava vrijednost 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, 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 se podaci koriste za razvoj ciljanih rješenja, odnosno izbora mjera, za optimizaciju proizvodnih procesa, smanjenje gubitaka i povećanje cjelokupne efikasnosti. Krajnji rezultat ove aktivnosti je plan za uvođenje načina LEAN-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 svodjenje 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 [82].
- **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 dublji je 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 [83]. 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 [84]. Kontinuirani napredak može se pratiti korištenjem ploče Kanban za vizualizaciju. Poduzeća također mogu koristiti metrike poput ukupnog produktivnog održavanja (*engl. Total Productive Maintenance – TPM*) i ukupne efikasnosti opreme (*engl. Overall Equipment Effectiveness – OEE*) 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 učinkovitosti opreme tokom njezinog životnog vijeka [85]. Ukupna efikasnost opreme (OEE) mjerni je 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 te na kraju povećanje produktivnosti rada. OEE se definira kao mjera ukupne izvedbe opreme. Koristi se za identifikaciju gubitaka uzrokovanih opremom [86].

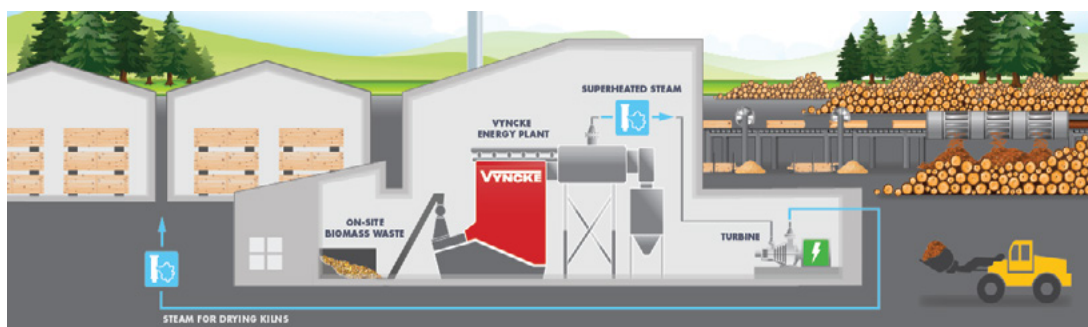
- **Automatizacija proizvodnih procesa** – Investicije u automatizaciju i tehnologije igraju ključnu ulogu u smanjenju gubitaka i povećanju efikasnosti u procesima proizvodnje. Automatiziranjem ponavljajućih i radno intenzivnih zadataka kompanije mogu povećati stope proizvodnje i smanjiti vjerovatnost ljudskih grešaka. Tehnologija, kao što su senzori i sistemi za praćenje, može pomoći u identifikaciji područja neefikasnosti i gubitaka, omogućavajući ciljana poboljšanja.
- **Korištenjem metoda upravljanja resursima**, kao što su MRP (*engl. Materials Requirements Planning*) i ERP (*engl. Enterprise Resource Planning*) može se 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 u 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 [87]. 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 [88].

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 provedu u proizvodnim operacijama.

8.2 CIRKULARNOST DRVNIH OSTATAKA

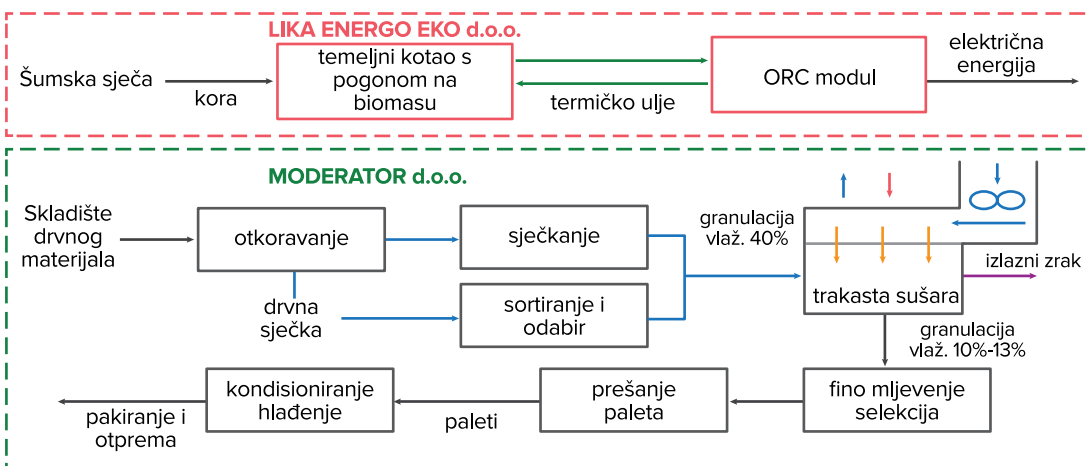
8.2.1 Instalacija kogeneracijskog postrojenja s pogonom na drveni otpad

Pod pojmom kogeneracije (*engl. Combined Heat and Power – CHP*) podrazumijevamo istovremenu proizvodnju dva transformirana oblika energije: toplotne i električne. U drvnj industriji postoji potreba za toplotnom i električnom energijom, kao npr. u procesima sušenja drveta ili sušenja u proizvodnji peleta. Pilane troše veliku količinu energije u obliku električne energije (za mljevenje) i toplote (za sušenje u sušarama). Veliki izbor proizvodnog drvnog otpada iz pilane može se iskoristiti za proizvodnju potrebne toplote (sa ili bez kogeneracije). Drvni ostaci mogu se koristiti za pokretanje kogeneracijskog postrojenja, iz kojeg se pored električne energije dobiva i para, koja se koristi za sušenje drveta. (Slika 50).



Slika 50. Primjena kogeneracije u pilanama [89]

Poduzeće Moderator d.o.o. iz Hrvatske koristi toplotnu energiju iz postrojenja za kogeneraciju za sušenje sječke u proizvodnji peleta (Slika 51). Zbog zakonskog okvira koji regulira stjecanje statusa povlaštenog proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora energije u RH osnovano je posebno društvo Lika Energo Eko d.o.o. za proizvodnju električne i toplotne energije.



Slika 51. Shema kogeneracije i proizvodnje peleta Moderator d.o.o. i Lika Energo Eko d.o.o. [90]

Obrada drveta energijski je zahtjevna, pa je znatno efikasnija zajednička proizvodnja toplotne i električne energije u kogeneracijskim postrojenjima opravdana.

Klasifikacija kogeneracijskih tehnologija provodi se najčešće prema vrsti pogonskog stroja kojim se pogoni električni generator. Najčešće se za pogon električnog generatora koriste parne turbine, plinske turbine, kombinirani proces plinske i parne turbine, te motori s unutrašnjim izgaranjem. U novije vrijeme prisutne su i nove tehnologije koje se nalaze u različitim stadijima komercijalizacije kao što su gorivni članci, mikroturbine, organski Rankineov ciklus, parni vijčani motor ili plinske turbine s indirektnim zagrijavanjem radnog medija.

Generalno su osnovne prednosti CHP-postrojenja:

- Manji troškovi za energiju (usljed povećane efikasnosti iskorištenja goriva i smanjenja utroška energije),
- Povećana sigurnost i pouzdanost snabdijevanja električnom energijom,
- Poboľjšana kvalitet okolikša (radom CHP-postrojenja i boljom iskorištenosti primarnog goriva dolazi do manjih emisija plinova staklene bašte /engl. Greenhouse gas – GHG/ i emisije NOX /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 [91].

Ukoliko se na kogeneracijskom postrojenju proizvede višak energije, proizvedena električna energija može se isporučivati prijenosnoj elektromreži po otkupnim cijenama definiranim važećim propisima.

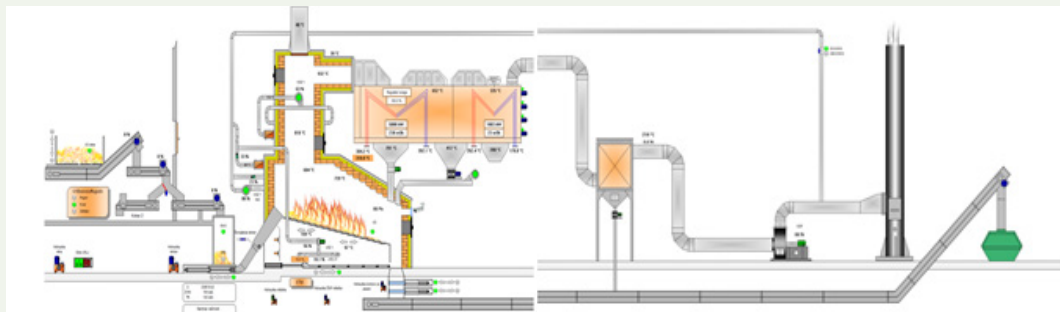
Informacije o otkupnim cijenama mogu se naći na stranicama entitetskih regulatornih agencija za energetiku.

U nastavku je dat primjer instalacije CHP postrojenja na biomasu.

Primjer dobre prakse: Izgradnja kogeneracijskog potrojenja na biomasu [92]

Tvornica koja je specijalizirana za proizvodnju namještaja od masivnog drva (hrasta i bukve) smještena je na lokaciji ukupne veličine 10,5 ha. Nakon godišnje prerade od oko 50.000 tona trupaca ostaje oko 50% drvnog ostatka. U cilju boljeg iskorištenja resursa i uštede ukupnih troškova za energiju poduzeće je odlučilo proizvoditi vlastitu toplotnu i električnu energiju pomoću biomase. Kao odgovarajuće rješenje identificirano je kogeneracijsko postrojenje sa sistemom ORC (organski Rankineov ciklus). U kotlu se ne zagrijava voda nego dijatermičko ulje, koje kasnije preko izmjenjivača toplotu predaje silikonskom ulju, a koje se u konačnici koristi za pogon turbine. Taj sistem puno je sigurniji od običnih sistema koji koriste vodenu paru zbog mnogo manjih vrijednosti pritiska i temperature.

Pored otpada iz proizvodnje za puni pogon kogeneracijskog postrojenja koriste i šumsku biljnu drvenu masu koja ostaje nakon eksploatacije trupaca. Manji dio električne energije koja se proizvede koristi se za vlastite potrebe, dok veći dio električne energije predaju u elektroenergijsku mrežu, a proizvedena toplotna energija koristi se samo za vlastite potrebe, od grijanja svih pogona (oko 25.000 m²) do sušara kapaciteta 4500 m³ i parionice 90 m³ u kojima se priprema drvo za izradu namještaja. Kapacitet proizvodnje kreće se oko 1.5 MW električne i 6 MW toplotne energije, a korisnost postrojenja kreće se oko 54%. Procijenjena vrijednost ulaganja u izgradnju kogeneracijskog postrojenja iznosila je oko 10 miliona EUR, s periodom povrata investicije između 5 i 6 godina.



Slika 52. Shema kogeneracijskog postrojenja na biomasi

Primjer dobre prakse: Korištenje CHP-postrojenja u drvnoj industriji [93]

Tvornica koja se bavi izradom proizvoda za završnu obradu eksterijera i interijera (lajsne, vrata, stepenice i kamini) na dnevnom nivou proizvede oko 100 tona drvnih ostataka. Kako bi riješila problem zbrinjavanja drvnih ostataka, poduzeće je instaliralo kogeneracijsku elektranu (CHP), koja kao energent koristi drveni otpad. Pored sagorijevanja vlastitog otpada poduzeće prikuplja drveni otpad od lokalnih proizvođača i pilana (200 tona dnevno).

Postrojenje CHP sastoji se od dva kotla, koja proizvode oko 500 t/h pare. Dio pare šalje se u parnu turbinu električne snage 5 MW, dok se ostatak koristi u sušarama. Postrojenje CHP osigurava više od 90% potreba za energijom. Elektranu je proizvela više od 14.000 MWh električne energije, od čega je 1.267 MWh prodato lokalnom poduzeću. Postrojenje CHP omogućava povrat otpadne toplote iz proizvodnje električne energije na licu mjesta.

Uz uštedu u nabavci biomase ostvarena je korist i kroz iskorištavanje povratne toplote za sušenje drveta, čime štedi 8,1 miliona BAM godišnje. Uštede na električnoj energiji iznosile su skoro 1,8 mil BAM, a ostvaren je prihod od prodaje električne energije u vrijednosti od 86.000 BAM. Ovo donosi bruto uštedu od 9,9 miliona BAM, a s operativnim troškovima od 4,7 miliona BAM sistem je na kraju osigurao neto uštedu od 5,2 miliona BAM.

8.2.2 Proizvodnja peleta i briketa

Otpad koji nastaje tokom primarne prerade drveta (piljevina, okorci, drvni komadi) te finalne prerade drveta (piljevina, strugotina, drvni komadi) može se iskoristiti za proizvodnju biogoriva: peleta i briketa.

Pelet je proizvod od sušenog, prešanog i usitnjenog drvnog ostatka valjkastog oblika, proizveden u postrojenjima za proizvodnju peleta u sklopu pilana ili tvornica za finalnu obradu drveta (npr. za proizvodnju parketa ili namještaja). Vezivanje drvnih čestica omogućava prirodni lignin iz drveta, a nerijetko se dodaju i prirodna vezivna sredstva (kukuruzni škrob). Udio vezivnih sredstava u peletu smije iznositi najviše do 2% [94].

Tabela 7. Osnovne karakteristike peleta i poređenje s drugim energentima [95]

Veličina	Prečnik 6–12 mm, dužina 10–30 mm
Toplotna moć	17–20 MJ/t
Sadržaj vlage	7%–12%
Sadržaj pepela	0,2%–0,5%
Sirovina	Piljevina, okorci, drvni komadi Od 6–8 m ³ sirovine dobiva se 1 m ³ peleta
Gustoća	600–750 kg/m
Skladišni prostor	Oko 1,5 m ³ /t
Poređenje s lož-uljem	1.000 l lož-ulja = 2,1 t peleta 1 t lož-ulja = 2,5 t peleta
Poređenje s drvnom sječkom	1 m ³ drvne sječke = 0,28 m ³ peleta 1 m ³ drvne sječke = 0,18 t peleta

Gustoća i nizak sadržaj vlage omogućavaju visoku efikasnost sagorijevanja, dok oblik i veličina peleta utječu povoljno na transport i jednostavnost pri punjenju ložišta kotlova. Primjena peleta kao energenta je široka: kotlovi za centralno grijanje, kotlovi za grijanje i pripremu potrošne tople vode za stambene, javne i poslovne zgrade, ugostiteljski objekti, kao i kotlovi za industrijske energane i termoenergijska postrojenja. Dužina peleta iznosi 10–30 mm, a prečnik 6–8 mm za sisteme grijanja kućanstava i manjih objekata te 10–12 mm za sisteme grijanja većih objekata i energijskih postrojenja [95].

Proizvodnja peleta obuhvata pet ključnih procesa [96]:

- Sušenje je prvi korak u proizvodnji. Udio vlage prije ulaska u presu za peletiranje mora iznositi 8%–12%. Održavanje takvog udjela vlage vrlo je važno jer stabilnost presanja ovisi o trenju između uskog grla prese i ulazne sirovine. Ako je sirovina presuha, površina drvene čestice pougljeni i vezivno sredstvo može izgorjeti prije završetka peletiranja. Ako je prevlažna, vlaga zadržana kod prešanja ne može izaći, što dovodi do povećanja volumena peleta.
- Pri mljevenju mora se smanjiti i ujednačiti veličina čestica. To ovisi o željenom prečniku peleta. Za tu se svrhu koristi mlin čekićar.
- Kondicioniranje se izvodi laganim dodavanjem pare, pri čemu se drvene čestice

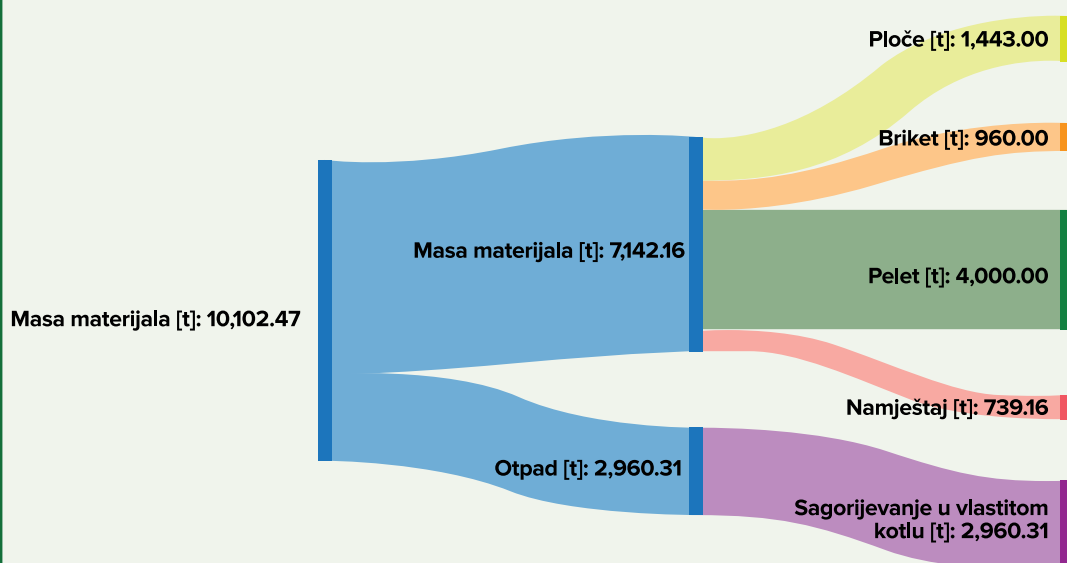
pokrivaju tankim slojem tekućine radi postizanja što bolje adhezije.

- Peletiranje je ključni korak u proizvodnji peleta. Tu se koriste prese na osnovi rotirajuće ili vodoravne matrice s kapacitetima od 100 kg/ha do 10 t/ha.
- Hlađenje je završni korak u proizvodnji. Temperatura peleta povisuje se tokom zgušćivanja pa se procesom hlađenja osigurava njegova čvrstoća.

S druge strane drveni briketi su čvrsta biogoriva koja su svojim dimenzijama veća od peleta (prečnika 50–80 mm). Zbog velike dimenzije briketi obično nisu pogodni za automatsko doziranje u malim jedinicama, a također se u većim jedinicama briketi drobe prije sagorijevanja. Proizvodnja drvnih briketa još uvijek se zasniva na kaskadnom lancu snabdijevanja, koristeći uglavnom sporedne proizvode iz drvne industrije: piljevinu, koja se mora osušiti prije daljnje obrade, te drvenu strugotinu, koja se može direktno prešati. Nakon hlađenja briketi se pakuju u pakete koji se nude i prodaju prvim kupcima, zatim distributerima sve do krajnjih kupaca. Briketiranje je proces prešanja drvnog materijala pomoću briketne mašine u klip, na mehanički ili hidraulički pogon, pri čemu se materijal sabija u kružnom cilindru prečnika 20–120 mm i dužine od 400 mm [96].

Primjer dobre prakse: Proizvodnja peleta i briketa u industriji namještaja [97]

Tvornica se bavi proizvodnjom masivnih ploča, namještaja od punog drveta, peleta i briketa. Ulaganjem u najmoderniju tehnologiju zaokružen je proces proizvodnje od ulaska trupaca do proizvodnje namještaja i masivnih ploča. Ključni procesi proizvodnje koji generiraju najveće količine drvnog otpada su procesi primarne obrade, odnosno krojenja trupaca. Pored toga otpad se stvara i u drugoj fazi krojenja elemenata po mjeri za finalne proizvode. Drvne ostatke iz proizvodnje tvornica je sagorijevala u vlastitom kotlu, a viškove privremeno skladištila do momenta potrebe za sagorijevanje. U cilju maksimalnog iskorištenja nastalog otpada tvornica je investirala u pogone za proizvodnju peleta i briketa, čime je viškove pretvorila u novi proizvod te ostvarila dodatne prihode prodajom peleta i briketa. Vremenom je tvornica značajno povećala kapacitete proizvodnje peleta i briketa, koji su postali i njezin glavni proizvod.



Slika 53. Materijalni bilans tvornice za preradu drveta, Sankeyjev dijagram



Slika 54. Proizvodnja peleta i briketa

8.2.3 Proizvodnja podloge za farme životinja

Iako se piljevina iz drvne industrije danas najčešće koristi za proizvodnju novih proizvoda poput peleta, ona i dalje ima potencijal da se koristi i u druge svrhe kao što je podloga za farme životinja. Studije su pokazale da je životinjama poboljšan nivo udobnosti i naprednije se razvijaju na podlogama na bazi piljevine u odnosu na beton, gumu, pijesak i kamenje. Pri korištenju piljevine u navedene svrhe treba sagledati sigurnosne aspekte jer piljevina zbog svog porijekla iz prerade drveta može sadržavati postojeće organske onečišćujuće materije. Stoga se procesi prerade i pripreme piljevine za podlogu moraju provoditi tako da održavaju sigurnost materijala bez štetnih efekata na životinje. Piljevina je pogodna kao podloga za perad i koze, dok je drveni pelet pogodan za perad, konje, svinje i hrčke. Podloga od piljevine pomiješana s goveđim izmetom može se koristiti i za kompostiranje [98].

Primjer dobre prakse: Korištenje drvnih ostataka za proizvodnju podloga za životinje [99]

Tvornica upravlja širokim spektrom opasnih i neopasnih otpadnih materijala iz industrijskog, komercijalnog i komunalnog sektora. Fokus je stvaranje novih proizvoda iz otpadnih materijala. Jedan od takvih proizvoda jesu i podloge za farme izrađene od čistog recikliranog drveta koje nose akreditaciju Organic Farmers & Growers:

- easichick: Podloga od drvnih vlakana koja je posebno dizajnirana za perad i kućne ljubimce. Proizvodi se u biološki sigurnom okruženju i organski je tretirana, osiguravajući sigurnu i udobnu podlogu za životinje.
- easicattle: Podloga napravljena od recikliranog drvnog ostatka koja prolazi kroz proces čišćenja kako bi se proizvela čista, sigurna i mekana podloga na kojoj se krave mogu odmarati.

Poduzeće su 2002. godine osnovala dva farmera koji su znali vrijednost posjedovanja kvalitetne podloge ne samo u svrhu ležanja životinjama već i poboljšavanja njihovog zdravlja i dobrobiti.

Asortiman proizvoda easi rezultat je opsežnog istraživanja i razvoja, rada s ljubiteljima konja, uzgajivačima peradi i farmerima. Proizvod easibed za konje je bez prašine, dok su easichick i easicattle tretirani organskim aditivima koji poboljšavaju zdravlje životinja.

Poduzeće danas uspješno posluje na 34 lokacije i zapošljava preko 1600 ljudi.



Slika 55. Proizvodi iz linije easi

9. PUT PODUZEĆA U UVOĐENJU 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, otpadnih voda 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 8.1. Primjena principa LEAN-menadžmenta u proizvodnji).

Na bazi utvrđenog stanja te 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 učinkovitost 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 ciklusu PDCA (engl. Plan, Do, Check, Act – Planiranje, primjena, provjera, poboljšanje), a 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 ovih koji slijede [100]:

- Sistem 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, izvještavanje 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 ugljendioksida. 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.
- Međunarodni standard za upravljanje energijom **ISO 50001** pruža jasne zahtjeve za uspostavljanje, upravljanje i poboljšanje energijske 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 borbe protiv klimatskih promjena. Većina standarda temelji se na ciklusu PDCA, 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. WU Vienna, (2022), Material flows by material group, 1970-2019. Visualisation based upon the UN IRP Global Material Flows Database. Vienna University of Economics and Business. Dostupno na: materialflows.net/visualisation-centre
2. Di Maio, F. et al., (2017), Measuring Resource Efficiency and Circular Economy: A Market Value Approach, *Resources, Conservation and Recycling*, 122, pp. 163–171. doi:10.1016/j.resconrec.2017.02.009.
3. 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
4. Holy, M., (2020), Instrumenti zelene tranzicije: Održivi razvoj, cirkularna, bioekonomija i kreativna ekonomija, Friedrich-Ebert-Stiftung, ISBN 978-953-7043-88-9
5. Privredna/Gospodarska komora Federacije BiH, (2018), Strategija razvoja drvne industrije Federacije Bosne i Hercegovine za period 2016–2025.
6. Waeltring, F., (2023), Trendovi i zahtjevi zelene tranzicije za MSP iz sektora prerade metala i drveta, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn and Eschborn
7. Agencija za statistiku BiH, (2022), Statistika energije: Električna i toplotna energija, Saopćenje broj 14
8. Gordić, D., Babić, M., Jelić, D., Končalović, D., Vukašinić, V., (2014), Integrating Energy and Environmental Management in Wood Furniture Industry, *The Scientific World Journal*, vol. 2014, Article ID 596958, <https://doi.org/10.1155/2014/596958>
9. Haddouche, H., Ilinca, A., (2022), Energy Efficiency and Industry 4.0 in Wood Industry: A Review and Comparison to Other Industries, Wind Energy Research Laboratory (WERL), University of Quebec at Rimouski (UQAR), doi.org/10.3390/en15072384
10. Jingge, L., McCurdy, M., Pang, S., (2006), Energy Demand in Wood Processing Plants, Department of Chemical and Process Engineering, University of Canterbury
11. Health and Safety Executive, (2022), Wood Dust: Controlling the Risks
12. 7-Step Dust Collector Maintenance Checklist (2019), dostupno na: <https://www.isystemsweb.com/7-tips-for-dust-collector-maintenance/>, pristupljeno u decembru 2023.
13. Woodworking Dust Collection System, Clean Air Company, dostupno na: <https://www.cleanairco.com/industries/woodworking-dust-collection-system/>, pristupljeno u decembru 2023.
14. Gordić, D., Babić M., Šušteršič V., Končalović D, Jelić D., (2010), Mogućnosti uštede energije u industriji drvenog nameštaja; *Energija, ekonomija, ekologija*, ISSN: 0354-8651

15. Emplainscourt, M.C., Findley, K.S, Hodge, B.K, (2003), Energy Conservation in the Wood-Furniture Industry, American Council for an Energy-Efficient Economy
16. Sarajevska regionalna razvojna agencija SERDA, (2023), Audit energijske efikasnosti u kompaniji Apatha corp., Podrška MSP u energijskoj tranziciji u KS
17. Pirasteh, G., Saidur, R., Rahman, S.M.A., Rahim, N.A., (2014), A review on development of solar drying applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.052>
18. Iustondo, D., Oliveira, L. (2009). Model to assess energy consumption in industrial lumber kilns. Ciencia y tecnología. 11. 33-46. 10.4067/S0718-221X2009000100003.
19. Aldžić, E, (2013), Analiza konvencionalnog i kondenzacionog načina vještačkog sušenja drveta, 9th International Scientific Conference on Production Engineering – Development and Modernization of Production, Rim, 2013.
20. Hodžić, A., Hasanagić, R., (2019), Obnovljivi izvori energije u procesu sušenja drveta, 32. Međunarodni kongres o procesnoj industriji, str. 265-273
21. Espinoza, O., Bond, B. Vacuum Drying of Wood—State of the Art. Curr Forestry Rep 2, 223–235 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0045-9>
22. Rhodri E., (2023), Energy Efficiency in Kiln Drying, dostupno na: <https://hswf.co.uk/blogs/burning-questions/energy-efficient-kiln-drying>, pristupljeno u decembru 2023.
23. Garrahan, P., (2011), How Energy Efficient is Your Drying Operation?, Canadian Forest Industries, Pristupljeno u februaru 2023. na <https://www.woodbusiness.ca/how-energy-efficient-is-your-drying-operation-352/>
24. Loibnegger, T., (2011), Smjernice za primjenu normi za goriva iz drvne biomase, Regionalna energijska agencija Sjeverozapadne Hrvatske
25. Johnson, R., Industrial Lighting Best Practices, pristupljeno u decembru 2023. na <https://studylib.net/doc/18783133/industrial-lighting-best-practices>
26. 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.
27. Bonilights, dostupno na: <https://bonilights.com/about-us/>, pristupljeno u decembru 2023.
28. Energy.Gov, (n.d), LED Lighting: Energy Saver, pristupljeno u decembru 2023. na <https://www.energy.gov/energysaver/led-lighting>
29. BWF, dostupno na: <https://bwf-group.com/en/profiles/references/industrial-lighting/>, pristupljeno u decembru 2023.
30. Sarajevska regionalna razvojna agencija SERDA, (2023), Audit energijske efikasnosti u kompaniji SBC, Podrška MSP u energijskoj tranziciji u KS
31. Improve Kiln-Dried Lumber Production with Proper Boiler Water Treatment, dostupno na <https://claritywatertech.com/improve-kiln-dried-lumber-production-with-proper-boiler-water-treatment/>, pristupljeno u decembru 2023.
32. Jankes, G., Stamenić, M., Jovanović, A., (n.d.), Bilten MEEIS, Oblast: Gazdovanje energijom, Odmuljivanje i odsoljavanje industrijskih kotlova, MEEIS

33. Uredba o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije, Službene novine FBiH broj 26/20
34. 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
35. 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
36. What to Know About Boiler Insulation, firwin, dostupno na: <https://www.firwin.com/blog/what-to-know-about-boiler-insulation/>, pristupljeno u decembru 2023.
37. Bolier Insulation Service, dostupno na: <https://m.indiamart.com/proddetail/boiler-insulation-service-25555695830.html?pos=6&pla=n>, pristupljeno u decembru 2023.
38. Einstein, D., Worrell, E., & Khrushch, M. (2001). Steam systems in industry: Energy use and energy efficiency improvement potentials.]
39. Kermeli, K., Deuchler, R., Worrell, E., & Masanet, E. (2016). Energy efficiency and cost saving opportunities for metal casting.
40. 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.
41. 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
42. F. da Cunha, I., (2007), Compressed Air Energy Efficiency Reference Guide, CEATI, CESIG
43. D. Šešlija, D., Vodič za povećanje energijske efikasnosti pneumatskih sistema, MEEIS, SIEEN
44. Kaeser Compressors, (n.d), Heat Recovery Systems
45. Kompresori.ba, (n.d.), Pristupljeno: decembar 2023. na <https://kompresori.ba/>
46. 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
47. Bronya Superfine Heat Insulation, (n.d.), Što je Bronya izolacija, dostupno na <https://bronyaizolacija.com/>, pristupljeno u decembru 2023.
48. Vasile, M., (2004), Heat Pumps for Wood Drying: New Developments and Preliminary Results. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 6(2), 123-132. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2004000200003>
49. SunPeak, (n.d), Powering business with the sun, dostupno na: <https://www.sunpeakpower.com/sunpeak-solar-experience>, pristupljeno u decembru 2023.
50. Uspješne priče: Studija slučaja poduzeća Bosnian Beech Board, Green Recovery Project, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn and Eschborn

51. Mate, A. A., (2002), Energy analysis and diagnostics in wood manufacturing industry, West Virginia University, The Research Repository
52. Agencija za statistiku Bosne i Hercegovine, (2022), Okoliš: Korištenje i zaštita voda od zagađivanja u industriji 2021, Saopćenje br. 1
53. ARK VIỆT NAM, (2022), Guide to wood processing wastewater treatment, dostupno na <https://arkvietnam.com/en/guide-to-wood-processing-wastewater-treatment>, pristupljeno u decembru 2023.
54. Evropska komisija: Glavna uprava za okoliš, (2020), Provedbena odluka komisije (EU) 2020/2009. o utvrđivanju zaključaka o najboljim raspoloživim tehnikama (NRT-i), u skladu s Direktivom 2010/75/EU Evropskog parlamenta i Vijeća o industrijskim emisijama, za površinsku obradu upotrebom organskih otapala, uključujući zaštitu drva i proizvoda od drva kemikalijama
55. Sankeyjev dijagram tvornice namještaja Wiesner Hager: Dostupno na. <https://www.sankey-diagrams.com/tag/furniture/>, pristupljeno u decembru 2023.
56. Water Technology, (2018), Wastewater: Water reuse system for a wood products manufacturer, dostupno na: <https://www.watertechonline.com/wastewater/article/16205745/water-reuse-system-for-a-wood-products-manufacturer>, pristupljeno u decembru 2023.
57. Government of Western Australia, (2001), Guidance note: Safe use of Chemicals in the Woodworking Industry, ISBN 0-7307-6122-3
58. Deskera, (n.d.), Wood Manufacturing: The Role of Additives, dostupno na: <https://www.deskera.com/blog/wood-manufacturing-the-role-of-additives/>, pristupljeno u decembru 2023.
59. ChemSec alati, dostupni na : <https://chemsec.org/tools/>, pristupljeno u decembru 2023.
60. Zakon o hemikalijama (“Službeni glasnik Republike Srpske”, broj 21/18)
61. Zakon o hemikalijama (“Službene novine FBiH”, broj 77/20)
62. Pravilnik o inventaru hemikalija (“Službeni glasnik Republike Srpske”, broj 69/18)
63. Pravilnik o sadržaju sigurnosno-tehničkog lista (“Službeni glasnik Republike Srpske”, broj 104/18)
64. 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
65. Korajčević Š., Babić-Džihanić E., Hrbat A., Sladoje M., (2019), Hemikalije i otpad u Programu 2030
66. LNS, (2023), Digitalization and QHSSE in Chemical Manufacturing: Behn Meyer’s Testimonial, pristupljeno u decembru 2023. na <https://lns.co.id/blog/digitalization-and-qhsse-in-chemical-manufacturing-behn-meyers-testimonial/>
67. Fareholm, K., at all, (2010), Industrial wood finishing; Tikkurila Oy, Industry; ISBN 978-952-5030-43-3
68. Kies, U., Angerbauer, C., Oberwimmer R., Loyko L., (2016), Handbook for Resource and Energy Efficiency in Forest-based Industries of Eastern Europe. RERAM report

- D6.3, DOI: 10.13140/RG.2.2.23659.54561
69. Otpad iz proizvodnih i uslužnih djelatnosti, 2020., Agencija za statistiku BiH, Godina VI/1 (2023)
 70. 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
 71. Yamamoto K, Milstead M, Lloyd R. 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.
 72. Domingo, T., R, (2011). "Identifying and Eliminating The Seven Wastes or Muda What Is Waste?", dostupno na: www.rtdonline.com, pristupljeno u decembru 2023.
 73. Sharma, S. S., Khatri, R., (2021), Introduction to Lean Waste and Lean Tools. Book chapter:, doi:10.5772/intechopen.97573
 74. Vartiainen Bürki, Reto. (2019). Agile project management method Kanban. 10.13140/RG.2.2.23378.99528.
 75. US EPA, Lean Thinking and Methods - Kaizen, dostupno na: <https://www.epa.gov/sustainability/lean-thinking-and-methods-kaizen>, pristupljeno u decembru 2023.
 76. 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.
 77. 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
 78. MRP - Materials Requirement Planning, dostupno na: leanmanufacture.net, pristupljeno u decembru 2023.
 79. 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
 80. Clean Energy Technology Vyncke, (n.d.), Heat and Power for Kiln Drying and Milling, dostupno na: <https://www.vyncke.com/industries/wood/saw-mill-industry/>, pristupljeno u decembru 2023.
 81. Moderator, (n.d.), Proizvodnja: Kogeneracijsko postrojenje, dostupno na <https://moderator.hr/proizvodnja-peleta/>, pristupljeno u decembru 2023.
 82. Gvozdenac-Urošević, B., Jankes, G., (n.d.), Kombinovana proizvodnja električne i toplotne energije, MEEIS, SIEEN
 83. Mandić, M., (2020), Kogeneracijsko postrojenje na drvenu biomasu poduzeća Spin Valis, Završni rad, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:636264>
 84. Clarke, P., Freihaut, J., Lin, B., Pletcher, J., (2012), A Guide to Utilizing Combined Heat and Power in the Wood Resources Industry
 85. Speight, J. G., (2020), Types and properties of fuels from non-fossil fuel sources, The

- Refinery of the Future, 469–513. doi:10.1016/b978-0-12-816994-0.00013-0
86. OPET Finland, (2002), Wood Pellets in Finland-technology, economy and market, OPET Report 5, Technical Research Centre of Finland
 87. Beretin, D., (2015), Iskorištavanje drvne biomase iz vinogradarske proizvodnje za proizvodnju energije, diplomski rad, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:129825>
 88. Integralni izvještaj o mapiranju tokova otpada iz tekstilne i drvne industrije u Zeničko – dobojskom kantonu (2023), CENER 21, UNDP
 89. Munir TM., Irle M., Belloncle C., Federighi M., (2019), Wood Based Bedding Material in Animal Production: A Minireview, Crimson Publishers: Wings to the Research, ISSN: 2576-9162, DOI: 10.31031/APDV.2019.06.000644
 90. Easi: Wood fibre beddings, Dust Free Wood Fibre Bedding, pristupljeno u decembru 2023. na <https://easibedding.co.uk/>
 91. Gvozdencac-Urošević, B., Jankes, G., (n.d.), Kombinovana proizvodnja električne i toplotne energije, MEEIS, SIEEN
 92. Mandić, M., (2020), Kogeneracijsko postrojenje na drvnu biomasu poduzeća Spin Valis, Završni rad, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:636264>
 93. Clarke, P., Freihaut, J., Lin, B., Pletcher, J., (2012), A Guide to Utilizing Combined Heat and Power in the Wood Resources Industry
 94. Speight, J. G., (2020), Types and properties of fuels from non-fossil fuel sources, The Refinery of the Future, 469–513. doi:10.1016/b978-0-12-816994-0.00013-0
 95. OPET Finland, (2002), Wood Pellets in Finland-technology, economy and market, OPET Report 5, Technical Research Centre of Finland
 96. Beretin, D., (2015), Iskorištavanje drvne biomase iz vinogradarske proizvodnje za proizvodnju energije, diplomski rad, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:129825>
 97. Integralni izvještaj o mapiranju tokova otpada iz tekstilne i drvne industrije u Zeničko – dobojskom kantonu (2023), CENER 21, UNDP
 98. Munir TM., Irle M., Belloncle C., Federighi M., (2019), Wood Based Bedding Material in Animal Production: A Minireview, Crimson Publishers: Wings to the Research, ISSN: 2576-9162, DOI: 10.31031/APDV.2019.06.000644
 99. Easi: Wood fibre beddings, Dust Free Wood Fibre Bedding, pristupljeno u decembru 2023. na <https://easibedding.co.uk/>
 100. GIZ Green recovery, (2023), Vodič za zeleno certificiranje, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn and Eschborn



Zeleni poslovni modeli u drvnoj industriji