

Povećanje efikasnosti procesa uporabom tehnologija i alata zelenog i vitkog menadžmenta

Gregurić, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:187527>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-04**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Marko Gregurić

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić, dipl. ing.

Student:

Marko Gregurić

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se profesoru Nedeljku Štefaniću na velikoj podršci i pomoći prilikom izrade rada koji obrađuje novu tehnologiju za zaštitu okoliša.

Marko Gregurić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: 602-14/22-6/1	
Ur. broj: 15-1703-22-	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MARKO GREGURIĆ** Mat. br.: 0035216738

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Povećanje efikasnosti procesa uporabom tehnologija i alata zelenog i vitkog menadžmenta**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Increasing the efficiency of the process by using technologies and tools of green and lean management**

Opis zadatka:

Procesna industrija (proizvodnja hrane, pića, energenata...) jedna je od grana industrije kod koje efikasnost procesa u velikoj mjeri ima utjecaj na većinu pokazatelja uspješnosti kako proizvodnih tako i poslovnih pokazatelja. Također, zbog složenosti procesa javljaju se nusprodukti koji u značajnoj mjeri utječu na onečišćenje okoliša i emisiju ugljičnog dioksida u okoliš. Poduzećima su na raspolaganju efikasni alati Vitkog menadžmenta (Mapiranje toka procesa, Kaizen, 5S, Standardizirani rad, Poka Yoka, Vizualni menadžment....) kao i tehnologije i strategije zelenog menadžmenta (Cirkularna ekonomija, Obnovljivi izvori energije, Koncept nula emisije....).

U radu je potrebno:

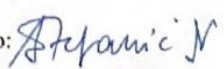
- Opisati Lean principe i alate koji su najpogodniji za primjenu u procesnoj industriji (najviše četiri).
- Detaljno opisati principe i tehnologije Zelenog menadžmenta pojam Industrije 4.0.
- Razraditi koncept Zelenog vitkog menadžmenta kojim se u procesnoj industriji primjenjuju vitki i zeleni alati i tehnologije.
- Na proizvoljno odabrano poduzeću procesne industrije primijeniti razvijeni koncept Zelenog vitkog menadžmenta te detaljno razraditi i digitalizirati sustav praćenja najvažnijih pokazatelja uspješnosti.
- Kvantificirati postignute uštede.

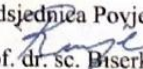
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
5. svibnja 2022.

Rok predaje rada:
7. srpnja 2022.

Predviđeni datum obrane:
18. srpnja do 22. srpnja 2022.

Zadatak zadao: 
prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Lean menadžment	3
2.1. O Lean menadžmentu	3
2.2. Korijeni Lean menadžmenta	3
2.3. Evolucija Lean menadžmenta.....	4
2.3.1. Američki doprinos evoluciji Leana.....	4
2.3.2. Japanski doprinos evoluciji Leana.....	6
3. Procesna industrija	10
3.1. Što je to procesna industrija?.....	10
3.1.1. Karakteristike procesne industrije	11
3.2. Lean u procesnoj industriji	11
3.2.1. Primjeri Leana u procesnim industrijama	12
3.3. Lean alati i tehnike koje se koriste u procesnoj industriji	12
3.3.1. Alati uklanjanja otpada i kvalitetne kontekstualne alate.....	12
3.3.2. Usklađivanje proizvodnje s potražnjom.....	14
3.4. Detaljan pregled najkorištenijih Lean alata u procesnoj industriji	15
3.4.1. Mapiranje procesa.....	16
3.4.2. Kanban	20
3.4.3. 5S	21
4. Industrija 4.0.....	24
4.1. Definiranje industrije 4.0	24
4.2. Okvir za tehnologije industrije 4.0	25
4.3. Zeleni menadžment (Green management)	26
4.3.1. Nastanak potrebe za zelenim menadžmentom.....	26
4.3.2. Pariški sporazum.....	28
4.3.3. Lean i Green menadžment u industriji 4.0	29
4.3.4. Pozadina zelenog menadžmenta i zelene proizvodnje	30
4.3.5. Veza između vitkog i zelenog menadžmenta	31
4.4. Alati i metode zelenog menadžmenta	33
4.4.1. Podjela tehnologija zelenog menadžmenta	34
4.4.2. Ciljevi zelenog menadžmenta.....	34
4.4.3. Područja primjene zelenih tehnologija.....	35
4.4.4. Prednosti i mane zelenih tehnologija	37
4.5. Tehnika kontrole onečišćenja	38
4.6. Hvatanje i skladištenje ugljika.....	39
4.6.1. Prikaz globalnih emisija CO ₂	40
4.6.2. Pregled CCS koncepta.....	41
4.6.3. Pregled industrijskih emisija CO ₂ (2019. mlrd. tona).....	41
4.6.4. Proces hvatanja i skladištenja CO ₂	43
4.6.5. Sustavi hvatanja ugljikovog dioksida	43
4.6.6. Skladištenje ugljikovog dioksida	45
4.6.7. Iskorištavanje pohranjenog ugljikovog dioksida	46
4.6.8. Primjeri CCS projekata u svijetu	47

5. Koncept Zelenog vitkog menadžmenta u procesnoj industriji	51
5.1. Preduvjetni koraci implementacije Leana	52
5.2. Koraci implementacije	53
6. Emisije CO ₂ u Hrvatskoj i sredstva za njihovo suzbijanje	58
6.1. Pregled emisija stakleničkih plinova u Hrvatskoj	58
6.2. ETS dozvole u Hrvatskoj	59
6.3. Primjena CCS-a u Hrvatskoj	60
6.4. Rizici vezani uz CCS projekt	61
6.5. Nastanak i izračun emisija CO ₂	63
6.5.1. Emisije CO ₂ u cementnoj industriji	63
6.5.2. Opis procesa	65
6.5.3. Izbor metoda dobre prakse	66
6.5.4. Emisijski faktori.....	66
6.5.5. Podaci klinkera	67
6.5.6. Prašina iz cementne peći (CKD).....	68
7. Primjena Zelenog vitkog menadžmenta u poduzeću NEXE d.d.	69
7.1. Proizvodni proces cementare.....	70
7.1.1. Procesna mapa proizvodnje cementa	73
7.2. Nexe procesi proizvodnje cementa.....	73
7.2.1. Procesna mapa proizvodnje cementa poduzeća NEXE d.d.....	78
7.3. Implementacija Zelenih alata u poduzeće NEXE d.d.	81
7.3.1. Mjerenja onečišćenja zraka u NEXE d.d.	81
7.3.2. Izračun emisija CO ₂ u poduzeću NEXE d.d.....	83
7.3.3. CCS rješenje za poduzeće NEXE d.d.	85
7.4. Smanjenje emisija CO ₂ iz cementa.....	87
7.5. Smanjenje emisija CO ₂ iz klinkera	89
8. ZAKLJUČAK.....	91

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz razvoja Lean menadžmenta kroz povijest	3
Slika 2. Prikaz Kanban kartice [57].....	9
Slika 3. Prikaz procesne industrije cementa [42]	10
Slika 4. Primjer SIPOC dijagram [56].....	17
Slika 5. Primjer Flow charta [43]	17
Slika 6. Primjer funkcijske mape [44]	18
Slika 7. Primjer BPMN mape [45]	18
Slika 8. Primjer VSM mape [46].....	19
Slika 9. Kanban ploča [55].....	20
Slika 10. Ciklus 5S alata [47].....	22
Slika 11. Teorijski okvir tehnologija industrije 4.0 [48]	25
Slika 12. Prikaz katastrofe izlivanja nafte broda Exxon Valdezu kod Aljaske [49]	27
Slika 13. Najpoznatiji proizvođač električnih vozila – Tesla [50].....	36
Slika 14. Globalne emisije CO ₂ (2000. – 2020., mlrd. tona).....	40
Slika 15. Pregled industrijskih emisija CO ₂	42
Slika 16. Hvatanja CO ₂ iz pojedinačnih postrojenja	45
Slika 17. Hvatanje CO ₂ iz zraka – direct air capture.....	45
Slika 18. Globalni prikaz CCS postrojenja [32].....	47
Slika 19. Ilustrativni prikaz clustera i hubova za CCS	48
Slika 20. Prikaz poduzeća SaskPower [51]	49
Slika 21. Prikaz tehnologije hvatanja CO ₂ direktno iz zraka – Island [52]	50
Slika 22. Implementacija Lean i Green alata u 10 koraka.....	57
Slika 23. Pregled ukupnih emisija stakleničkih plinova po sektorima (mil. tCO ₂ e).....	58
Slika 24. Prikaz hot spotova emisija CO ₂ u RH.....	59
Slika 25. Udio zagađivača u ukupnim emisijama industrije.....	60
Slika 26. Poluproizvod cementne industrije – klinker [54]	64
Slika 27. Poduzeće Nexe d.d. [39]	69
Slika 28. Prikaz eksploatacije sirovine [40].....	70
Slika 29. Miješanje sirovine i klinkerizacija [40]	71
Slika 30. Mljevenje i distribucija [40]	72
Slika 31. Procesna mapa proizvodnje cementa	73
Slika 32. Kamion izbacuje sirovinu u drobilicu [41]	74
Slika 33. Slika sustava za doziranje [41]	77
Slika 34. Procesna mapa proizvodnje cementa poduzeća NEXE d.d.....	79
Slika 35. Shematski prikaz proizvodnog procesa cementa [41]	79
Slika 36. Prikaz mlina ugljena [41]	82
Slika 37. Lokacija postavljanja CCS sustava [41]	85
Slika 38. Prikaz sheme rada CCS rješenja u poduzeću NEXE d.d.	87

POPIS TABLICA

Tablica 1. Primjeri ekoloških otpada povezanih s Lean gubitcima.....31
Tablica 2. Kemijski sastav glavnih oksida.....74

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
t	tona	masa
Mt	megatona	masa

POPIS KRATICA

Kratika	Opis
UNEP	<i>United Nations Environment Programme.</i> – Ujedinjeni narodi za okoliš
JIT	<i>Just in time</i> – Međunarodna organizacija za standardizaciju
TPS	<i>Toyota Production System</i> – Toyotin proizvodni sustav
SQC	<i>Statistic Quality Contro</i> – Statističke kontrole kvalitete
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i> – Jednominutna izmjena matrice
WIP	<i>Work in progress</i> – Proizvodnja u tijeku
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> – Potpuno produktivno održavanje
VSM	<i>Value Stream Mapping</i> – Mapiranje toka vrijednosti
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i> - Notacija i modeliranje poslovnih procesa
CSR	<i>Corporate social responsibility</i> – Društvena odgovornost poduzeća
ERA	<i>Environmental Protection Agency</i> – Agencija za zaštitu okoliša
CCS	<i>Carbon capture and storage</i> – Hvatanje i skladištenje ugljika
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> - Međuvladin panel za klimatske promjene
EOR	<i>Enhanced Oil Recovery</i> – Povećanje iscrpka nafte
DRI	<i>Direct Reduced Iron</i> – Izravno reducirano željezo
CCSA	<i>Carbon Capture and Storage Association</i> – Organizacija za hvatanje i skladištenje ugljika
PSVSM	<i>Present State Value Stream Map</i> - Karta toka vrijednosti sadašnjeg stanja
FSVSM	<i>Future State Value Stream Map</i> - Karta budućeg stanja vrijednosti
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i> – Kapitalni izdatak
OPEX	<i>Operating Expense</i> - Operativni izdatak
ROI	<i>Return on investment</i> – Povrat na investiciju
ODS	<i>Ozone depleting substances</i> - Tvari koje oštećuju ozonski omotač
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> - Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama
CKD	<i>Cement Kiln Dust</i> – Prašina iz cementne peći
CEMBUREAU	<i>European Cement Association</i> - Europsko udruženje industrije cementa

SAŽETAK

Kako bi ostale konkurentne, tvrtke koje se suočavaju s današnjim razinama globalne konkurencije bez presedana moraju dizajnirati i ponuditi bolje proizvode i usluge te poboljšati svoje proizvodne operacije. Lean menadžment korišten je za poboljšanje operativnog učinka, snižavanje gubitaka te učinkovitije maksimiziranje profita organizacije. Zeleni menadžment je metoda kojom se smanjuje otpad i zagađenje. Lean proizvodnja je sustav koji ima za cilj sustavnim i kontinuiranim pristupom eliminirati otpad iz sustava.

Cilj ovog rada je raspravljati o konceptu vitkog i zelenog menadžmenta, proizvodnje te njihove primjene u procesnim industrijama. Detaljno su opisani alati vitkog menadžmenta i zelenog menadžmenta s naglaskom na zelenom alatu za hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida.

Alati vitkog i zelenog menadžmenta primijenjeni su u poduzeću NEXE d.d. gdje se prvotno provelo mapiranje procesa radi boljeg razumijevanja same proizvodnje, zatim je proveden izračun emisija ugljikovog dioksida kako bi znali kolike su količine tih emisija te koje je rješenje potrebno implementirati. Naposljetku, detaljnom analizom, došlo se do rješenja koje je tehnologija za hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida.

Ključne riječi:

Vitki (Lean) i zeleni (Green) menadžment, tehnologija hvatanja i skladištenja ugljikovog dioksida, procesne industrije

SUMMARY

Due to the tremendous levels of global rivalry that exist today, businesses must innovate and provide better products and services, as well as enhance their production processes, to stay competitive. To enhance operational effectiveness, minimize losses, and effectively increase the organization's revenues, Lean management is applied. Green management is a strategy for cutting pollution and waste. With a methodical and ongoing approach, Lean production attempts to reduce waste from the system.

The aim of this paper is to discuss the concept of lean and green management, production and their application in process industries. The tools of lean management and green management are described in detail, with an emphasis on the green tool for capturing and storing carbon dioxide.

The tools of Lean and Green management were applied in the company NEXE d.d. where the mapping process was initially carried out for a better understanding of the production itself, then the calculation of carbon dioxide emissions was carried out in order to know the amount of these emissions and which solution needs to be implemented. Finally, through a detailed analysis, a solution that will be implemented is the carbon capture and storage technology.

Key words:

Lean and Green management, carbon capture and storage technology, process industries

1. Uvod

Proizvodna industrija je suočena s pritiskom ponude i potražnje i klimatskih promjena diljem svijeta. Mnogi igrači u industriji neprestano traže alternativne opcije za postizanje dobre ravnoteže između rada i ekoloških učinaka. Unatoč brojnim studijama o vitkim i zelenim koje su napravljene, ne postoji konačna definicija za vitko i zeleno.

Mnogi veliki proizvođači primijenili su Lean (vitki) pristup kako bi održali svoju konkurentnost na globalnom tržištu. Koncept Leana vrlo je popularan i usvojile su ga mnoge industrije.

Lean se usredotočuje na smanjenje ili eliminaciju otpada. Lean pristup pruža posebne alate, prakse i strategije koje se mogu primijeniti za identificiranje mogućeg učinkovitog proizvodnog sustava s manjom potrošnjom resursa i stvaranjem otpada. Lean proizvodnja implementirana je u industriji od uspješne implementacije Toyotinog proizvodnog sustava. Osim definiranja Lean proizvodnje u smislu resursa, također se definira kao pristup koji eliminira sve aktivnosti bez dodane vrijednosti u proizvodnom procesu.

Dok se Lean fokusira na operativni aspekt, ekološki aspekt simbolizira Green (zeleno proizvodnja). Zeleno predstavlja ekološku održivost i obuhvaća mnoge različite probleme, uključujući stvaranje otpada i recikliranje, onečišćenje zraka, vode i zemljišta, korištenje energije i učinkovitost. Europska komisija je izjavila da će proširenje zelene primjene na druga srodna područja kao što je zeleno gospodarstvo stvoriti veću vrijednost s manje resursa, zamjenjujući ih ekološki prihvatljivijim resursima gdje god je to moguće. Program Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP) naveo je da će zelena ekonomija poboljšati ljudsku dobrobit i društvenu jednakost, uz značajno smanjenje rizika za okoliš i ekološke nestašice. Zeleno gospodarstvo poznato je kao važan put za poticanje gospodarskog rasta i poticanje inovacija novih tehnologija i proizvoda s niskim udjelom ugljika. Iz perspektive zelenog rasta, Svjetska banka (2012.) definirala je zeleni rast kao rast koji je učinkovit u potrošnji prirodnih resursa, minimizira onečišćenje i utjecaje na okoliš te je otporan na prirodne opasnosti. Zeleno je također poznato kao novi Lean gdje su se industrije počele kretati prema održivosti. Postoje različite definicije u golemim zelenim aplikacijama. Primjećuje se da se zeleni element uglavnom usredotočuje na minimiziranje utjecaja na okoliš i onečišćenja stvaranjem veće vrijednosti uz manje resursa.

Zelena proizvodnja pristup je uveden kako bi se kompenzirao i poboljšao učinak industrije u pogledu okoliša. Tvrtke su se upustile u zeleno upravljanje i zelene inovacije kako bi poboljšale

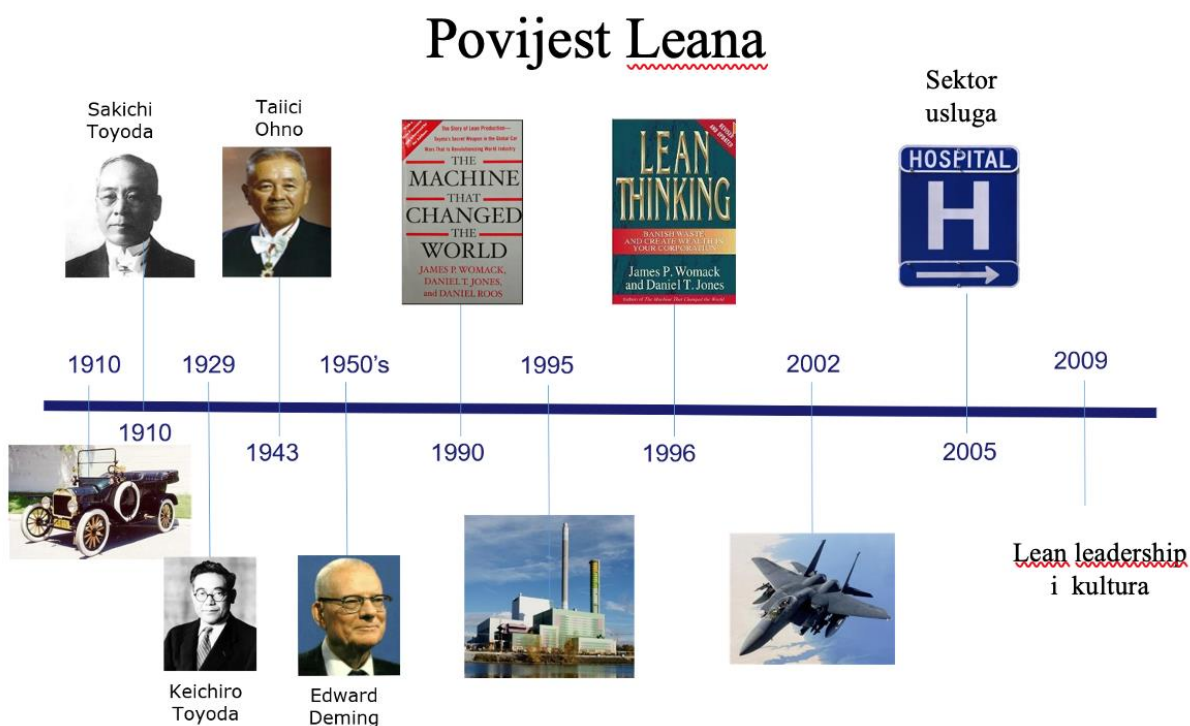
svoje ekološke performanse i zadovoljile zahtjeve potrošača za jačanje korporativnog imidža među regulatorima i javnosti.

Sinergija između vitkog i zelenog pristupa može dodatno poboljšati operativni učinak kroz stvaranje vrijednosti i smanjenje otpada. Kombinacija vitkog i zelenog pristupa pobudila je interes mnogih istraživača. Mnogo je čimbenika koji pokreću implementaciju vitke i zelene proizvodnje o kojima se raspravlja u radu. Implementacija vitke i zelene proizvodnje bila je veliki izazov u industriji zbog nedostatka stručnjaka za industriju. U ovom radu razmatraju se principi Lean i Green menadžmenta i proizvodnje te metode njihove implementacije.

2. Lean menadžment

2.1. O Lean menadžmentu

Lean proizvodnja, vitka proizvodnja ili često jednostavno Lean, proizvodna je praksa koja smatra da je trošenje resursa za bilo koji drugi cilj osim stvaranja vrijednosti rasipno i stoga je cilj za eliminaciju. Iz perspektive kupca "vrijednost" se definira kao cijena za koju bi kupac bio spreman platiti. Lean koncept nije nov, potječe s kraja 19. i početka 20. stoljeća, razvojem proizvodnih sustava Henryja Forda i drugih proizvođača. Kratak pregled evolucije Lean menadžmenta tijekom godina nudi (slika 1.). Ključni sudionici evolucije Lean koncepta kao što su Eli Whitney, Taylor, Gilbreth, Henry Ford, Shingo i Ohno bit će spomenuti i raspravljani u nastavku.



Slika 1. Prikaz razvoja Lean menadžmenta kroz povijest

2.2. Korijeni Lean menadžmenta

Počevši od 1980-ih godina razvijeni su mnogi modeli poslovanja kako bi se menadžeri naučili i pokazali kako voditi svoje poslovanje. Mnogi od ovih modela bili su konceptualno ispravni, no samo nekoliko je ponudilo održivu i čvrstu osnovu za implementaciju. Mnogo godina prije menadžeri, konzultanti i akademici borili su se s mišlju kako promijeniti, poboljšati ili zamijeniti postojeće poslovne operacije i procese. Većini tvrtki nedostajao je alat tehnika kako poboljšati svoje poslovanje i uspješno provesti proces transformacije [1].

Stoga su tijekom kasnih 1980-ih mnoge tvrtke uzele Japan, kao proizvodnu naciju u usponu, kao primjer. Tvrtke poput Toyote, Nissana, Sonyja ili Honde počele su stjecati tržišno vodstvo ne samo na japanskom tržištu nego i u Sjevernoj Americi i Europi. Nagli i brzi uspon ovih tvrtki pokrenuo je potragu za drugim tržišnim igračima, konzultantima i akademikima kako bi saznali kako su te tvrtke dizajnirale, implementirale i upravljale svojim proizvodnim sustavima. Ovi procesi su se trebali nazvati procesima "Lean production". Podrijetlo Lean-a može se pratiti u američkim strahovima da će japanske proizvodne tvrtke unutar automobilske industrije preuzeti i steći nenadmašnu konkurentsku prednost. Ti su strahovi natjerali akademike i zapadne konkurente da provedu niz aktivnosti analize kako bi došli do korijena japanskog uspjeha. Prvi rezultati objavljeni su u cijelosti u publikaciji "The Machine that Changed the World" od Womacka, Jonesa i Roosera 1990.

Za zapadne proizvođače ovaj je tekst pružio prve pisane podatke koji su se koncentrirali na japanski uspjeh i na ogromne praznine koje će morati savladati kako bi dostigli japanski uspjeh. Autori su otkrili da japanski proizvodni model koristi ne samo manje truda, već i manje resursa uloženi u proizvodni krug: manje zaliha, manje prostora, manje kapitala [1].

2.3. Evolucija Lean menadžmenta

Evolucija i povijest Lean menadžmenta može se pratiti unatrag korištenjem raznih odrednica. Ipak, sljedeće poglavlje se usredotočuje na pružanje kulturne perspektive povijesti Lean menadžmenta tijekom godina.

2.3.1. Američki doprinos evoluciji Leana

Eli Whitney i njegov koncept izmjenjivih dijelova napravili su prvi korak u razvoju Lean proizvodnje i Just in Time (JIT). Postao je poznat nakon što je izumio motor za pamuk, ali to je bilo manje postignuće u usporedbi s razvojem izmjenjivih dijelova, koncepta koji će kasnije postati temelj industrijske evolucije [2].

Mora se znati da ovaj koncept izmjenjivih dijelova nije stvorio Whitney, već se spominje mnogo prije njega, još od vremena kineskog cara Qin Shi Huangdija (221. p.n.e.) koji je naredio proizvodnju standardiziranih dijelova za samostrele, dijelova koji bi mogli biti brzo promijenio na bojnopolju. Whitney je poboljšao ovaj koncept 1799. kada je uzeo ugovor od američke vojske za proizvodnju 10.000 mušketa, za Quasi rat, po nevjerojatno niskoj cijeni od 13,40 dolara za svaku.

Koncept izmjenjivih dijelova kasnije je primijenjen u tvrtkama kao što su Cadillac, Chrysler i to je dovelo do povećanja obujma proizvodnje i brzine.

S evolucijom koncepta izmjenjivih dijelova u Americi, sve do 1850. godine, svi ormari su proizvodili standardizirane metalne dijelove za standardizirano oružje, ali uz veliki napor ručnog rada kako bi svaki komad bio ispravan. To je bilo zbog trenutne tehnologije u to vrijeme, koja nije dopuštala obradu tvrdih metala. Vojska je prihvatila troškove, ali klijenti nisu. Ipak, nijedna oružarnica nije se bavila time što se događa između procesa, koliko se više procesa odvija po redu, kako lančani procesi funkcioniraju kao sustav i kako je svaki radnik obavio zadatak.

Ova se operacija promijenila krajem 1890-ih radom prvih industrijskih inženjera. Predstavnik ovih inženjera bio je Frederick W. Taylor. Taylor se usredotočio na individualnu analizu radnika i njihovih metoda rada. Rezultat ove analize bio je proučavanje vremena i standardizirani rad. Svoje je ideje predstavio u novom kolegiju menadžmenta pod nazivom "Znanstveni menadžment" ili "Taylorizam". Glavna svrha njegovih ideja bila je poboljšanje ekonomske učinkovitosti, posebice u području produktivnosti [3]. Naziv ove prakse bio je kontroverzan jer je ideja o uvođenju znanosti u menadžment bila odbojna. Taylor je ignorirao stav onih oko sebe, fokusirajući se na radnike radi bolje analize i smanjenja vremena procesa.

Ubrzo nakon Taylora, druga reprezentativna figura, Frank Gilbreth, dodao je svoj doprinos Lean povijesti sa studijem pokreta i mapiranjem procesa. Osim Taylorove filozofije, učinkovitosti smanjenjem duljine procesa, Gilbreth je kroz studiju pokreta namjeravao smanjiti pokrete radnika tijekom proizvodnog procesa (ergonomija). U svojoj viziji Gilbreth je tražio dobrobit radnika, dok je Taylor išao za profitom. Gilbrethov drugi doprinos, mapiranje procesa, usredotočio se na sve elemente procesa, čak i na one bez dodane vrijednosti i koji su obično bili klasifikacije službenih elemenata unutar procesa. Glavne prednosti mapiranja procesa su: izloženost otpadu, otkrivanje tijeka procesa, definiranje i standardizacija te poticanje na bolje razumijevanje procesa [4].

Studiju F. Gilbretha usko je podržala njegova supruga Lilian Gilbreth kroz uvođenje psihologije u ovo područje. Dodavanjem psihologije mješavini ideja, Lilian je proučavala motivaciju radnika i kako ona utječe na stavove i rezultate procesa.

F.W. Taylor, Frank i Lilian Gilbreth, zajedno s ostalim suradnicima, osmislili su ideju "eliminacije otpada". Ova ideja stoji kao jedan od principa u JIT proizvodnom sustavu i Lean proizvodnji.

Henry Ford, osnivač Ford Motor Company, napravio je veliki korak u evoluciji Lean. Fordova vizija bila je izgraditi automobil za veliku masu. Tako su mu elektrifikacija parnog stroja i nove tehnike proizvodnje i upravljanja omogućile da proizvodnju 20. stoljeća podigne na potpuno novu razinu i proizvede poznati "T model" za samo 93 minute [5]. Stoga, počevši od 1910. godine, Ford zajedno sa svojom desnom rukom, potpredsjednikom Charliejem Sorensenom, kreira prvu strategiju inteligentne proizvodnje. Uzeli su sve elemente iz proizvodnog sustava - ljude, strojeve, alate i proizvode - i rasporedili ih u kontinuirani sustav za proizvodnju T modela. Može se zaključiti da je to bio prvi sustavni pristup tijekom procesa.

Fordov pristup menadžmentu bio je pod snažnim utjecajem teorije znanstvenog upravljanja F.W. Taylora, objavljene 1911. Iako je znanstveni menadžment omogućio Fordu da poveća svoju produktivnost, ovaj proizvodni sustav neće preživjeti u odnosu na buduću japansku konkurenciju.

Fordova postignuća imala su veliki utjecaj na konkurente, što je rezultiralo mnogim neuspješnim pokušajima drugih tvrtki. Neuspjeh je uzrokovan nemogućnošću razumijevanja osnovnih principa i primjene Fordovih metoda.

2.3.2. Japanski doprinos evoluciji Leana

Dok je Fordov sustav masovne proizvodnje napredovao tijekom razdoblja gospodarskog rasta u Americi, Toyota Production System (TPS) je predlagao drugi sustav standarda za postizanje maksimalne ekonomske učinkovitosti s minimalnim resursima. Ključ TPS-a bio je eliminirati bilo kakvu vrstu otpada.

To je značilo bilo koju aktivnost koja nije dodala vrijednost proizvodu:

- prekomjerna proizvodnja
- nepotrebni pokret
- transport
- prekomjerna obrada
- čekanje
- zalihe
- škart

Pristup ovog osnovnog TPS principa napravljen je kontinuiranim poboljšanjem standarda.

Značajne razlike između dvije tvrtke bile su način na koji su promijenile standarde. Ford je koristio svoje industrijske inženjere da definira radne standarde, dok je Toyota tu odgovornost prenijela na radnike u Gembi (proizvodno područje) [6].

Taiichi Ohno, Shigeo Shingo i Eiji Toyoda razvili su Toyotin proizvodni sustav između 1948.-1975., koji se izvorno nazivao Just-In-Time Production. Međutim, za bolje razumijevanje kako je Toyota došla do ovog sustava, tvrtku se mora analizirati od početka.

U prvim desetljećima 20. stoljeća domaća automobilska industrija u Japanu bila je slabo razvijena, pa je proizvodnja bila relativno mala. To se promijenilo 1925., dolaskom automobilske kompanije „Ford Company“ i 1927. godine dolaskom automobilske kompanije „General Motorsom“ na japansko tržište. Američke automobilske tvrtke u kratkom vremenu (do 1934.) pokrivale su japansku potražnju za automobilima s 92 %, dok je Toyota pokrivala svega 3 %.

Kako bi popravili ovu situaciju, Toyotina automobilska podružnica (Toyoda Automatic Loom Works Ltd. u to vrijeme, a kasnije je postala Toyota Motor Co. Ltd.), koju je vodio Kiichiro Toyoda, sin osnivača Toyote, Sakichi Toyoda. Istraživao je automobilske motore i u jesen 1934. proizveden je prvi prototip Toyotinog motora. Također, Kiichiro je potaknuo vodstvo da posjete američke proizvođače automobila kako bi vizualizacijom poboljšali Toyotin sustav masovne proizvodnje.

Svi Kiichirovi napori kulminirali su uvođenjem prvog prototipa automobila Model A1 u svibnju 1935. Međutim, svi ti napori koje su uložili Japanci činili su se beskorisnima u usporedbi s razvojem američkih divova.

Američka dominacija završila je 1936. uvođenjem zakona „Enterprise Law“ koji je planirao zatvaranje američkih tvornica i subvencionirao tri velike japanske tvrtke proizvođača kamiona: Toyotu, Nissan i Isuzu. U ovom trenutku japanska automobilska industrija morala se slobodno razvijati bez zaostajanja za američkim tvrtkama.

Toyota je pokušala uvesti američki sustav masovne proizvodnje u tvornicu iz Komora. Međutim, ovaj sustav je morao biti prilagođen kako tom vremenskom razdoblju tako i postojećem proizvodnom sustavu. Namjera je bila iskoristiti kreativnost u razvoju japanskog proizvodnog sustava iz kulturne i ekonomske perspektive. Ti su napori naišli na otpor zaposlenika, koji su se još uvijek vodili tradicionalnim tehnikama proizvodnje s Fordovim sustavom.

Ključni trenutak u evoluciji Lean koncepta bila je odluka koju je donijela Toyota da poboljša produktivnost iznutra. Odluka je donesena zbog financijske situacije nakon Drugoga svjetskog

rata, što je značilo i odustajanje od modernizacije proizvodne opreme. Kako bi postigla interno poboljšanje, Toyota je kombinirala elemente Taylorisma (standardizaciju) s određenom tvrtkom. Ti elementi uključivali su tijekom proizvodnje, multitasking i uspostavu proizvodnog sustava. Rezultati su bili bolji od očekivanih. Proizvodnja je toliko narasla da je došla do hiperprodukcije. To je dovelo do stvaranja otpada koji je TPS osobno pokušao eliminirati i dovesti tvrtku u mogući stečaj. Tvrtka je ovaj problem riješila isporukom automobila američkoj vojsci tijekom Korejskog rata.

Još jedan korak prema napretku koji je napravila Toyota bio je dolazak dva velika roditelja upravljanja kvalitetom u Japan: Edwardsa W. Deminga i Josepha M. Juran.

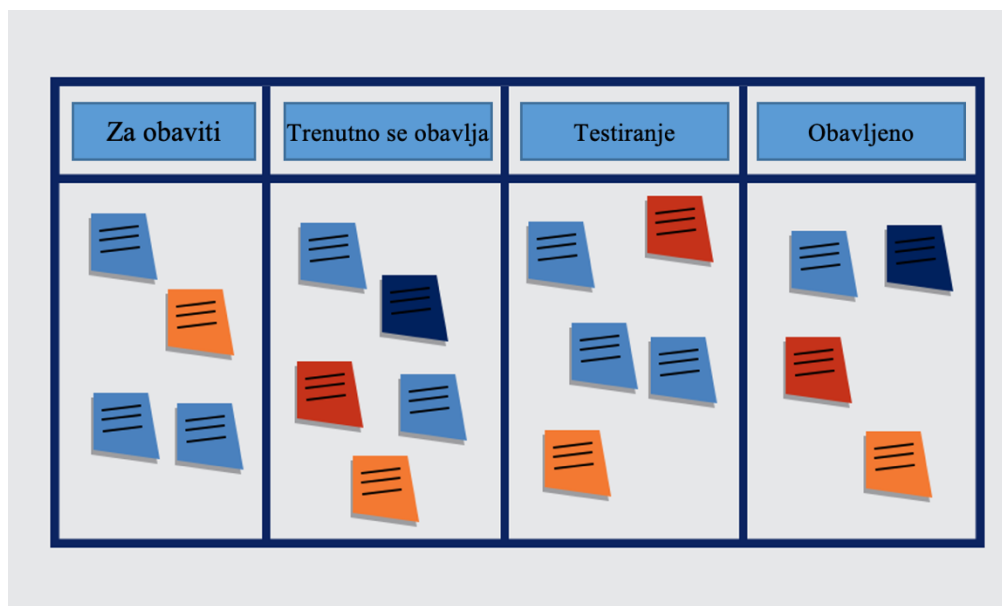
Deming se u Japanu proslavio uputama najvišeg menadžmenta uvođenjem statističke kontrole kvalitete (Statistic Quality Control, SQC) i definiranjem poznatog "Demingovog kruga":

- planiraj, čini, provjeravaj i djeluj.

Juran, drugi igrač na japanskoj sceni kvalitete, pojavio se 1954. dajući bitan doprinos u područjima:

- definiranja sustava upravljanja kvalitetom, koji je osnovni zahtjev za svako poduzeće koje proizvodi materijalna dobra i usluge
- korištenje Pareto principala u kontroli kvalitete. Mora se prisjetiti da je Pareto principal 1906. godine stvorio Talijan Vilfredo Pareto koji je primijetio da 20 % stanovništva Italije posjeduje 80 % njezina teritorija
- „Juran Trilogy“ - definira komponente kvalitete kao što su planiranje, kontrola i poboljšanje kvalitete

Krajem 1950-ih, Toyota je predstavila sustav spreme zaliha nazvan Kanban, u prijevodu "kartica" koji je trebao smanjiti otpad nastao u zalihama [7].



Slika 2. Prikaz Kanban kartice [57]

Kao rezultat uspjeha TPS-a, Toyota je trebala napasti američko automobilsko tržište i svrstati se među vodeće tvrtke poput Forda i General Motorsa. Drugi čimbenik koji je pridonio razvoju Toyotine tvrtke i Lean menadžmentu bio je japanski inženjer Shigeo Shingo. Shingo je stvorio SMED (Single Minute Exchange of Die) metodu i sustav "proizvodnje bez zaliha". Ovaj sustav nastao je 1975. godine i podrazumijeva smanjenje zaliha proizvoda i potrebnog prostora te njihove cijene [7].

SMED metoda je prvi put primijenjena u tvrtki Toyota i prati smanjenje vremena stvrdnjavanja cementa. Metoda je bila uspješna, s time da je vrijeme stvrdnjavanja smanjeno sa 1-2 sata na samo nekoliko minuta. Uz ovu metodu vezan je i koncept "6 Sigma" koji je razvila Motorola 1985. godine, a koji je privukao pozornost svijeta 1995. godine kada ga je predstavila tvrtka General Electric preko Jacka Welcha.

6 Sigma poboljšava kvalitetu procesa identificiranjem i eliminacijom nedostataka.

3. Procesna industrija

3.1. Što je to procesna industrija?

Iako se Lean prvenstveno primjenjuje u diskretnoj industriji „velike količine, niske raznolikosti“, mnogi istraživači podupiru univerzalnu primjenjivost Lean koncepata. Zagovornici Lean razmišljanja tvrde da se Lean može implementirati u širok raspon industrija koje djeluju u različitim okruženjima. Stoga navodi da nakon četiri desetljeća evolucije, Lean nije ostao ograničen samo na automobilski sektor, gdje je i nastao, već je postupno stekao primjenjivost u brojnim industrijama i sektorima. [8]

Implementacija Leana nije jednostavna u organizacijama koje imaju različite postavke od repetitivne proizvodnje velikog obujma kao u proizvodnji automobila iako se Lean prilagođava potrebama organizacije držeći središnji fokus na eliminaciji otpada.

Procesna industrija nije iskoristila prednosti vitke proizvodnje kao što su to napravile diskretne proizvodnje. Procesna industrija obuhvaća proizvodne procese kao što su miješanje, odvajanje, oblikovanje i kemijska reakcija, koji se općenito koriste za proizvodnju nediskretnih materijala. Na primjer, tekućine, pulpe, plinovi, cement, prašci i kaša stalno mijenjaju svoj oblik, a oblik ne mogu držati bez kontejnera.



Slika 3. Prikaz procesne industrije cementa [42]

Na slici 3. prikazana je linija procesne industrije cementa.

3.1.1. Karakteristike procesne industrije

Procesnu industriju karakterizira visoki „work in process“ (WIP), varijabilni kemiji procesi, brzo postavljanje i proizvodnja malih serija. Takva okruženja za obradu fleksibilnija su za promjenu i općenito imaju višestruko usmjeravanje i složeno raspoređivanje. Međutim, procesna industrija „kontinuiranog protoka“ ima nizak WIP, dosljedne kemijske procese i dugotrajne postavke parametara linija s velikim serijama. Također je manje fleksibilna za promjene i ima jednostruko usmjeravanje i jednostavno postavljanje uvjeta rada. [8]

Procesnu industriju nadalje karakterizira skupa specijalizirana oprema, strogi ekološki zahtjevi i visok stupanj automatizacije. Stoga je snažan fokus u procesnoj industriji na smanjenju troškova i relativno brzom povratu ulaganja u imovinu. Mnoge procesne industrije s velikim obujmom i javnozdravstvenim odgovornostima, kao što su industrija hrane, pića i farmaceutska industrija, osjećaju veliki pritisak da postavke stroga ograničenja na kvalitetu proizvoda. Što je najvažnije, procesna industrija je podvrgnuta velikoj varijabilnosti potražnje i velikom pritisku za povećanje razine kvalitete usluge. Procesna industrija općenito ima visoke razine zaliha u lancu opskrbe, velika vremena ciklusa od kojih samo 0,3 – 5 % uključuje radnje s dodanom vrijednošću i nisku učinkovitost materijala od 1 do 10 %.

Stoga se čini da lanci opskrbe procesne industrije, uključujući dobavljače, proizvođače, trgovce na malo ili distributere, imaju širok opseg za implementaciju vitke proizvodnje.

Procesna industrija uključuje industrije poput kemije, hrane i pića, farmaceutske industrije, čelika, papira i celuloze, gume, plastike, tekstila, cementa i mnoge druge vrste.

3.2. Lean u procesnoj industriji

Kontinuiranu procesnu proizvodnju često karakteriziraju proizvodi velike količine, niske raznolikosti i nefleksibilni procesi. Menadžeri ovog okruženja bili su spori s prilagodbom Lean ideja u ove procese. Procesna industrija može se smatrati proizvodnjom materijala umjesto proizvodnje predmeta. Obje industrije imaju slične značajke, ali velika je razlika u kontinuitetu rada.

U procesnoj industriji zaustavljanje procesa može biti toliko skupo da to predstavlja velike izazove s logističkog stajališta [8].

Tako je na primjer teže smanjiti veličinu serije u industriji kontinuiranih procesa, gdje su postavljena vremena najčešće dugačka i skupo je zaustaviti proces radi promjene.

Razlike koje su karakteristične za procesnu industriju sa stajališta JIT-a (koji je Lean alat) moraju se izdvojiti od onih koje su poznati u diskretnoj industriji. Potrebno je razvrstati one karakteristike koje je teško riješiti od onih lakših. U konačnici, u okruženju kontinuiranog procesa proizvodnje, gotovo uvijek se proizvode diskretni dijelovi (npr. čelične šipke ili zavojnice, limenke boje, boce s plinom, boce pića, trake tableta, itd.) i koncepti Lean proizvodnje se mogu primijeniti na mnoge potprocese u kojima se proizvode diskretni dijelovi. Ideja je koristiti one prakse za eliminaciju otpada iz diskretne proizvodnje i primijeniti ih na ograničenja koja su zajednička za procesnu industriju.

Kada se Lean usvoji u okruženju koje se razlikuje od okruženja velike količine ponavljajuće proizvodnje, nisu sve Lean prakse primjenjive u novom okruženju.

3.2.1. Primjeri Leana u procesnim industrijama

1. Primjenom nekoliko principa Leana DuPont, proizvođači tekstila, drastično je smanjio rad u procesu za 96 %, obrtni kapital za 2 milijuna dolara i operativne troškove za 3 milijuna dolara. Tvornica je istodobno postigla 10% poboljšanje kvalitete proizvoda i 300 % povećanje prijedloga zaposlenika. [9]
2. Primjena Leana u čeličani kroz simulacija dokazano da se vrijeme bez dodavanja vrijednosti može smanjiti s 8,6 puta na samo dva puta vremena dodane vrijednosti. Ukupno vrijeme proizvodnje moglo bi se smanjiti za 70%. Iznenadujuće, moglo bi se postići smanjenje od 90% u inventaru rada u procesu
3. Postignuto značajno povećanje dostupnosti opreme, smanjenje rasipanja materijala i poboljšanje kvalitete u tvornici za proizvodnju keksa u Indiji nakon usvajanja principa vitke proizvodnje.
4. Dow kemikalije također uspjele smanjiti svoje zalihe za 62,5 %.

3.3. Lean alati i tehnike koje se koriste u procesnoj industriji

3.3.1. Alati uklanjanja otpada i kvalitetne kontekstualne alate

Lean prakse koje se prvenstveno odnose na eliminaciju otpada dosljedno se koriste za poboljšanje performansi u procesnim industrijama. To uključuje Lean alate koji su najkorisniji u smanjenju otpada i poboljšanju kvalitete. [9]

Lean alati koji doprinose eliminaciji otpada su:

-
- Mapiranje toka vrijednosti (Value Stream Mapping, VSM)
 - 5S
 - SMED
 - Smanjenje veličine serije
 - Automatsko zaustavljanje linije
 - Potpuno produktivno održavanje (Total Productive Maintenance, TPM)
 - Vizualna kontrola
 - Zaštita od grešaka

Lean alati koji učinkovito pomažu poboljšanju kvalitete su:

- Standardizacija rada
- Program upravljanja kvalitetom,
- Statistička kontrola procesa (SPC)
- Nula nedostataka

Vrijeme postavljanja je općenito veliko u procesnim industrijama u usporedbi s diskretnom proizvodnjom. U procesnim industrijama serijskog tipa kao što su prehrambena, tekstilna, farmaceutska i kemijska, tehnike brze promjene kao što je jednominutna izmjena kalupa (SMED) mogu biti vrlo korisne za smanjenje vremena postavljanja. Procesne industrije imaju opremu vrlo velikog kapaciteta koja zahtijeva periodično održavanje i zaustavljanje popravka. Tehnike SMED-a kada se implementiraju smanjuju broj zaustavljanja u procesnim industrijama.

Smanjenje vremena postavljanja može biti korisno za održavanje kvalitete proizvoda i brzu opskrbu proizvoda tamo gdje se kvaliteta s vremenom pogoršava. U procesnim industrijama često je vrlo izazovno smanjiti veličinu serije. Oprema velikog kapaciteta nije prikladna za male količine zbog povećanih troškova proizvodnje. Međutim, u industriji serijskih procesa potrebna je proizvodnja u malim serijama kako bi se proizvela raznolikost i brza isporuka proizvoda.

Standardizacija rada je također jako korisna u procesnim industrijama kako bi se eliminirali procesi bez dodane vrijednosti. U procesnim industrijama nekoliko procesa se provodi na određenoj temperaturi i za određeno vrijeme, kao što su toplinska obrada, miješanje, odvajanje

ili taljenje. Stoga je nekoliko nepredviđenih čimbenika povezano s procesima koji rezultiraju značajnim varijacijama procesa. Te se varijacije procesa mogu minimizirati pomoću „standardizacije rada” i „vizualne kontrole”.

U procesnim industrijama također su jako korišteni alati 5S i TPM. 5S je skupina praksi koje pomaže radno mjesto učiniti visokokvalitetni.

5S Lean alat sastoji se od:

- Seiri (sortirati)
- Seiton (urediti)
- Seiso (čistiti)
- Seiketsu (standardizirati)
- Shitsuke (održati)

5S pomaže u uključivanju učinkovitog programa održavanja, što rezultira pozitivnim utjecajem na kvalitetu. Iz tog razloga, 5S je često korišten Lean alat u procesnim industrijama. Štoviše, procesna industrija sastoji se od nekoliko strojeva i alata kao što su kompresori, pumpe, isparivači i izmjenjivači topline, a TPM pomaže tako da ih stalno održava u pogonu. Uz učinkovit TPM, proizvođači mogu zadovoljiti zahtjeve moderne proizvodne strategije kao što je JIT. [9]

Procesne industrije koje imaju kratko vrijeme obrade i malu raznolikost općenito imaju manje posla u preradi. Iz tog razloga uporaba vizualne kontrole nije uobičajena u procesnim industrijama. Također je utvrđeno da se “dokaz grešaka” (Mistake proofing) manje koristi u procesnim industrijama.

Procesne industrije u kojoj se nekoliko operacija ponavlja, „automatizacija” može bolje, sigurnije i uz smanjene rizike za proizvod obavljati zadatke. Automatizacija procesa povećava ponovljivost i izravno utječe na kvalitetu. Zapravo, smatra se da procesne industrije imaju visok stupanj automatizacije.

3.3.2. Usklađivanje proizvodnje s potražnjom

Ovdje spadaju Lean alati koji su odgovorni za nesmetani protok proizvoda u procesnoj industriji, usklađujući tako proizvodnju s potražnjom. [10]

Lean alati koji ovdje spadaju su:

- Vrijeme takta (takt time)
- JIT proizvodnja (Just in time)
- Kanban
- Pull proizvodnja
- Niveliranje proizvodnje
- Stanična proizvodnja

1. Vrijeme takta

- Postavlja tempo obrade.
- U procesnim industrijama, u fazi kada proizvod poprima diskretni oblik, vrijeme takta uspješno se koristi za određivanje tempa obrade. U serijskom procesu, vrijeme takta u industriji također pomaže u uspješnoj implementaciji balansiranja linija.

2. JIT proizvodnja

- Vrlo relevantna za neke kritične procese u procesnim industrijama. Procesni poput hlađenja u proizvodnji čelika, sušenja u proizvodnji papira i dozrijevanja u prehrambenoj industriji odvijaju se u skladištima i vrlo su važni sa stajališta potreba kupaca. JIT je koristan da se ti procesi dovrše na vrijeme kako bi se održala ocjena i kvaliteta.
- U kontinuiranim procesnim industrijama, kao što je vinska industrija, JIT može biti vrlo koristan za kontrolu zaliha u flaširanju i pakiranju.

3.4. Detaljan pregled najkorištenijih Lean alata u procesnoj industriji

Procesna industrija razlikuje se od diskretne proizvodnje kao što je već prije spomenuto tako da se također razlikuje i primjena Lean alata.

U nastavku je detaljan pregled najkorištenijih Lean alata u procesnoj industriji, a to obuhvaća:

- VSM
- Kanban
- 5S

3.4.1. *Mapiranje procesa*

Mapiranje procesa je alat za upravljanje koji se koristi za vizualni prikaz tijeka posla, koraka i ljudi uključenih u poslovni proces. Ove karte se također obično nazivaju dijagrami toka ili dijagrami tijeka rada. Organizacije koriste ovaj alat za bolje razumijevanje procesa i poboljšanje njegove učinkovitosti. Stvaranjem dijagrama koji se lako prate, dionici mogu identificirati aspekte procesa koje mogu poboljšati. To uključuje prepoznavanje uskih grla u tijekovima rada i druge neučinkovitosti poput ponavljajućih zadataka koji su idealni za automatizaciju. [11]

Postoji nekoliko vrsti mapiranja procesa:

1. SIPOC mapa
2. Blok dijagram (Flow chart)
3. Funkcijska mapa (Cross functional)
4. BPMN mapa (Business Process Modeling Notation)
5. VSM

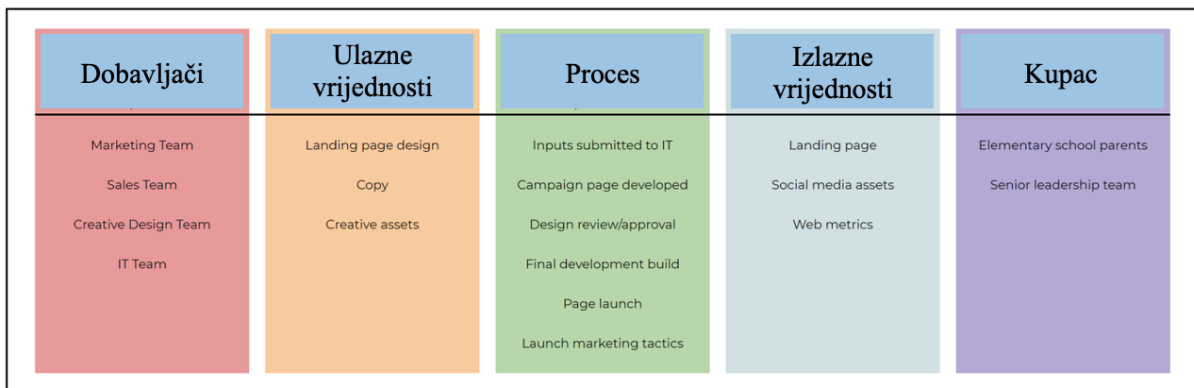
3.4.1.1. *SIPOC dijagram*

SIPOC je akronim koji dionicima pomaže identificirati ključne elemente procesa. Akronim je skraćena za:

- Suppliers = dobavljači
- Inputs = ulazi
- Process = proces
- Outputs = izlazi
- Customer = kupac

SIPOC više nalikuje tablici ili grafikonu nego karti. Navođenje ključnih elemenata, međutim, važan je prethodnik za izradu detaljnije karte procesa. SIPOC dijagrami također pomažu definirati opseg složenih poslovnih procesa i korisni su dionicima kada raspravljaju o procesu. [11]

SIPOC DIJAGRAM

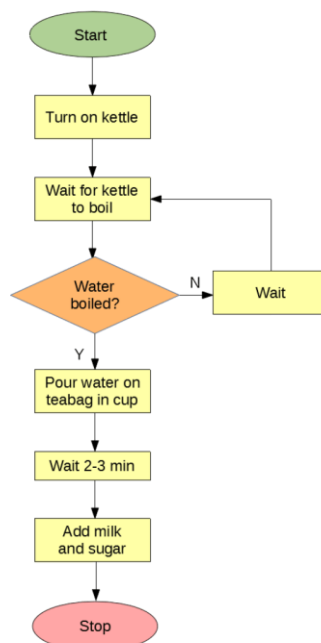


Slika 4. Primjer SIPOC dijagram [56]

Slika 4 prikazuje primjer SIPOC dijagrama s pripadajućim elementima.

3.4.1.2. Flow chart

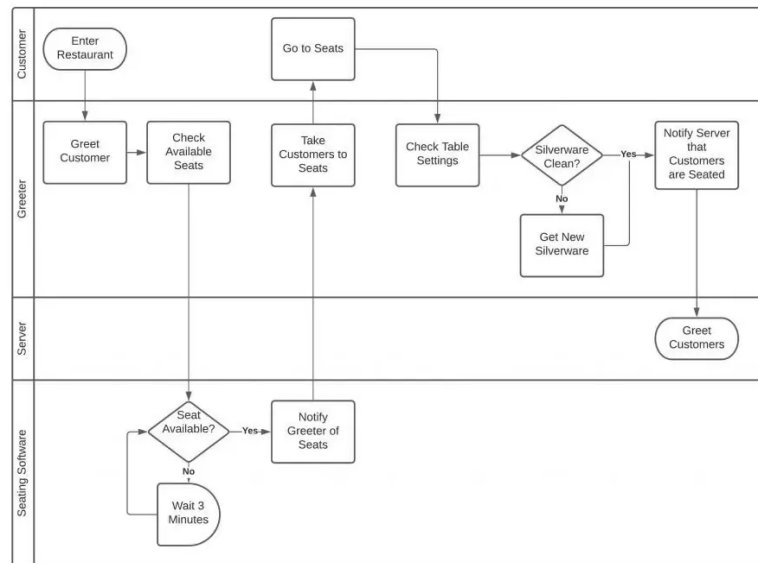
Osnovni blok dijagram koristan je za stvaranje jednostavne karte koja ilustrira ulaze i izlaze procesa. Neki idealni slučajevi upotrebe osnovnih dijagrama toka uključuju planiranje novih projekata, analizu i upravljanje tijekovima rada te poboljšanje suradnje među članovima tima.



Slika 5. Primjer Flow charta [43]

3.4.1.3. Funkcijska mapa (Cross Functional/ Swimlane)

Funkcijske mape koriste se da pokažu tko što radi. Oni razdvajaju aktivnosti u trake ili kanale prema tome tko je odgovoran za izvođenje zadatka ili procesa. Korisne su za potrebe upravljanja. Idealni su za obuku novih zaposlenika i povećanje odgovornosti. Također pomažu dionicima da razumiju tijekove rada i kako su povezani s drugim poslovnim procesima i interakciju s njima. [11]

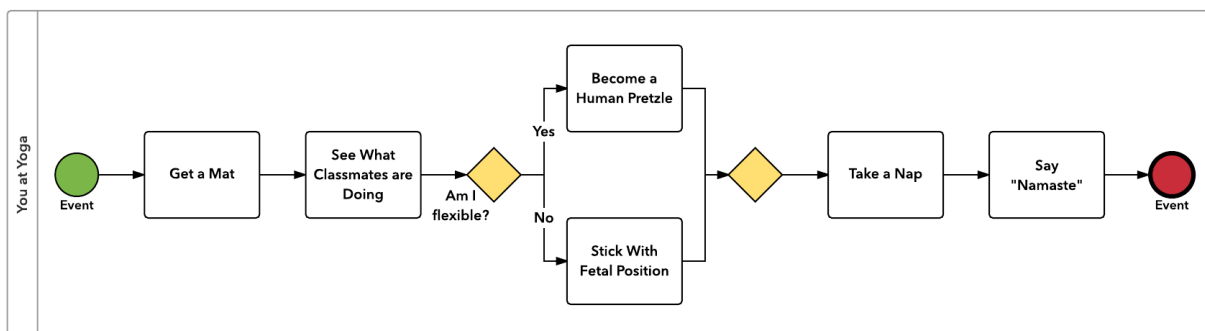


Slika 6. Primjer funkcijske mape [44]

Slika 6. prikazuje funkcijsku mapu unutar jednog restorana gdje je vidljivo tko je zadužen za pojedini proces.

3.4.1.4. BPMN

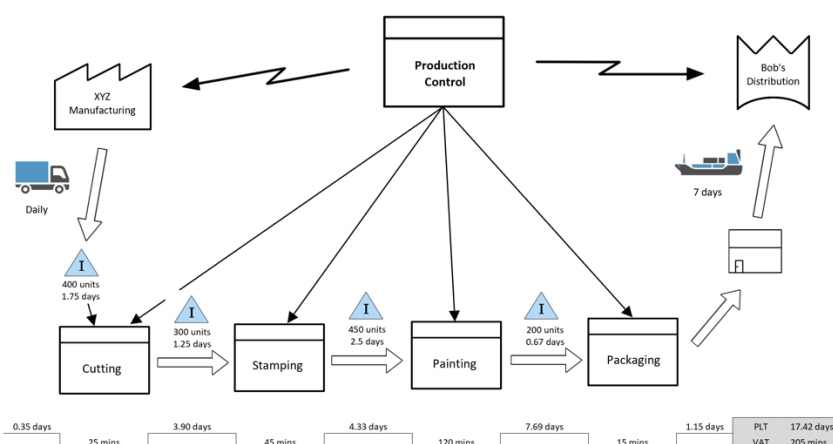
BPMN, pomaže timovima da prevladaju jezične barijere usvajanjem standardnog skupa simbola za korištenje u svojim mapama procesa. BPMN rječnik bogat je elementima poznatim kao simboli dijagrama toka ili oblici dijagrama toka. Oni pomažu eliminirati dvosmislenost i osiguravaju da svi dionici razumiju kartu procesa.



Slika 7. Primjer BPMN mape [45]

3.4.1.5. Mapiranje toka vrijednosti (VSM)

Mapiranje toka vrijednosti (VSM) kritičan je alat kada je u pitanju implementacija Lean pristupa i proširio se na mnoge sektore u industriji. VSM je popularna metoda za Lean razmišljanje i implementaciju. Mapiranje toka vrijednosti široko je korištena i dokazana metoda koja omogućuje mapiranje i analizu procesnih lanaca te pomaže u izvlačenju potencijala za poboljšanje. VSM je razvijen kao sustavna teorija koja se može primijeniti u različitim scenarijima za identificiranje otpada i uklanjanje otpada. Digitalizacija proizvodnje prema Industriji 4.0 obećava nove mogućnosti za razvoj učinkovitijih proizvodnih linija. Osobito tvrtke koje digitalno nadograđuju postojeće poslovanje potrebno je upoznati s novim pristupom. Kao sljedeći val produktivnosti, Industrija 4.0 ima za cilj poboljšati konkurentnost i učinkovitost proizvođača micanjem barijere između industrijske proizvodnje i informacijske tehnologije. Mapiranje tokova vrijednosti vrlo je uobičajeno u proizvodnoj industriji kako bi se poboljšala transparentnost i podržala poboljšanja unutar proizvodnog procesa. Kroz digitalizaciju, pruža prednost omogućavanja praćenja proizvodnje u stvarnom vremenu/približnom realnom vremenu. Ove digitalne informacije omogućuju alatima za praćenje, kao što je mapiranje toka vrijednosti, donositeljima odluka pomoći učinkovito uhvatiti procese koji ne dodaju vrijednost u tvornici. Mapiranje toka vrijednosti na temelju olovke i papira je ustaljeni alat za bilježenje procesa, identificiranje otpada i izvođenje preporuka za djelovanje, međutim, danas njegova primjena u proizvodnoj industriji zahtijeva visoku razinu napora i izazovna je zbog proizvoda i procesa složenosti, kao i dinamike. [12]



Slika 8. Primjer VSM mape [46]

Slika 8. prikazuje primjer VSM mape s pripadajućim procesima od dostave materijala do isporuke proizvoda.

3.4.2. Kanban

Većina projekata može se promatrati kao proces – niz koraka ili zadataka kojima se postiže neki željeni rezultat. Postoje sve vrste procesa - jednostavni i složeni, individualni i timski, brzi i dugotrajni. Ponekad se veliki ili sveobuhvatni procesi sastoje od niza manjih procesa.

Kanban je alat za upravljanje protokom materijala ili informacija (ili bilo čega drugog) u procesu. Neposjedovanje materijala, bilo da se radi o dijelu, dokumentu ili informaciji o kupcu, u trenutku kada su vam potrebni uzrokuje kašnjenje i gubitak. S druge strane, imati previše dijelova pri ruci ili previše rada u procesu (WIP) također je oblik otpada. Kanban je alat za učenje i upravljanje optimalnim tijekom rada unutar procesa. [13]



Slika 9. Kanban ploča [55]

Na slici 9 je prikazan primjer Kanban ploče s procesima koji se moraju obaviti, obavljaju se ili se već obavljeno.

Postoje tri pravila prilikom uvođenja Kanbana u poduzeće [13]:

1. Vizualiziranje tijeka rada

- Vizualni prikaz procesa omogućuje vidjeti kako se zadaci mijenjaju iz "za obaviti" u "obavljeni". Što je proces složeniji, to je vizualni prikaz rada korisniji i važniji. Kanban se može koristiti samo ako postoji svega nekoliko koraka ili puno koraka (planirati, dizajnirati, nacrt, odobriti, zakazati, implementirati, testirati, integrirati, implementirati). Koliko god projekt bio složen, stvaranje Kanban ploče omogućuje da na prvi pogled status posla bude vidljiv.

2. Ograničiti rad u procesu (WIP)

- Učiniti više radeći manje.
- Možda se čini kontraintuitivnim, ali to je moćna ideja koja se iznova i iznova dokazala istinitom. Postoji ograničenje broja stvari na kojima se može raditi da još uvijek budu dobro napravljena, a ta granica je često niža od očekivanog. Bez obzira je li projekt jednostavan ili složen ili je tim mali ili veliki, postoji optimalna količina posla koja se može nalaziti u procesu u jednom trenutku bez gubitka učinkovitosti. Nije neuobičajeno otkriti da je za obavljanje deset stvari odjednom potrebno tjedan dana dok je za obavljanje dvije stvari odjednom potrebno nekoliko sati što rezultira napravljenim dvadeset stvari do kraja tjedna. Kanban metrika omogućuje pronaći optimalni broj.

3. Mjerenje i poboljšanje tijeka

- Poboljšanje bi se uvijek trebalo temeljiti na objektivnim mjerenjima.
- Pronalaženje i primjena dobrih metričkih vrijednosti obično je težak korak.

Velika prednost Kanbana je da se primjenjuje na već postojeće procese.

3.4.3. 5S

Jedan od bitnih koraka za pokretanje i postizanje Lean kulture unutar poduzeća, kao i jedna od najšire prihvaćenih metoda iz alata za vitku proizvodnju, 5S metoda smatra se osnovnim konceptom Leana. 5S uspostavlja potrebnu operativnu stabilnost za stvaranje i održavanje kontinuiranih poboljšanja. 5S je metoda za poboljšanje učinkovitosti i poboljšanje upravljanja [14]. 5S je metodologija stvaranja i održavanja dobro organiziranog, čistog, visoko učinkovitog i kvalitetnog radnog mjesta. Njegov rezultat je učinkovita organizacija radnog mjesta, smanjenje radnog okruženja, otklanjanje gubitaka povezanih s kvarovima i prekidima, poboljšanje kvalitete i sigurnosti rada. Na japanskom, 5S je kratki oblik od pet riječi koje predstavljaju koncept dobrog održavanja. 5S ima sljedeće značenje [15]:

- Sortirati (Seiri)
 - Odlučiti, odvojiti ili ukloniti nepotrebne stvari pomoću potrebnih alata.
- Postaviti u red/ urediti (Seiton)
 - Stavljanje stavki u logičan red kojim se najčešće koriste na odgovarajuće mjesto. Ovime se smanjuje vrijeme traženja stavki.
- Čistiti (seiso)

- Izvesti i održavati dubinsko čišćenje, eliminirati izvore prljavštine i pojednostaviti proces čišćenja, kvaliteta se može postići samo u čistim radnim okruženjima.
- Zaposlenici moraju svoje radne postaje održavati čistima.
- Standardizirati (Seiketsu)
 - Uspostavljanje standardiziranih pravila kako bi procesi te njihovi potprocesi svima bili jasni.
- Održati (Shitsuke)
 - Sve aktivnosti treba pratiti, evaluirati i kontinuirano poboljšavati kako bi se poštivali i održavali rezultati postignuti primjenom 5S metode.
 - Implementacija 5S metode trebala bi početi od osposobljavanja produktivnih radnika o rasponu elemenata 5S i prednostima njihove uporabe. Vrlo je važna činjenica da se ove metode ne odnose samo na proizvodne pozicije, već se odnose i na skladišne, uredske pozicije i druge.



Slika 10. Ciklus 5S alata [47]

Slika 10. prikazuje korake 5S metode tijekom implementacije u poduzeće. Nakon same implementacije, vrlo je bitno da se 5S metoda ne zanemari te da se postignuto stanje kontinuirano održava.

3.4.3.1. Implementacija 5S metode

Ciljevi 5S studije podrazumijevaju:

- Priprema kataloga standarda 5S i implementacija standarda.
- Jasni zadaci i odgovornosti za 5S tim i Lean stručnjaka.
- Informiranje tima o utvrđenim zadacima i odgovornostima.
- Osposobljavanje voditelja i voditelja radnje za implementaciju 5S standarda.
- Postizanje 5S revizije prema utvrđenom standardu.
- Razvoj i kontinuirano unapređenje procesa i radnih mjesta.
- Izrada standardizacijskog obrasca procesnog rada.
- Stalno ažuriranje standardnog kataloga 5S.

4. Industrija 4.0

4.1. Definiranje industrije 4.0

Industrija 4.0 nastala je 2011. godine njemačkom inicijativom savezne vlade sa sveučilištima i privatnim tvrtkama. Bio je to strateški program razvoja naprednih proizvodnih sustava s ciljem povećanja produktivnosti i učinkovitosti nacionalne industrije. Ovaj koncept predstavlja novu industrijsku fazu proizvodnih sustava integracijom niza novih i konvergentnih tehnologija koje dodaju vrijednost cijelom životnom ciklusu proizvoda. Ova nova industrijska faza zahtijeva društveno-tehničku evoluciju ljudske uloge u proizvodnim sustavima, u kojoj će se sve radne aktivnosti lanca vrijednosti obavljati pametnim pristupima i utemeljena na informacijskim i komunikacijskim tehnologijama. [16]

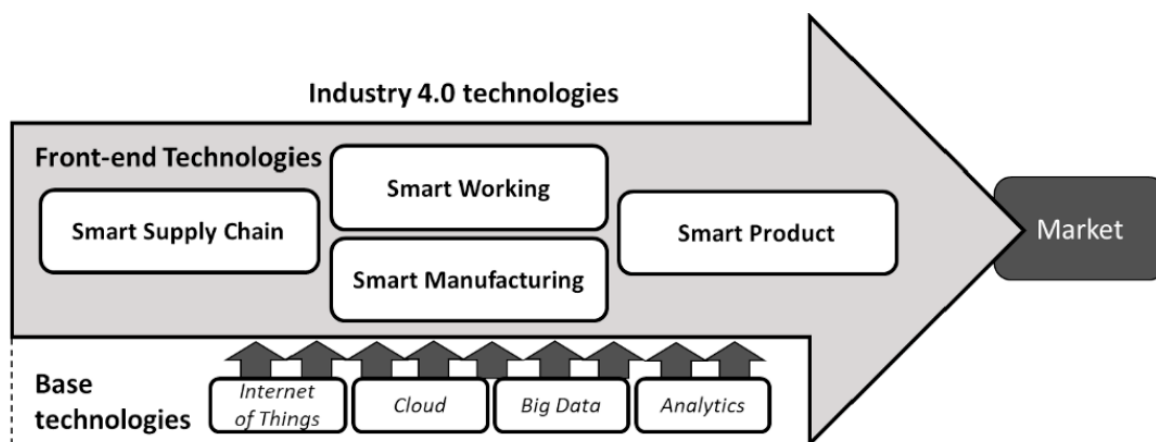
Industrija 4.0 je ukorijenjena u naprednoj proizvodnji ili se također naziva konceptom Smart Manufacturing, tj. prilagodljivim sustavom u kojem fleksibilne linije automatski prilagođavaju proizvodne procese za više vrsta proizvoda i promjenjive uvjete. To omogućuje povećanje kvalitete, produktivnosti i fleksibilnosti te može pomoći u postizanju prilagođenih proizvoda u velikim razmjerima i na održiv način uz bolju potrošnju resursa.

Industrija 4.0 također razmatra razmjenu informacija i integraciju opskrbnog lanca (koji se naziva Smart Supply Chain), sinkronizaciju proizvodnje s dobavljačima kako bi se smanjila vremena isporuke i izobličenja informacija koja proizvode efekte biča. Ova integracija također omogućuje tvrtkama da kombiniraju resurse u suradničkoj proizvodnji, dopuštajući im da se usredotoče na svoje temeljne kompetencije i dijele sposobnosti za inovacije proizvoda na industrijskim platformama, zajedničkim naporima da se razvijati proizvode i komplementarnu imovinu i usluge s većom dodanom vrijednošću. [17]

Tehnologije ugrađene u finalne proizvode (Smart Products) također su dio šireg koncepta Industrije 4.0. Pametni proizvodi mogu pružiti povratne informacije o podacima za razvoj novih proizvoda, kao i korisnicima pružiti nove usluge i rješenja. Stoga neki znanstvenici smatraju pametne proizvode drugim glavnim ciljem Industrije 4.0, budući da dopuštaju nove poslovne modele poput sustava proizvoda i usluga, koji stvaraju nove mogućnosti za proizvođače i pružatelje usluga.

4.2. Okvir za tehnologije industrije 4.0

Tehnologije industrije 4.0 mogu se razdvojiti barem u dva različita sloja u skladu s njihovim glavnim ciljem.



Slika 11. Teorijski okvir tehnologija industrije 4.0 [48]

U središte okvira stavljamo ono što nazivamo „Front-end tehnologije“ Industrije 4.0, koja razmatra transformaciju proizvodnih aktivnosti na temelju tehnologije u nastajanju (Smart Manufacturing) i način na koji se proizvod nudi. Također razmatra način isporuke sirovina i proizvoda i nove načine na koje radnici obavljaju svoje aktivnosti temeljene na podršci novim tehnologijama. Ovaj tehnološki sloj nazivamo "front-end tehnologijama" jer se četiri "pametne" dimenzije bave operativnim i tržišnim potrebama. Stoga imaju krajnju svrhu primjene za lanac vrijednosti poduzeća, kao što je prikazano na shematskoj strelici prikazanoj na slici 2. Vrijedi primijetiti da je središnja dimenzija front-end tehnološkog sloja pametna proizvodnja, dok su ostale dimenzije međusobno povezane s ovom. Front-end sloj se oslanja na drugi sloj predstavljen u kojem se nalaze tehnologije koje pružaju povezanost i inteligenciju za front-end tehnologije. Ovaj zadnji sloj je onaj koji omogućuje koncept Industrije 4.0, čime se ovaj koncept razlikuje od prethodnih industrijskih faza. To je zato što osnovne tehnologije omogućuju povezivanje front-end tehnologija u cjeloviti integrirani proizvodni sustav. Cilj je razumjeti kako se te tehnologije koriste u proizvodnim tvrtkama i prate li obrasce implementacije. [17]

4.3. Zeleni menadžment (Green management)

4.3.1. Nastanak potrebe za zelenim menadžmentom

Potreba za ekološkom sviješću i zelenim upravljanjem proizlazi iz raznih nedjela koja su se pojavila tijekom vremena. Točan trenutak u povijesti u kojem su nastala ova ekološka nedjela predmet je rasprave. Neki bi mogli tvrditi da sa svakom generacijom čovječanstva okoliš trpi posljedice sebičnog i rasipničkog ljudskog ponašanja.

Dok se rasipničko i ekološki štetno ljudsko ponašanje može identificirati u izvještajima koji sežu stoljećima unatrag u povijest, čini se da se doba poznato kao industrijska revolucija ističe kao razdoblje u kojem je nastala najrazornija šteta po okoliš. Današnje obnavljajuće organizacije odgovorne su za ponovno ulaganje u prirodni kapital, obnovu biosfere i ublažavanje gotovo 300 godina štete koja je nastala tijekom industrijskog doba.

Industrijska revolucija nastala je u Engleskoj u drugoj polovici 18. stoljeća, ubrzo je stigla do Sjeverne Amerike i zadržala se tijekom 19. stoljeća. Iako se čini da postoji određena rasprava o točnim datumima početka i završetka za ovo vremensko razdoblje i je li to zapravo bila revolucija, svi povjesničari skloni su dokumentirati slične trendove i događaje koji definiraju to doba. Ovo vremensko razdoblje označilo je pomak prema kapitalističkoj ekonomiji gdje su bogatstvo i profit bili cijenjeni ciljevi pojedinaca i korporacija. Gradile su se tvornice, razvijale strojeve, cvjetali su novi izumi, što je sve pridonijelo povećanju proizvodnje, učinkovitosti i profita. Također je došlo do značajnog porasta stanovništva i brzog povećanja količine zemlje koja se obrađivala. Uz proizvodne prednosti i povećanu učinkovitost koje su pratile nove tvornice, napredne strojeve i nove izume došlo je i do povećanja onečišćenja zraka i vode. S povećanjem stanovništva došlo je i do nuspojave povećane potrošnje resursa i otpada. S obradom zemlje došlo je i do negativnih učinaka opsežnog krčenja šuma. Dok je ljudsko ponašanje prije industrijske revolucije najvjerojatnije bilo rasipničko i u određenoj mjeri štetno za okoliš, velike promjene koje su se dogodile tijekom tog vremenskog okvira drastično su povećale ovo ponašanje koje nije prihvatljivo za okoliš. To razdoblje koje nazivamo industrijskom revolucijom umnožilo je broj i težinu posljedica ljudskog ponašanja. Dok bi ljudi nastavili koristiti i rasipati neobnovljive resurse i zagađivati okoliš konstantnom brzinom tijekom vremena, industrijska revolucija bila je katalizator koji je eksponencijalno povećao stopu te potrošnje, otpada i onečišćenja, stvarajući neospornu hitnost da se poduzmu koraci za zaštitu okoliša. [24]

Tijekom posljednjih godina 19. stoljeća i početkom 20. stoljeća, ljudi u SAD-u počeli su ulaziti u **prve faze ekološke svijesti** s razvojem zaštite okoliša i početkom pokreta za očuvanje. Ovaj

pokret proizašao je iz potrebe da se smanji neoprezno iskorištavanje okoliša što je pokazatelj industrijskog razdoblja i potrebe za savjesnim i učinkovitim korištenjem prirodnih resursa od strane pojedinaca i korporacija. Pokret za očuvanje, koji se proteže kroz desetljeća između 1850. i 1920., uključivao je ne samo pronicljive radove i napore spomenutih ekoloških aktivista, već i vladinu intervenciju u obliku zakonodavstva, kao što su Zakon o šumskim rezervatima iz 1891. i Zakon o rijekama i lukama od 1899. godine. [24]

Druga era ekološke svijesti obuhvaća osamdesete godine 20. stoljeća. Prethodno desetljeće završilo je drastičnom štetom po okoliš i ljudskom patnjom, a ovo desetljeće je također bilo zahvaćeno vlastitim razaranjima, i izlivanjem nafte broda Exxon Valdez 1989. Također tijekom ovog desetljeća znanstvenici, klimatolozi, i kreatori politike potvrdili su da je efekt staklenika stvaran fenomen i da će na kraju imati značajan i negativan utjecaj na klimu i okoliš. Takvi tragični ekološki događaji, kao i sve veće propadanje okoliša zbog klimatskih promjena, bili su bolni, ali jasni znakovi upozorenja da tvrtke moraju ići dalje od zakonskih propisa kako bi se smatrale dobrim korporativnim građanima. Kako bi tvrtke izbjegle ogromne troškove, pojedinci koji vode ove tvrtke počeli su usvajati nove strategije koje će im pomoći da predvide i budu bolje pripremljene za suočavanje s takvim tragedijama u budućnosti.



Slika 12. Prikaz katastrofe izlivanja nafte broda Exxon Valdezu kod Aljaske [49]

Slika 12. prikazuje sliku izlivanja nafte kod Aljaske koje je ugrozilo sav život u blizini čije se posljedice osjete i 30 godina nakon same katastrofe.

Desetljeće 1990-ih predstavlja **treću eru ekološke svijesti**. Ovo doba definirano je proaktivnim odgovorom poduzeća ekološkim pitanjima i otkrićem od kojeg bi tvrtke zapravo mogle profitirati, biti ekološki osviještene i naglašavati stalna poboljšanja u vezi s pitanjima okoliša. Tijekom ovog desetljeća izmišljena je termin “eko-učinkovitost” i na temelju kojeg su tvrtke razvile strategije koje su uspjele i u sprječavanju onečišćenja i u smanjenju štete za okoliš.

Neke su organizacije smatrale su kako im osviještenost za okoliš neće samo poboljšati financijske rezultate i pomoći im da se održe tijekom vremena već da bi također mogli postići prednost nad konkurentima. [25]

Konačna i **sadašnja era ekološke svijesti** je novo tisućljeće. Umjesto razdvajanja ciljeva poduzeća i okoliša u dvije cjeline, organizacijski lideri shvaćaju da bi ciljevi poduzeća i okoliša trebali biti isti. Sve organizacije trebaju učiniti ekološka pitanja glavnom brigom u svim svojim poslovnim funkcijama kako bi se aktivno pridružile plemenitom naporu spašavanja ovog planeta koji je u opasnosti. Iako usvajanje ekološki svjesnih strategija i praksi pomaže tvrtkama da ostanu konkurentne na svojim tržištima, povećana briga o okolišu tijekom ovog razdoblja također je vođena motivom da bude društveno odgovorno i da se čini ono što je moralno ispravno. Organizacije koje pokušavaju postati zelene moraju integrirati inicijative održivosti i na strateškoj i na operativnoj razini. Osim toga, moraju postati organizacije koje kontinuirano uče kako bi adekvatno i učinkovito odgovorile na okruženje koje se stalno mijenja. [25]

4.3.2. Pariški sporazum

Pariški sporazum je sporazum o klimi koji je potpisalo 195 zemalja članica UN-a 12. prosinca 2015. na Summitu UN-a o klimi 2015. s ciljem zajedničkog sprječavanja globalnog zatopljenja. Članak 2. Pariškog sporazuma navodi da će se u budućnosti nastojati kontrolirati porast temperature zemlje u rasponu do 2 °C u usporedbi s predindustrijskim dobom te se moraju uložiti naponi, slijediti gore spomenuti teži cilj povećanja stope zagrijavanja na unutar 1,5 °C, shvaćajući da će to uvelike smanjiti rizik i utjecaj klimatskih promjena [21].

Zbog rastuće globalne konkurencije i promjenjivih potreba potrošača posljednjih godina, sve veća ekološka pitanja i nedostatak energije učinili su zelena pitanja aktualnom temom u mnogim industrijama. Poduzeća pokušavaju obnoviti sirovine kako bi ostvarila profit uz istovremeno zaštitu okoliša, a posvećena su održivom razvoju okoliša. U proizvodnim procesima aktivno se smanjuje potrošnja energije, resursa i sirovog materijala, čime se smanjuje proizvodnja otpada u samim procesima. [22]

Smisao upravljanja okolišem je rješavanje ekoloških problema tijekom procesa rasta poslovanja, kao i pružanje poduzećima učinkovitu proizvodnju i učinkovite upotrebe sirovina, uključujući korištenje manjih količina sirovina, recikliranje, ponovnu upotrebu sirovina, materijala, te smanjenje otpada, čime se povećava učinkovita uporaba sirovina i smanjuje rasipanje resursa.

Vlada ima značajnu ovlast da potakne industriju, uključujući donošenje propisa i industrijskih planova i pružanje pomoći poduzećima s odgovarajućim sredstvima i resursima pri provedbi ekoloških strategija za kontinuirane postupke i planiranje. Međutim, kako su različite vlade pod stresom zbog ograničenih prirodnih resursa i zbrinjavanja otpada, aktivno su uspostavile politike oporavka resursa, a kako javnost nastavlja povećavati pritisak na vlade u pogledu onečišćenja okoliša, to prisiljava vlade da uspostave stroge zakone o zaštiti okoliša i značajne novčane kazne za onečišćenje okoliša, s namjerom smanjenja onečišćenja koje uzrokuju poduzeća uvođenjem pravilnog upravljanja okolišem. [23]

4.3.3. *Lean i Green menadžment u industriji 4.0*

Lean menadžment i zeleni menadžment (Green management) dva su pristupa poslovanju koje su tvrtke usvojile i promovirale tijekom posljednjih nekoliko desetljeća. Mnoge tvrtke implementirale su aspekte svakog pristupa, sa svrhom stvaranja bolje vrijednosti kroz kvalitetne proizvode i usluge, dok u isto vrijeme pokušavaju smanjiti proizvodni i/ili ekološki otpad. Obje filozofije upravljanja nastoje identificirati i eliminirati otpad na povezane, premda različite načine. Povijesno gledano, očekivanja heterogenosti poslovanja poduzeća i usklađenosti sa zakonima o okolišu bili su glavni pokretači usvajanja ovih filozofija upravljanja. U novije vrijeme, povećana pozornost društvenoj odgovornosti poduzeća (corporate social responsibility, CSR) može se smatrati potaknutim stopom prihvaćanja zelenog upravljanja.

Zeleni menadžment promatra potencijalne štetne utjecaje na okoliš koje proizvode tvrtke i njeni procesi te ih nastoji smanjiti ili eliminirati. Aktivnosti zelenog upravljanja mogu se poduzeti kao rezultat regulatornih zahtjeva ili usvajanjem povećanog CSR-a. [18]

Fokus na smanjenje otpada s obje filozofije sugerira da se te dvije filozofije međusobno ne isključuju. Razumijevanje zajedništva u ciljevima može dovesti do boljeg razumijevanja primjene ključnih alata za upravljanje i poboljšanje procesa. Također je važno razumjeti kako dvije filozofije potiču ili povlače upravljačke zahtjeve i alate unutar tvrtke. Međuovisnost dviju filozofija sugerira strategije upravljanja koje kapitaliziraju ovu interakciju kako bi pomogle tvrtkama ostvariti istodobno financijske i ekološke dobitke. Međutim, neki su se suprotstavili

ovom scenariju koji je dobitan svima, podupirujući ekonomski argument da troškovi poboljšanja okoliša umanjuju ulaganja i učinak poduzeća. Model koji integrira Lean i Green s performansama tvrtke pomogao bi uokviriti ovu raspravu, ali trenutno nedostaje. [18]

4.3.4. Pozadina zelenog menadžmenta i zelene proizvodnje

Zeleni menadžment je proces primjene inovacija u cijeloj organizaciji za postizanje održivosti, smanjenja otpada, društvene odgovornosti i konkurentne prednosti kroz kontinuirano učenje i razvoj te prihvaćanjem ekoloških ciljeva i strategija koje su u potpunosti integrirane s ciljevima i strategijama organizacije.

U novije vrijeme održivost je postala važno pitanje u poduzećima, koje proizlazi iz zabrinutosti zbog iscrpljivanja prirodnih resursa, nejednakosti u bogatstvu i društvene odgovornosti. U tom smislu, organizacije ponovno promišljaju svoje proizvode i procese dok provode ekološki odgovorne prakse upravljanja. Ovaj fokus doveo je do koncepta ekološki svjesne proizvodnje, koja se također naziva zelena proizvodnja. Zelena proizvodnja koristi zelene strategije i inovativne tehnike, uključujući proizvode i sustave koji troše manje materijala i energije, koriste nove ulazne materijale i uvode procese za smanjenje neželjenih rezultata. Ti naponi također uključuju programe za pretvaranje izlaza u ulaze (recikliranje) i otkrivanje novih upotreba nusproizvoda koji rezultiraju sekundarnim proizvodima. Te su strategije usmjerene na smanjenje otpada u okolišu u isporuci proizvoda i usluga kupcima. Iz ove perspektive, ekološki otpad definiran je kao nepotrebno korištenje resursa ili ispuštanje tvari u zrak, vodu ili zemljište koje bi mogle naštetiti ljudskom zdravlju ili okolišu. Predložene su različite mjere zaštite okoliša za praćenje ekološkog otpada, uključujući, ali ne ograničavajući se na potrošnju energije, materijala i vode, stvaranje krutog otpada, otpad, emisije, ispuštanje otpadnih voda i stvaranje opasnog otpada. [19]

U području zelenog upravljanja navedena su tri različita proizvodna pristupa za smanjenje ekološkog otpada. [20]

Ovi pristupi uključuju:

- Kontrolu onečišćenja (pollution control)
- Sprječavanje onečišćenja (pollution prevention)
- Upravljanje proizvodima (product stewardship)

Kontrola onečišćenja je pristup “end of pipe” tj. kraj cijevi i povezan je s metodama koje se koriste za hvatanje, skladištenje, tretiranje i/ili odlaganje onečišćenja nakon što je stvoreno.

Sprječavanje onečišćenja odnosi se na aktivnosti kojima se eliminiraju emisije i otpad, čime se smanjuje potreba za kontrolom onečišćenja. Promatrano kao pristup kontinuiranog poboljšanja, prevencija onečišćenja može pružiti organizacijama prednosti u odnosu na njihove konkurente kada se implementira. Sprječavanje onečišćenja može rezultirati nižim troškovima sirovina i zbrinjavanja otpada. Također može pomoći u smanjenju vremena ciklusa uklanjanjem nepotrebnih koraka u proizvodnji i operacija, koji organizacijama pružaju prednosti u smislu povećane produktivnosti, učinkovitosti, smanjenja troškova i poboljšanog novčanog toka. Konačno, upravljanje proizvodom proširuje perspektivu okoliša na cijeli lanac vrijednosti, uključujući druge interne i vanjske dionike kao što su istraživanje i razvoj, dizajneri proizvoda i dobavljači.

4.3.5. Veza između vitkog i zelenog menadžmenta

Vitki menadžment i zeleni menadžment smatraju se kompatibilnim inicijativama zbog njihovog zajedničkog fokusa na smanjenje otpada, učinkovito korištenje resursa i naglasak na zadovoljavanju potreba kupaca uz najnižu moguću cijenu.

Vitka proizvodnja i zelena praksa upravljanja okolišem su sinergije u smislu njihovog fokusa na smanjenje otpada i neučinkovitosti. Jedan važan aspekt ovog odnosa je da Lean može povećati prednosti pristupa prevenciji onečišćenja. Prema EPA (Environmental Protection Agency), ekološki otpad ugrađen ili povezan sa sedam vrsta gubitaka. Proširujući Lean teoriju na razmatranje ekološkog otpada, nove primjene Lean praksi i alata mogu postati očite. Programi zelenog upravljanja mogu maksimizirati svoje dobitke kada se Lean metode primjenjuju na specifične aktivnosti prevencije onečišćenja. Drugim riječima, Lean alati mogu pomoći da pristupi sprječavanju onečišćenja budu konkurentniji.

Tablica 1. daje primjere ekološkog otpada povezanog sa sedam Lean gubitaka.

Tablica 1. Primjeri ekoloških otpada povezanih s Lean gubitcima

Gubitci	Utjecaj	Korist
Prekomjerna proizvodnja	Prekomjerna proizvodnja dovodi do prekomjerne potrošnje sirovina i energetskih resursa u izradi neželjenih dijelova - prekomjerne količine opasnih materijala što rezultira dodatnim emisijama i odlaganjem otpada.	Ako organizacije nemaju prekomjernu proizvodnju, troše manje sirovina, koriste manje energije za rad i eliminiraju rizik povezan s ne prodajom viška zaliha i na njegovim potencijalnim odlaganjem kao otpad.

Nepotrebni pokret	Kretanje zahtijeva više prostora, povećavajući zahtjeve za grijanjem, hlađenjem i osvjetljenjem. Također može povećati vrijeme proizvodnje proizvoda što rezultira povećanim energetske zahtjevima.	Smanjenje bilo kakvog napora, nepotrebnog podizanja stvari ili potrebe da se hoda prekomjerno naprijed-natrag kako bi se pronašli alati ili izvršili zadatak znači da će organizacija koristiti manje energije.
Transport	Prijevoz dovodi do dodatne potrošnje energije i emisija za transport.	Minimiziranje transporta smanjuje utrošenu energiju i troškove povezane s proizvodom.
Prekomjerna obrada	Prekomjerna obrada dovodi do dodatne potrošnje dijelova i sirovina po jedinici proizvodnje, povećanja otpada, potrošnje energije i emisija.	Poboljšanje obrade na upravo ono što je potrebno omogućuje organizacijama da smanje otpad i smanje svoj ekološki otisak.
Čekanje	Čekanje dovodi do oštećenja komponenti potencijalnih materijala. Također prisutan je energetske gubitak zbog grijanja, hlađenja i rasvjete tijekom vremena proizvodnje.	Smanjenje čekanja može smanjiti vrijeme zastoja u proizvodnji, što znači da organizacije imaju manje izgubljene energije.
Zalihe	Inventar dodaje otpad od propadanja proizvoda u procesu proizvodnje (WIP) kao i od zamjene oštećenog WIP-a alternativnim materijalima.	S manje zaliha proizvoda, organizacije mogu učinkovitije koristiti svoj prostor u pogonu (štedeći zahtjeve za grijanjem i hlađenjem), a istovremeno troše manje ambalaže i sirovina. Niže razine zaliha također smanjuju rizik od otpada zbog zastarjelosti i neotkrivenih nedostataka.
Škart	Škart dovodi do potrošnje sirovina i energije u izradi neispravnih dijelova, recikliranja za neispravne komponente, prostora za preradu	Minimiziranje škarta znači da organizacije koriste manje sirovina za proizvodnju proizvoda, što je jednako manjoj potrošnji energije.

Vitki i zeleni menadžment također dijele cilj poboljšanja pokazatelja uspješnosti poduzeća. Oba pristupa nastoje poboljšati kvalitetu i vrijeme, kao i smanjiti troškove, s krajnjim ciljem generiranja veće vrijednosti. Korištenje zelene proizvodnje smanjuje materijalni otpad i potrošnju energije, što smanjuje troškove proizvodnje i poboljšava vrijeme proizvodnje. Također će poboljšati kvalitetu proizvodnog procesa što će zauzvrat poboljšati kvalitetu proizvoda. [18]

Dok oba pristupa dijele smanjenje otpada kao cilj, zelena i vitka filozofija upravljanja također mogu raditi jedna protiv druge. U slučaju zelene proizvodnje, organizacije mogu zahtijevati korištenje manje štetnih sirovina uz veće ulazne ili preradne troškove. Isto tako, vitka proizvodnja mogla bi negativno utjecati na okoliš kada se ispušta više stakleničkih plinova korištenjem procesa isporuke na vrijeme. Razumijevanje interakcije ovih filozofija upravljanja na uspješnost tvrtke važno je, ali potencijalno složeno u odnosu i ponašanju.

4.4. Alati i metode zelenog menadžmenta

Zelena tehnologija podrazumijeva sustav koji koristi inovativne metode za stvaranje ekološki prihvatljivih proizvoda. Prelazak na zeleno ili korištenje tehnologija koje su dobre za okoliš jedan je od mnogih načina na koje zemlje traže kako bi potakle gospodarski rast i poboljšale živote svojih građana. Zelena tehnologija koristi obnovljive prirodne resurse koji se nikada ne iscrpljuju te nove i inovativne tehnike proizvodnje energije. [26]

Zelena nanotehnologija koja koristi zeleni inženjering i zelenu kemiju te je jedna od najnovijih zelenih tehnologija. Jedan od važnih čimbenika onečišćenja okoliša je odlaganje otpada. Zelena tehnologija ima odgovore i na to. Može učinkovito promijeniti uzorak otpada i proizvodnju tako da ne šteti planetu i da postane zelena. Među mogućim područjima iz kojih se očekuju te kreacije i rast su; zelena energija, organska poljoprivreda, ekološki prihvatljiv tekstil, zelene građevinske konstrukcije i proizvodnja srodnih proizvoda i materijala za potporu zelenom poslovanju. Osim toga, drugi oblici zelenih tehnologija u području proizvodnje energije primjenjivi su korištenjem solarne energije i fosilnih goriva. Dakle, buduća generacija također može imati koristi od njih bez štete za planet.

Zelena tehnologija pokriva široko područje tehnologija proizvodnje i potrošnje. Usvajanje i korištenje zelenih tehnologija uključuje korištenje ekoloških tehnologija za praćenje i procjenu, sprječavanje i kontrolu onečišćenja te sanaciju i obnovu. Tehnologije praćenja i procjene koriste se za mjerenje i praćenje stanja okoliša, uključujući ispuštanje prirodnih ili antropogenih materijala štetne prirode. Tehnologije prevencije izbjegavaju proizvodnju tvari opasnih po okoliš ili mijenjaju ljudske aktivnosti na način koji smanjuje štetu za okoliš.

Jedan od najpoznatijih primjera zelene tehnologije bila bi solarna ćelija. Solarna ćelija izravno pretvara sunčevu energiju (koja se obično naziva „svjetlost“) u električnu energiju kroz proces fotoelektričnog efekta. Proizvodnja električne energije iz sunčeve energije znači manju potrošnju fosilnih goriva te smanjenje onečišćenja i emisije stakleničkih plinova. Smanjenje i recikliranje plastičnog otpada povoljno je za okoliš. Stoga, moderne boce vode za višekratnu

upotrebu - koje se mogu ponovno puniti također promiču ekološki prihvatljive i zelene tehnologije. [26]

Zelena tehnologija odnosi se na proizvode, opremu ili sustave koji zadovoljavaju sljedeće kriterije:

- Minimizira degradaciju okoliša.
- Ima nultu ili nisku emisiju stakleničkih plinova, sigurna je za korištenje i promiče zdrav i poboljšan okoliš za sve oblike života.
- Čuva korištenje energije i prirodnih resursa.
- Promiče korištenje obnovljivih izvora.
- Zelene tehnologije mogu pomoći u proizvodnji alternativnih goriva, smanjujući tako našu ovisnost o konvencionalnim fosilnim gorivima.
- Zelene tehnologije mogu zaštititi i očuvati okoliš te su dugoročno održive.
- Imaju potencijal otvaranja novih radnih mjesta.

4.4.1. Podjela tehnologija zelenog menadžmenta

Zelene tehnologije imaju dvije glavne kategorije, koje su sljedeće:

- Oni koji se namjeravaju nositi s globalnim zatopljenjem bilo smanjenjem emisija stakleničkih plinova ili alternativno njegovim potencijalnim štetnim učincima na planet.
- Tehnologije koje su povezane s uspostavljanjem ekonomskog "održivog rasta" koji uključuje recikliranje, smanjenje resursa i aspekte bioznanosti.

4.4.2. Ciljevi zelenog menadžmenta

Važni ciljevi zelene tehnologije uključuju [26]:

- Konzervativno korištenje prirodnih resursa.
- Razvoj proizvoda koji se mogu ponovno koristiti ili reciklirati.
- Donošenje promjene u obrascu proizvodnje kako bi se smanjio otpad i onečišćenje.
- Pronalaženje alternativa praksama koje negativno utječu na okoliš i ljude.

4.4.3. Područja primjene zelenih tehnologija

Najčešće primjene zelenih tehnologija [26]:

1. Energija

- Bilo je vremena kada ljudi jedva da su razmišljali o solarnim panelima umjesto električnih grijača i štednjaka. Ali danas se scenarij dosta promijenio. Tehnologije zelenih goriva doživjele su mnogo optimizacije što ih je učinilo izvedivim rješenjem za većinu energetske potrebe. Ljude privlače takva rješenja za alternativna goriva jer su mnogo čišća od konvencionalnih goriva poput benzina, dizela i prirodnog plina.

2. Zelena gradnja

- Zelena tehnologija pomaže u smanjenju emisija, čuva vodu, smanjuje otpad i troši manje energije od konvencionalnih tehnologija. Zelene zgrade također koriste materijale na učinkovitiji način. Tijekom 20 godina, jedan solarni bojler može zadržati više od 50 tona emisija CO₂ izvan atmosfere. Geotermalne crpke smanjuju emisije do 70 % i troše do 50 % manje električne energije.

3. Ekološki preferirana kupnja

- Državna inovacija uključuje potragu za proizvodima čiji sadržaj i metode proizvodnje imaju najmanji mogući utjecaj na okoliš i nalaže da to budu poželjni proizvodi za državnu nabavu.

4. Zelena kemija

- Izum, dizajn i primjena kemijskih proizvoda i procesa za smanjenje ili uklanjanje upotrebe i stvaranja opasnih tvari spadaju u djelokrug zelene kemije.

5. Zelena nanotehnologija

- Zelena nanotehnologija proučava načine na koje nanotehnologija može koristiti okolišu, kao što je korištenje manje energije tijekom proizvodnog procesa, mogućnost recikliranja proizvoda nakon upotrebe i korištenje ekološki prihvatljivih materijala. Pomaže u pružanju čiste vode milijardama ljudi putem novih tehnika filtracije i sposobnosti dekontaminacije prljave vode.
- Rješavanje problema učinkovitosti kako bi se povećala upotreba obnovljive energije.
- Gospodarenje otpadom i sanaciju okoliša itd.

6. Pročišćavanje otpadnih voda

- Korištenje zelene tehnologije čini vodne resurse manje onečišćenim. Omogućit će korištenje reciklirane vode u različite svrhe.

7. Transport

- *Željeznički prijevoz* je prirodno zelen način prijevoza. Međutim, može se učiniti još zelenijom uvođenjem drugih obnovljivih izvora energije/manje potrošnje energije. Indijske željeznice poduzele su inicijativu za uvođenje optimalnog sustava upravljanja svjetlom kojim se kontrolira svjetlosna opterećenja svih vrsta. Započeta je i naknadna ugradnja LED svjetala u vagone, što može uštedjeti do 40% svjetla.
- *Električna vozila*: Sve veća ponuda električnih vozila koja se smatraju budućnošću transporta.



Slika 13. Najpoznatiji proizvođač električnih vozila – Tesla [50]

8. Poljoprivreda:

- Ekološka poljoprivreda je alternativni poljoprivredni sustav koji se oslanja na gnojiva organskog podrijetla kao što su kompost, stajski gnoj, zelena gnojidba itd. Uključene prakse su plodored i popratna sadnja. Također se potiče biološka kontrola štetočina, miješani usjev i udomljavanje insekata grabežljivaca. Dopusnjeni su prirodni pesticidi kao što su piretrin i rotenon, dok su sintetička gnojiva i pesticidi zabranjeni.

Primjena zelene tehnologije u ovim područjima može smanjiti stres na prirodne resurse, gospodarstvo, kao i na okoliš. To će igrati važnu ulogu u održavanju ekološke ravnoteže. Smanjenje onečišćenja može spriječiti globalno zatopljenje i efekte staklenika. Bit će malo pojava prirodnih nepogoda, a vrijeme će postati predvidljivije. Zelena kemija osigurava kemijske proizvode koji su sigurni za okoliš. Zdravstveni problemi zbog zagađenja će se smanjiti. Svijet će biti bolje mjesto za sva živa bića. [26]

4.4.4. Prednosti i mane zelenih tehnologija

Prednosti:

1. Ne ispušta ništa štetno u zrak.
2. Može donijeti ekonomske koristi određenim područjima.
3. Zahtijeva manje održavanja, tako da ne morate izdvojiti puno novca za rad.
4. Obnovljiv, tj. nikad ga neće ponestati.
5. Može usporiti učinke globalnog zatopljenja smanjenjem emisije CO₂.

Mane:

1. Visoki troškovi provedbe.
2. Nedostatak informacija.
3. Manje poznate alternativne kemikalije ili ulazne sirovine.
4. Manje poznate alternativne procesne tehnologije.
5. Nesigurnost u pogledu učinaka na performanse.
6. Nedostatak ljudskih resursa i vještina.

Promicanje zelenog rasta zahtijeva identificiranje i uklanjanje ovih prepreka koje ometaju širenje čiste tehnologije velikih razmjera kod zemlja u razvoju, posebno kod najmanje razvijenih zemlja i malih otočnih države u razvoju.

4.5. Tehnika kontrole onečišćenja

Neke od tehnika koje se koriste za kontrolu onečišćenja su: [27]

1. Izgaranje

- Ova metoda se primjenjuje kada su zagađivači organski plinovi ili pare. Organski zagađivači zraka izloženi su plamenu ili katalitičkom izgaranju kada se pretvore u manje štetni proizvod ugljični dioksid i proizvodnu vodu.

2. Apsorpcija

- Zagađeni zrak koji sadrži plinovite onečišćujuće tvari prolazi kroz čistač koji nosi odgovarajući tekući apsorber, koji apsorbira štetne plinovite onečišćujuće tvari prisutne u zraku.

3. Adsorpcija

- Kod ove tehnike zagađeni zrak prolazi kroz porozne čvrste adsorbente koji se drže u odgovarajućim posudama. Plinoviti zagađivači se adsorbiraju na površini porozne krutine, a čisti zrak prolazi kroz nju.

4. Sredstva za kontrolu emisija čestica

- Zagađenje zraka uzrokovano česticama poput prašine, čađe, pepela itd. može se kontrolirati korištenjem filtera od tkanine, mokrih perača, elektrostatičkih filtera i određenih mehaničkih uređaja koji rade na temelju sljedećeg:

a) Gravitacija

- U ovom procesu, čestice se talože djelovanjem gravitacijske sile i uklanjaju se.

b) Brza promjena smjera strujanja zraka

- To dovodi do odvajanja čestica zbog veće količine gibanja.

c) Filteri od tkanine

- Čestice prolaze kroz porozni medij napravljen od tkanih ili punjenih tkanina. Čestice prisutne u onečišćenom zraku se filtriraju i skupljaju u platnenim filterima, dok se plinovi ispuštaju. Proces kontrole onečišćenja zraka korištenjem filtera od tkanine nazivaju se "filtriranje vrećicama"

d) *Mokri čistači*

- Koriste se za hvatanje SO₂, NH₃ i metalnih para na način prolaska pare kroz vodu.

e) *Elektrostatički precipitatori*

- Kada se zagađeni zrak koji sadrži čestice onečišćujućih tvari propušta kroz elektrostatički precipitator, on inducira električni naboj na česticama, a zatim se čestice aerosola talože na elektrodama.

4.6. Hvatanje i skladištenje ugljika

Hvatanje i skladištenje ugljika (Carbon capture and storage, CCS) je tehnologija koja je navodno sposobna uhvatiti do 90 % emisija CO₂ proizvedenih sagorijevanjem fosilnih goriva za proizvodnju električne energije, kao i onih koje se koriste u industrijskim procesima, te spriječiti onečišćenje atmosfere.

Elektrane na fosilna goriva mogu se graditi s već integriranom tehnologijom ili se također mogu kombinirati s obnovljivom biomasom kako bi se stvorio "uglični negativan" način rada koji ide korak dalje tako što se zapravo uklanja CO₂ s planeta.

Global CCS institut kaže da je trenutno u funkciji 18 velikih CCS objekata, a još pet je u izgradnji. Neka skladišta ugljika datiraju unazad nekoliko desetljeća, kao što je projekt Sleipner u Sjevernom moru, dok su drugi još uvijek u izgradnji, poput projekta Gorgon u zapadnoj Australiji.

Prvo, CCS uključuje hvatanje CO₂, prije nego što se transportira kako bi se pohranio u geološke formacije stijena tisućama metara ispod površine Zemlje.

Početni dio procesa uključuje odvajanje CO₂ od plinova proizvedenih u proizvodnji električne energije i industrijskim procesima, kao što je proizvodnja cementa ili čelika, hvatanjem prije izgaranja, hvatanjem nakon izgaranja ili izgaranjem kisika.

Zagađivač se tada transportira bilo cjevovodom ili brodom na isti način na koji se milijuni tona CO₂ transportiraju svake godine u različite komercijalne svrhe, uglavnom u zemljama poput SAD-a. Zatim se pohranjuje u osiromašenim poljima nafte i plina ili dubokim slanim formacijama vodonosnika, za koje Međuvladin panel za klimatske promjene (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) kaže da mogu zadržati 99 % onečišćujuće tvari tijekom razdoblja od 1000 godina.

4.6.1. Prikaz globalnih emisija CO₂

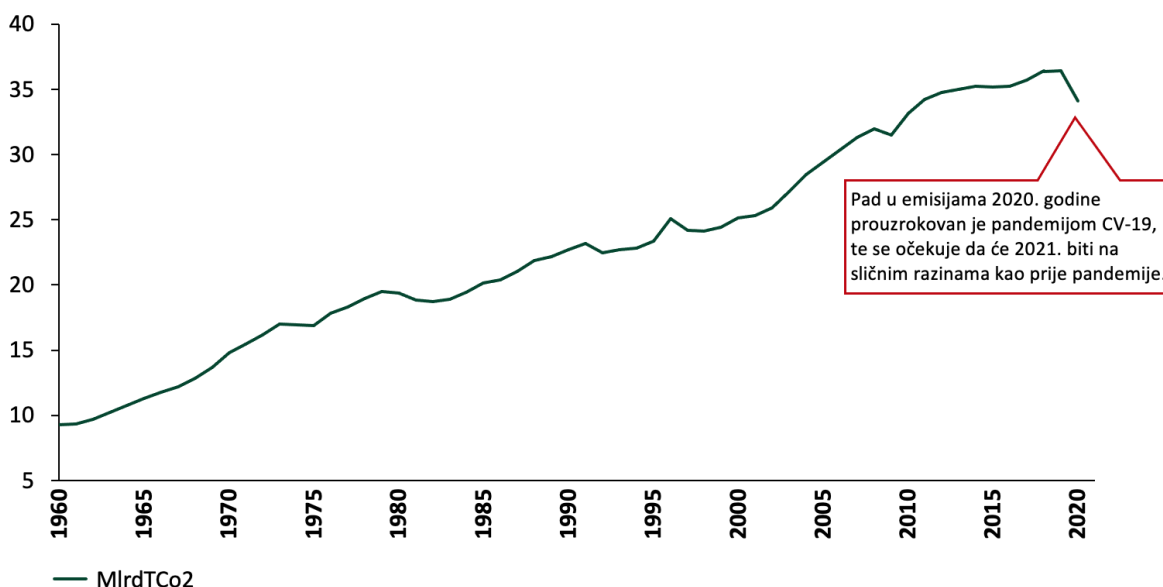
Globalne razine emisija CO₂ su u dugotrajnom porastu, uz kratki pad 2020. godine uzrokovan pandemijom COVID-19. [28]

Dok svi staklenički plinovi pridonose globalnom zatopljenju, **CO₂, kao najzastupljeniji staklenički plin**, se smatra **vodećim klimatskim problemom**.

CO₂ se emitira kroz:

- Spaljivanje fosilnih goriva (ugljen, prirodni plin, sirova ili rafinirana nafta) za proizvodnju električne energije i topline ili za transportne svrhe.
- Proizvodnju cementa (pretvorba iz vapnenca ili kalcijevog karbonata u vapno ili kalcijev oksid oslobađa CO₂).
- Aktivnosti raznih drugih industrija.

Kako bi se spriječile daljnje negativne posljedice, potrebno je značajno smanjiti količinu štetnih emisija CO₂ koje se ispuštaju u atmosferu [28].



Slika 14. Globalne emisije CO₂ (2000. – 2020., mlrd. tona)

Slika 14 prikazuje globalne emisije CO₂ od 2000. do 2020. godine te je mjerna jedinica – milijarde tona.

4.6.2. Pregled CCS koncepta

Pregled razvoja tehnologije tijekom godina. [29]

- 1920. godine tehnologija hvatanja CO₂ koristila se za odvajanje CO₂ (koji se ponekad nalazi u rezervoarima prirodnog plina) od metana.
- 1972. CO₂ uhvaćen iz tvornice za preradu plina Terrell u Teksasu transportiran je cijevovodom do obližnjeg naftnog polja i ubrizgan kako bi se poboljšala proizvodnja nafte, u procesu poznatom kao Enhanced Oil Recovery (EOR).
- 1996. Sleipner skladište ugljičnog dioksida na obali Norveške postaje operativno. Ovo postrojenje predstavlja prvi projekt geološke pohrane CO₂ na svijetu. Godišnje se u skladište ubrizgava otprilike 0,85 milijuna tona CO₂.
- 2017. Tvrtka Climeworks otvorila je prvi svjetski komercijalni projekt za filtriranje CO₂ iz okolnog zraka u Hinwilu (direct air capture). Postrojenje se sastoji se od 18 modula za filtriranje, koji godišnje uhvate 900 tona CO₂.

U tijeku su pokušaji ograničavanja i smanjenja emisija CO₂, kao i pokušaji sakupljanja i sekvestracije CO₂ iz atmosfere. Međutim, kemijska pretvorba i fiksacija CO₂ ima ograničenu primjenu za masovnu upotrebu. Stoga je dugoročno geološko skladištenje najizgledniji i najpraktičniji način za smanjenje globalnih razina CO₂ u Zemljinoj atmosferi.

Sadašnja tehnologija hvatanja i skladištenja ugljika može uhvatiti preko 90% emisija ugljičnog dioksida (CO₂) iz elektrana i industrijskih objekata.

Uhvaćeni ugljični dioksid može se pohraniti u podzemne geološke formacije i time ga trajno spriječiti od ulaska u atmosferu, ili se može upotrijebiti za ekstrakciju nafte, proizvodnju goriva, građevinskog materijala i drugo, čime te industrije postaju ugljično neutralne.

CCS tehnologija može pomoći pri smanjenju u globalnim emisijama stakleničkih plinova, te na efektivan i praktičan način postiže dekarbonizaciju u industrijskom sektoru. [29]

4.6.3. Pregled industrijskih emisija CO₂ (2019. mlrd. tona)

Industrije koje su najveći zagađivači ispuštaju CO₂ kao nusprodukt svojih proizvodnih procesa – te emisije se ne mogu ukloniti prebacivanjem na obnovljive izvore energije.

U sektoru metalurgije, CO₂ se emitira potrošnjom ugljena ili prirodnog plina koji djeluju kao redukcijski agens u DRI (Direct Reduced Iron) procesu, potrebnom za preradu željezne rude.

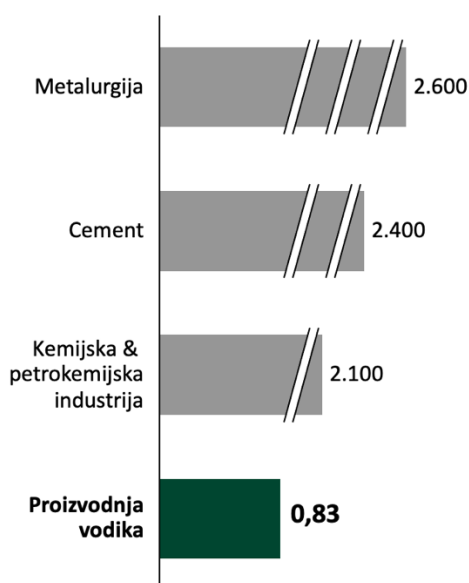
Zbog potrebe korištenja ugljena ili plina u proizvodnom procesu, obnovljivi izvori energije mogu smanjiti energetske potrebe postrojenja, dok CCS tehnologija ima potencijal hvatati emisije nastale proizvodnim procesima.

Zbog proizvedenog volumena cementa u kombinaciji s karakteristikama proizvodnog procesa, cementna industrija jedan je od glavnih izvora emisija CO₂. Procesne emisije čine oko 65 % emisija CO₂, dok je za ostatak odgovorno izgaranje goriva. S obzirom na gore navedeno, korištenje obnovljivih izvora energije neće biti dovoljno za "čišćenje" cementne industrije, već je potrebno i hvatanja emisija nastalih u procesu proizvodnje, gdje CCS tehnologije pokazuje visok potencijal.

Kemijska i petrokemijska industrija treći je najveći industrijski izvor emisije CO₂.

Energetski intenzitet proizvodnje značajno varira od proizvoda do proizvoda, s obzirom na različite proizvodne procese.

Fosilna goriva koja se koriste kao sirovina teško je zamijeniti obnovljivim izvorima energije, što otvara mogućnost za korištenje CCS tehnologije za "čišćenje" industrije. [30]



Slika 15. Pregled industrijskih emisija CO₂

Slika 15. prikazuje pregled emisija CO₂ po industrijama. Proizvodnja vodika zahtjeva veliku količinu energije – ako energija dolazi od fosilnih goriva, njihovo izgaranje oslobađa veliku količinu CO₂ u atmosferu. Zbog ovoga, proizvodnja plavog vodika dobiva na važnosti – korištenje CCS tehnologije kako bi se zarobile CO₂ emisije i proizveo „čisti” vodik.

Drugim riječima, CCS tehnologija se može koristiti u čišćenju industrije vodika, koja dobiva na važnosti.

4.6.4. Proces hvatanja i skladištenja CO₂

Pojednostavljeni proces hvatanja i skladištenja CO₂ sastoji se od sljedećih koraka:

1. Hvatanje CO₂

- CO₂ se hvata iz industrijskih emisija ili direktno iz zraka (više informacija na koristeći posebne filtere.
- CO₂ se zatim izolira i transformira za transport.

2. Transport CO₂

- Uhvaćeni CO₂ se transportira pomoću cjevovoda, brodova, kamiona ili željeznica do mjesta skladištenja.

3. Trajno skladištenje CO₂

- CO₂ se trajno skladišti u podzemnim spremištima (iscrpljena naftno/plinska polja, akviferi, naslage ugljena, bazalt/ultramafične stijene).

4. Uporaba CO₂

- Alternativno, uhvaćeni CO₂ se može koristiti za industrijske svrhe.

4.6.5. Sustavi hvatanja ugljikovog dioksida

Postoji nekoliko sustava hvatanja CO₂ te se mogu podijeliti u sljedeće četiri kategorije:

1. Hvatanje prije izgaranja

- Sustavi prije izgaranja, koje osiguravaju proizvodne tvrtke kao što je britanska inženjerska tvrtka Costain, pretvaraju kruto, tekuće ili plinovito gorivo u mješavinu vodika i CO₂ koristeći procese kao što su "plinifikacija" ili "reformiranje". To se zatim može koristiti za pogon proizvodnje električne energije, a CCSA tvrdi da će u budućnosti moći pokretati vozila i grijati, uz iznimno niske emisije.
- CO₂ se odvaja iz ugljičnog goriva u procesu rasplinjavanja i reformiranja pri kojem nastaje sintetski plin (syngas), koji se uglavnom sastoji od vodika (H₂), ugljičnog monoksida i CO₂.
- Sintetski plin se koristi za pogon plinske turbine za proizvodnju električne energije, a rekuperirana toplina koristi se za proizvodnju pare koja pokreće parnu turbinu za proizvodnju električne energije.

2. Hvatanje nakon izgaranja

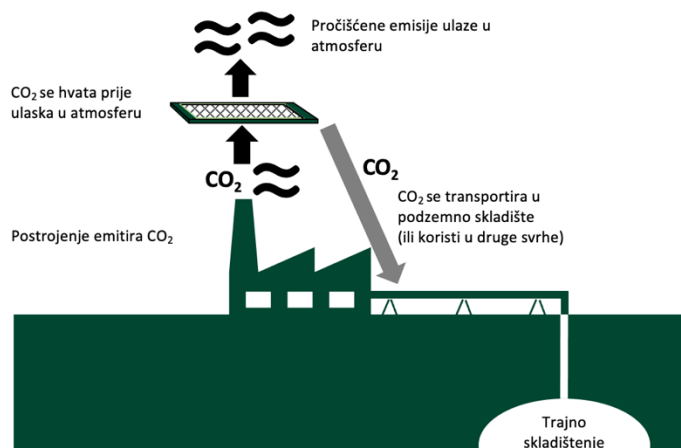
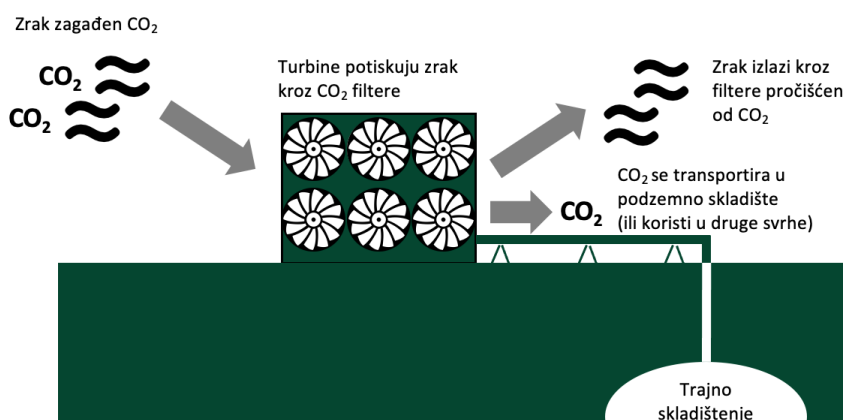
- Hvatanje nakon izgaranja uključuje hvatanje CO₂ iz ispušnih plinova sustava za izgaranje i njegovu apsorpciju u otapalo, prije uklanjanja i komprimiranja zagađujućih elemenata..
- CO₂ se također može odvojiti pomoću visokotlačne membranske filtracije, kao i procesa kriogenog odvajanja.
- Izazovi: odvajanje CO₂ od velikih količina dušika u dimnom plinu – u plinskim elektranama s kombiniranim ciklusom volumna koncentracija CO₂ u dimnom plinu je oko 4 %, a u ugljenom loženim termoelektranama 12 – 15 %.

3. Izgaranje u kisiku

- Izgaranje fosilnih goriva u gotovo čistom kisiku izdvojenom iz zraka, tako da se dimni plin sastoji od gotovo čistog CO₂.
- To stvara atmosferu punu kisika i dušika s dimnim plinovima koji se sastoje od CO₂ i vode, što omogućuje lakše pročišćavanje.
- Izazovi: kapitalni troškovi, potrošnja energije i operativna kompleksnost izdvajanja kisika.

4. Allam - Fetvedt ciklus

- Modificirani ciklus izgaranja u kisiku u kojemu se dodatno koristi recirkulacija superkritičnog CO₂.
- Visoka djelotvornost procesa (59 % u usporedbi sa 62 % najdjelotvornijih plinskih turbina s kombiniranim ciklusom bez hvatanja CO₂).

Slika 16. Hvatanja CO₂ iz pojedinačnih postrojenjaSlika 17. Hvatanje CO₂ iz zraka – direct air capture

CCS tehnologija se može koristiti za hvatanje ugljika iz emisija pojedinih postrojenja što je prikazano na slici 16., ili za hvatanje ugljika direktno iz zraka kao što je vidljivo na slici 17.

4.6.6. Skladištenje ugljikovog dioksida

CO₂ se može skladištiti u 4 glavne kategorije geoloških formacija [31]:

1. Iscrpljena naftna i plinska polja

- Porozna ležišta na niskom tlaku mogu spremati CO₂ u strukturne ili stratigrafske zamke bez rizika pretlačivanja.
- Izazov: mehanički integritet postojećih (starih) bušotina.

2. Duboki slani akviferi

- Ogromne otvorene strukture u kojima se CO₂ može polagano širiti prema gore sve do dosizanja nepropusnih pokrovnih stijena. CO₂ se tijekom migracije hidrodinamički zarobljava u mikroskopskim porama stijene.
- Izazov: visok tlak utiskivanja.

3. Naslage ugljena

- Naslage ugljena sadrže frakture koje im uvelike povećavaju propusnost i omogućuju da CO₂ migrira kroz žile ugljena i bude fizički adsorbiran u mikroporama ugljena.
- Izazov: u RH nema velikih stijenskih volumena ugljena pogodnih za skladištenje CO₂.

4. Bazalt / ultramafitne stijene

- Bazalt i ultramafične stijene zadržavaju CO₂ tako da on kemijski reagira s mineralima prisutnim u porama te nakon nekog vremena replicira prirodnu kristalizaciju (npr, kalcita).

4.6.7. Iskorištavanje pohranjenog ugljikovog dioksida

Uz skladištenje, CO₂ se može i koristiti u industrijske svrhe, što bi stvaralo nove prihode i umanjilo financijski utjecaj CCS tehnologije.

Pregled primjena za CO₂ (ne-sveobuhvatan): [31]

- CO₂ se može koristiti za EOR (Enhanced Oil Recovery) - utiskivanje CO₂ i vode u djelomično iscrpljena zrela naftna ležišta, gdje se fizikalnim i kemijskim mehanizmima povećava proizvodnja nafte i ostvaruje dodatni iscrpak iz ležišta.
- CO₂ se može ubrizgavati u beton za vrijeme miješanja i tako se trajno skladištiti. CO₂ se u betonu mineralizira, te pojačava tlačnu čvrstoću betona.
- CO₂ se može koristiti kao input za proizvodnju polimera i drugih kemijski proizvoda, kao što su polietilen, polipropilen, ugljična vlakna itd.
- CO₂ se može koristiti pri proizvodnji goriva kao što su metan, metanol, benzin i zrakoplovna goriva.
- CO₂ se može koristiti pri proizvodnji gaziranih pića, izvlačenju kofeina iz zrna kave te hlađenju prehrambenih proizvoda.

S obzirom na širok spektar primjena za CO₂, otvorena je mogućnost uspostave sekundarnog tržišta za CO₂. Prodaja se može odvijati direktno (Business-to-business, B2B) i/ili kroz uspostavu centralne burze za trgovanje CO₂. Opisana komercijalizacija CO₂ stvarala bi dodatne prihode za postrojenja koje hvata CO₂, bez ometanja rada CCS sustava.

4.6.8. *Primjeri CCS projekata u svijetu*

CCS tehnologija uglavnom je fokusirana u visokorazvijenim državama koje podržavaju proces dekarbonizacije odgovarajućom regulativom.

U SAD-u se nalazi većina CCS projekata i postrojenja – jedan od razloga za ovo je regulatorno okruženje koje potiče CCS, uglavnom u obliku poreznih olakšica.

Nakon SAD-a, po broju postrojenja slijede Europa i Azija. Broj postrojenja u bliskom istoku je u porastu, gdje se zarobljeni CO₂ uglavnom koristi za EOR. [32]



Slika 18. Globalni prikaz CCS postrojenja [32]

Na slici 18 su prikazane lokacije CCS postrojenja u svijetu.

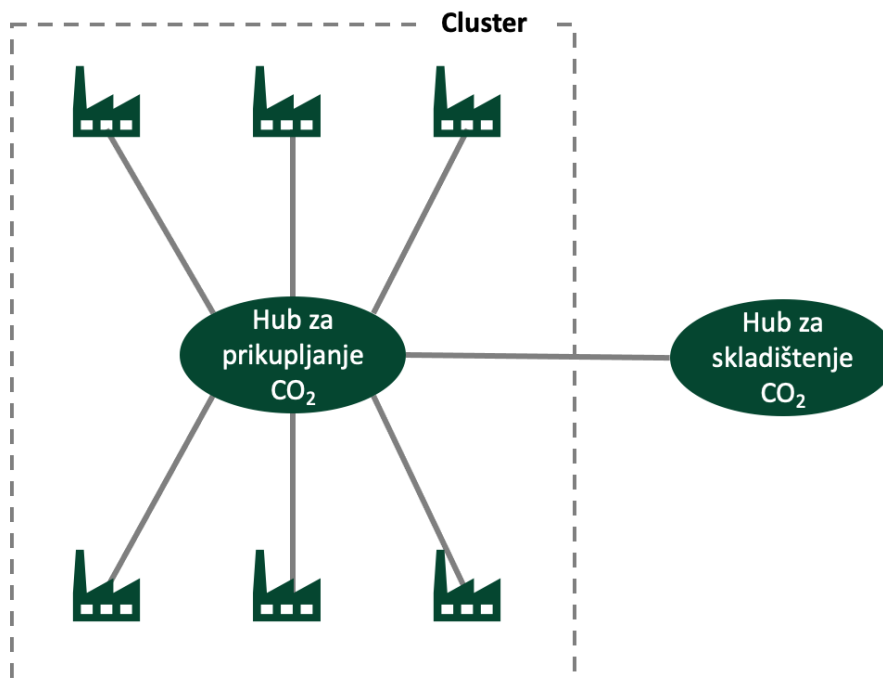
Postaje učestalije grupiranje CCS tehnologije i infrastrukture u cluster i hubove, radi nižih troškovima po pojedinom postrojenju. [32]

Clusteri:

- Manjim industrijskim postrojenjima nije ekonomski isplativo uložiti u cijeli CCS lanac (hvatanje, transformacija, transport, skladištenje), ali veći broj tih manjih postrojenja zajedno emitira velike količine CO₂.
- Rješenje – stvaranje clustera u kojem veći broj manjih postrojenja dijeli CCS infrastrukturu i povezane troškove.
- Stvaranje clustera omogućuje i manjim postrojenjima prednosti CCS tehnologije, dok je trošak investicije u potrebnu infrastrukturu značajno manji za svako pojedinačno postrojenje.

Hubovi:

- Hubovi predstavljaju centralnu točku za prikupljanje ili transport CO₂.
- Hubovi mogu biti na mjestu hvatanja ili skladištenja CO₂ - Hub na mjestu hvatanja prikuplja uhvaćeni CO₂ iz svih postrojenja jednog clustera, te ga zatim transportira do huba na mjestu skladištenja



Slika 19. Ilustrativni prikaz clustera i hubova za CCS

Primjeri provedenih CCS projekata:**1. SaskPower [53]**

- SaskPower je energetska tvrtka provincije Saskatchewan.
- Ovaj projekt predstavlja prvu veću CCS elektranu na svijetu, te je demonstrirao kako je moguće koristiti CCS tehnologiju za proizvodnju čiste energije iz fosilnih goriva.



Slika 20. Prikaz poduzeća SaskPower [51]

2. Caledonia Clean Energy Project

- U tijeku je razvoj projekta implementacije CCS tehnologije u termoelektranu na prirodni plin u Škotskoj.
- Predloženi projekt sakupljao bi CO₂ iz emisija termoelektrane, te ga kombinacijom postojećih i planiranih cjevovoda transportirao do akvifera u Sjevernom Moru.
- Planira se puštanje postrojenja u pogon u 2025.

3. Drax BECCUS

- Drax Group je britanska tvrtka za obnovljive izvore energije.
- Drax Group želi implementirati CCS tehnologiju u svoju postojeću elektranu na biomasu u Sjevernom Yorkshireu. Elektranu bi tako postala jedno od prvih postrojenja za hvatanje i skladištenje bioenergije ugljika (BECCUS) u Europi i proizvodila bi negativne emisije ugljika.

- Projekt je trenutno u drugoj pilot fazi, koja prikuplja do 300 kg CO₂ dnevno, s ciljem 8 MtCO₂ godišnje do 2024. godine i 50 MtCO₂ godišnje do 2050. godine.

4. Climeworks – Orca

- Climeworks je švicarska tvrtka specijalizirana za direct air capture tehnologiju. Njeno postrojenje Orca nalazi se na Islandu, u blizini geotermalne elektrane Hellisheidi, i u potpunosti radi na ovoj obnovljivoj energiji. Orca je najveće direct air capture postrojenje na svijetu, te ima kapacitet svake godine ukloniti 4.000 tona CO₂ iz atmosfere - ekvivalent emisija iz 870 automobila ili 9.281 barela nafte. [52]
- Od 16 postrojenja koje je Climeworks izgradio diljem Europe, Orca je jedino koja trajno skladišti CO₂ umjesto da ga upotrebljuje za druge svrhe.



Slika 21. Prikaz tehnologije hvatanja CO₂ direktno iz zraka – Island [52]

5. Ravenna Hub

- ENI planira izgraditi prvo CCS postrojenje u Italiji sa sjedištem na sjeveroistoku Italije u gradu Ravenna. Spremišta će biti u podmorskim iscrpljenim ležištima plina lociranim u Jadranskom moru uz obalu Ravenne. Ukupni skladišni resursi procjenjuju se na 500 milijuna tona, što omogućava kasniji razvoj povećanja skladišnih kapaciteta na više od 10 milijuna tona godišnje. Planira se da će postrojenje postati potpuno operativno do 2026.

5. Koncept Zelenog vitkog menadžmenta u procesnoj industriji

Lean Manufacturing je ukorijenjen u praksi koje japanske tvrtke koriste kako bi ispitale svoje procese, identificirale što uistinu dodaje vrijednost za kupce i eliminirale sve što ne dodaje vrijednost. Osim toga, tvrtke imaju slobodu definirati vlastita Lean putovanja.

Lean proizvodnja fokusira se na eliminaciju otpada tijekom proizvodnih ciklusa kombiniranjem skupova alata za poboljšanje i promjene kulture među zaposlenicima. Prakticiranjem Lean proizvodnje, tvrtke mogu učinkovito skratiti vrijeme proizvodnje, eliminirati nepotrebne zalihe, održati najvišu kvalitetu proizvodnje, minimizirati nedovoljnu iskorištenost osoblja i poboljšati autonomiju među proizvodnim timovima. Zauzvrat, tvrtka ostvaruje bolji povrat ulaganja.

Koliko god bilo impresivno, malo tvrtki implementira programe Lean proizvodnje na pravi način. Nekoliko poteškoća koči uspjeh ovih programa, od logističkih izazova i izazova planiranja do problema ponašanja. Neki uobičajeni izazovi s kojima se tvrtke suočavaju prilikom implementacije Lean proizvodnje su:

- Nedostatak podrške višeg menadžmenta.
- Nedovoljna obuka osoblja, ograničena radna snaga i nedostatak odgovarajućih alata.
- Neuspjeh u praćenju napretka (nedovoljni podaci o izvedbi).
- Implementacija nekoliko promjena odjednom.
- Poteškoće u zamjeni ustaljenih radnih praksi (kultura).

Tvrtke često tretiraju Lean implementaciju kao projekt umjesto kao strategiju. Ambicija za postizanjem rezultata trenutačno tjera tvrtke na transformaciju nekoliko poslovnih operacija odjednom, što dovodi do sukoba u rasporedu i operativnih uskih grla. Tretiranje procesa implementacije kao dugoročne poslovne strategije povećava šanse za uspjeh i oprema organizaciju alatima za procjenu napretka.

Prilikom prijelaza na Lean proizvodnju, tvrtka treba osmisliti solidan plan koji će zadovoljiti raspodjelu resursa, menadžerske promjene, komunikacijske protokole, ključne pokazatelje uspješnosti i jasnu viziju poslovanja. Plan provedbe trebao bi biti sveobuhvatan, s pojedinostima o odgovornostima i kriterijima ocjenjivanja kako bi se pratio učinak svakog zaposlenika.

Uspostavljanje plana provedbe poboljšava operativnu dosljednost u svim odjelima. Omogućuje tvrtki da identificira operacije koje zahtijevaju trenutnu i intenzivnu raspodjelu resursa. Tvrtka

može definirati prekretnice i odgovarajuće vremenske okvire za njegovu provedbu – tako tvrtka postavlja smjernice za transformaciju korak po korak i identificira pojedince koji će predvoditi transformaciju.

5.1. Preduvjetni koraci implementacije Leana

Sljedeća dva koraka ključni za izgradnju temelja uspješne Lean implementacije.

Ovdje su ciljevi:

- Ublažiti rizik postepenom implementacijom.
- Uvođenje Lean kulture u poduzeće.

1. Postepeno implementiranje

- Započeti Lean implementaciju s jednim timom.
- Počevši od malog, ublažava rizike povezane s neuspješnom implementacijom. Korištenjem postupnog pristupa uvođenja Leana, minimiziraju se poremećaji te se lakše povećava implementacija širenjem na poslovanja.
- Rijetko postoji dovoljno obučenih i dovoljno iskusnih ljudi da pravilno procijenite prelazak velike tvrtke na Lean.
- Promjena potencijalno može imati negativne kratkoročne posljedice, a postupno uvođenje omogućit će pravilno razumijevanje tih učinaka.
- Iako postoje, veliki globalni naponi implementacije općenito ne uspijevaju toliko koliko postupne implementacije.

2. Promjenu kulture na svim razinama organizacije

- Jedna od najvećih prijetnji uspjehu programa Lean proizvodnje je otpor kulturoloških promjena od strane zaposlenika. Tvrtke često postavljaju voditelje programa koji predvode transformacije na svojim radnim stanicama. Među zaposlenicima su pojedinci koji nikada nisu otvoreni za promjene. Drugi nisu sigurni u kojem smjeru ići i čekaju samo glas mase. Otpor promjeni kulture nije ograničen samo na zaposlenike u proizvodnom pogonu. Neki se najviši rukovoditelji također mogu oduprijeti promjeni kulture iz straha od gubitka posla.

- Tijekom rane faze implementacije programa Lean proizvodnje, tvrtke se često usredotočuju na radne alate. Utjecaj ovih alata je slab sve dok zaposlenici ne cijene nadolazeće kulturne promjene. Svaki novi program trebao bi biti prihvaćen od strane najviših, srednjih i mlađih zaposlenika. Tvrtka zaposlenicima treba priopćiti prednosti programa Lean proizvodnje, kao i utjecaj na tijek rada. Voditelji programa moraju razviti strategije za nagrađivanje voditelja implementacije kako bi privukli više sudionika.

5.2. Koraci implementacije

Koraci implementacije te sami alati koji se implementiraju u poduzeća variraju od poduzeća do poduzeća, ali postoje osnovni koraci i alati koje svako poduzeće mora provesti prilikom implementacije Leana.

Koraci od kojih se sastoji implementacija su sljedeći:

1. Prepoznavanje vrijednosti i otpada

- Nakon pripreme tvrtke za Lean, sam proces implementacije mora započeti ispravnim prepoznavanjem aktivnosti koje dodaju vrijednost od onih koje su rasipničke.
- Potrebno je vizualizirati kako vrijednost (i otpad) dolazi do kupca kroz sljedeće:
 - *Karta toka vrijednosti sadašnjeg stanja* (Present State Value Stream Map, PSVSM)
 - PSVSM ocrta operacije kakve su u poduzeću prije implementacije Leana, a pokazat će i aktivnosti koje dodaju vrijednost i rasipajuće aktivnosti.
 - *Karta budućeg stanja vrijednosti* (Future State Value Stream Map, FSVSM)
 - FSVSM definira gdje želimo da budu operacije u budućnosti kao rezultat implementacije Leana. Potrebno je dizajnirati svoj FSVSM tako da isporučuje samo vrijednost; otpadni procesi moraju biti eliminirani do ovog trenutka.
- Svrha ove aktivnosti je razumjeti tijek rada novog proizvodnog procesa. Bilježe se sve nove aktivnosti u Lean-u, kao i identificira otpad, skraćuje vrijeme ciklusa i provodi nova poboljšanja.

- Prije same izrade VSM mape potrebno je provesti standardizaciju procesa kako bi sve aktivnosti u procesu bile jasno strukturirane, kako bi njihova vremena bila jasno određena te kako bi svi radnici točno znali kako provoditi procese.

2. Praćenje izvedbe (Ključni pokazatelji uspješnosti, KPI)

- Potrebno je pratiti izvedbu Lean implementacije.
- Jedna od metoda za to je oslanjanje na analitiku prikupljanjem podataka u svakom koraku procesa. Potrebno je postaviti KPI-jeve i ciljeve kako bi mogli pratiti je li ispunjavamo željene aktivnosti te ima li napretka.
- Što se više procesi prate, veće su šanse spriječiti probleme koji bi inače mogli uzrokovati financijsku ili fizičku štetu.

3. Provedba Lean strategije

- U mapiranju toka vrijednosti trebalo bi postojati objašnjenje kako:
 - Sinkronizirati ponudu proizvoda sa zahtjevima kupaca bez prekomjerne proizvodnje ili prekomjernog zaliha.
 - Sinkronizirati proizvodne procese učinkovitom podjelom posla u tijeku kako bi dovršili sve narudžbe uz minimalno vrijeme isporuke.
 - Stvoriti novi tijek proizvodnje smanjenjem zaliha, udaljenosti svake stanice, kvarova i nepotrebnih aktivnosti.
 - Implementirati sustav pull-demand gdje proizvodnja počinje ako postoji narudžba. Ovaj sustav pomaže smanjiti troškove, optimizirati zalihe i uštedjeti prostor za pohranu.
 - Tijekom implementacije koristiti ERP sustav za proizvodnju koji daje informacije o izvedbi zaliha, strojevima, WIP-u, trajanju proizvodnje u stvarnom vremenu. Ovaj sustav također pomaže u implementaciji sustava povlačenja i potražnje tako što pojednostavljuje upravljanje narudžbama i planiranje proizvodnje.
- Organiziranje pomoću **5S** alata
 - Načela 5S dokazana su u održavanju učinkovitog rada svakog radnog prostora - uključujući urede.
 - Seiri (sortirati)
 - Seiton (urediti)

- Seiso (čistiti)
 - Seiketsu (standardizirati)
 - Shitsuke (održati)
 - Potrebno je provesti 5S kako bi radnici uštedjeli vrijeme na traženju stvari te kako bi postigli veće zadovoljstvo na poslu zbog urednosti prostora. Uredan prostor ključan je za radnika koji radi na tom mjestu.
- **Kanban**
 - Kanban (na japanskom za jumbo plakat ili natpis), alat za praćenje napredovanja procesa. Bilo da se radi o praćenju naručivanja i isporuke dijelova ili gdje su određene komponente montaže u procesu dovršetka (ožičenje, farbanje, obrada itd.), Kanban je vizualan i transparentan način da svi znaju tko je za što zadužen i u kakvom je stanju taj proces.

4. Fokus se na stalna i dugoročna poboljšanja

- Lean načela uključuju koncept kako održati poboljšanje. U ovom koraku treba se pobrinuti da ova poboljšanja budu kontinuirana. Štoviše, tvrtka uvijek treba zadržati fokus na aktivnostima koje donose više vrijednosti i eliminirati one koji to ne čine.
- Nedostatak stručnosti, obuke, upravljanja promjenama, podataka i kupnje čini zadatak implementacije Lean proizvodnje teškim.
- Menadžeri bi trebali biti sposobni dobro voditi. Moraju učiniti da zaposlenici imaju osjećaj da posjeduju svoje zadatke. Potrebno je iskazati povjerenje kako bi radnici mogli najbolje djelovati.

Nakon implementacije osnovnih Lean alata u poduzeće, samo poduzeće je spremno za implementaciju kompliciranijih i dugotrajnijih Lean i Green rješenja.

Navedeni koraci implementacije standardizacije, mapiranja procesa, uvođenja 5S i Kanban alata pomogli su dovesti poduzeće u transparentnije i agilnije stanje u kojem je lakše prepoznati procese koji su ne efikasni te ne donose vrijednosti procesa. Također ovo je faza kada je moguće pregledati procese sa zelene strane. Potrebno je analizirati procese te naći rješenja za procese koji onečišćuju okoliš.

Procesi koji onečišćuju okoliš su najčešće oni koji prilikom provođenja emitiraju ugljikov dioksid.

Određene industrije imaju mogućnost potpune eliminacije CO₂ iz svoje proizvodnje dok s druge strane postoje poduzeća koja nisu u mogućnosti potpuno eliminirati emisije CO₂ pošto su nusprodukt procesa bez kojih sama proizvodnja ne bi bila moguća. Kod tih poduzeća, rješenje ne uključuje eliminaciju CO₂, nego se fokusira na spremanju emitiranog CO₂ te njegovog iskorištavanja u drugim industrijama kako bi profitirali od tih emisija.

Neke od industrija koje se susreću s ovim problemom su industrije proizvodnje:

- Cementa, kemikalija, tekstila, čelika, aluminija te mnoge druge.

Kako bi bilo moguće implementirati rješenja za te emisije, potrebno je detaljno razumijevanje svih procesa te analiziranje mogućnosti uvođenja sprječavanja emisija. Postoje različiti načini spremanja i eliminacije ugljikovog dioksida iz procesa kao što je prethodno spomenuto u metodama hvatanja CO₂ u poglavlju 4.6.5.

Analizom procesa moguće je vidjeti je li potrebno hvatati CO₂ prije ili nakon izgaranja ili izgaranjem u kisiku. Nakon definiranja rješenja, potrebno je provesti analizu tržišta te vidjeti tko proizvodi sama rješenja hvatanja ugljikovog dioksida te tko može to rješenje implementirati u poduzeće.

Redoslijed 10 koraka implementacije Leana i Greena prikazan je na dijagramu na slici 22.

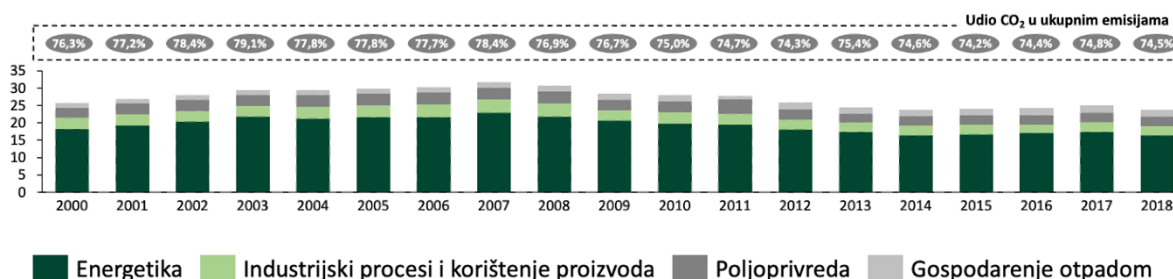


Slika 22. Implementacija Lean i Green alata u 10 koraka

6. Emisije CO₂ u Hrvatskoj i sredstva za njihovo suzbijanje

6.1. Pregled emisija stakleničkih plinova u Hrvatskoj

Udio CO₂ u ukupnim emisijama RH je stabilan, dok je za najveću količinu emisija odgovoran sektor energetike. [33]



Slika 23. Pregled ukupnih emisija stakleničkih plinova po sektorima (mil. tCO₂e)

Najveći doprinos emisiji stakleničkih plinova u 2018. godini, isključujući odljeve, imao je sektor energetika s 69,3 %, slijedi sektor poljoprivreda s 11,2 %, industrijski procesi i uporaba proizvoda s 10,9 % i sektor gospodarenje otpadom s 8,6 %. Ova struktura je, uz neznatne promjene, zadržana tijekom cijelog razdoblja 1990. - 2018. godine.

Zbog smanjenja gospodarske aktivnosti u razdoblju od 2008. godine emisije stakleničkih plinova su se konstantno smanjivale do 2014. godine kada su počele sporo rasti.

Najveći doprinos emisiji stakleničkih plinova u 2018. godini, imala je emisija ugljikova dioksida (CO₂) sa 74,5 %. Slijedi emisija metana (CH₄) s 16,3 %, dušikova oksida (N₂O) s 7,1 % te emisija fluoriranih ugljikovodika s 2,1 %. Opisana struktura prisutna je, uz neznatne promjene, tijekom cijelog razdoblja od 1990. godine. [33]

Emisije CO₂ unutar RH su visoko koncentrirane, te su veliki zagađivači koji čine 38 % ukupnih emisija najbolji kandidati za CCS.



Slika 24. Prikaz hot spotova emisija CO₂ u RH

Na slici 24. prikazane su lokacije hot spotova emisija CO₂ u Hrvatskoj te su podijeljene na one s niskim emisijama, srednjim i visokim emisijama CO₂.

6.2. ETS dozvole u Hrvatskoj

Republika Hrvatska postala je obveznica ETS sustava od 1. siječnja 2013. godine. Obveznici sustava trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova uključeni su tada u jedinstveni plan raspodjele emisijskih jedinica i obvezu kupovanja cjelokupnog ili djelomičnog iznosa emisijskih jedinica po modelu dražbe.

U Republici Hrvatskoj zastupljene su sljedeće djelatnosti EU ETS-a: izgaranje goriva, rafiniranje mineralnog ulja, proizvodnja sirovog željeza ili čelika, proizvodnja cementnog klinkera, proizvodnja vapna, proizvodnja stakla, proizvodnja keramičkih proizvoda, proizvodnja izolacijskih materijala od mineralne vune, proizvodnja papira i kartona, proizvodnja čađe, proizvodnja dušične kiseline, proizvodnja amonijaka i zrakoplovna djelatnost.

Skoro polovica broja postrojenja uključena je u sustav na temelju djelatnosti izgaranja goriva. Ostala postrojenja su uključena prvenstveno na temelju njihove proizvodne djelatnosti, međutim i ona koriste gorivo za izgaranje.

Staklenički plinovi obuhvaćeni EU ETS-om koji su zastupljeni u Republici Hrvatskoj su CO₂ i N₂O, od kojih ovaj drugi nastaje samo kao rezultat proizvodnje dušične kiseline.

U Republici Hrvatskoj je 2018. godine u radu bilo 55 postrojenja uključenih u EU ETS i jedan operator zrakoplova, koji su odgovorni za 31,3 % ukupne emisije stakleničkih plinova Hrvatske.

Emisije CO₂ u RH stabilne su (uz manje fluktuacije), dok ETS sustav pokriva gotovo trećinu postojećih emisija.

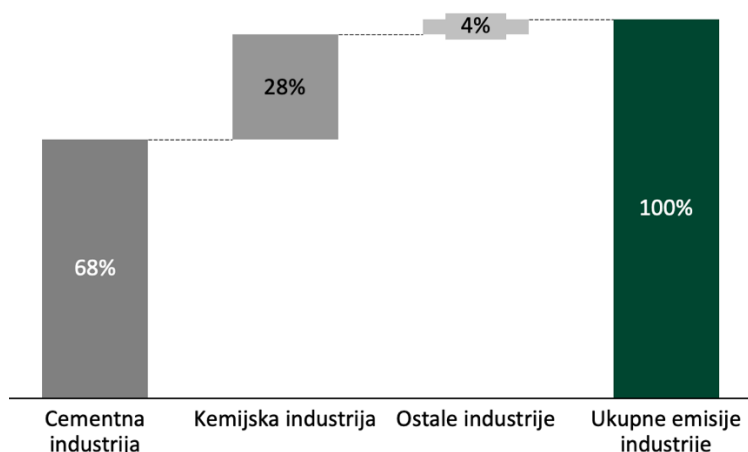
Pojačan regulatorni pritisak EU te predložene izmjene ETS-a, kojima bi ETS bio primjenjiv na više industrija te bi se obustavilo dodjeljivanje besplatnih emisijskih dozvola stoga bi imao utjecaj na velik dio Hrvatske industrije: više industrija bi moralo kupovati emisijske dozvole, čija cijena je u drastičnom porastu i ne predviđa se pad cijena.

S obzirom na gore navedeno, postoji prostor za implementaciju CCS tehnologije, koja bi istovremeno:

- Smanjila emisije RH, te služila kao poluga dekarbonizacije u skladu s regulativama EU.
- Olakšala financijsko opterećenje emisijskih dozvola na industriju RH.

6.3. Primjena CCS-a u Hrvatskoj

Primjena CCS tehnologije ima značajan potencijal u industrijama koje svojom proizvodnjom emitiraju CO₂, kao što su cementna i kemijska industrija.



Slika 25. Udio zagađivača u ukupnim emisijama industrije

Slika 25 prikazuje ukupne emisije ugljikovog dioksida po industrijama unutar Hrvatske gdje je vidljivo da cementna industrija u Hrvatskoj proizvodi najveće količine CO₂.

Analizom je ustanovljeno kako su najinteresantnija postrojenja za CCS ona koja pripadaju poduzećima NEXE d.d. i Petrokemija d.d.

6.4. Rizici vezani uz CCS projekt

Potencijalni rizici:

1. Tehnološki

- Rizik integracije: rizik od utjecaja na dosadašnje procese ili kvalitetu proizvoda
- Učinkovitost tehnologije: određene tehnologije hvatanja su još u fazi razvoja, te postoji doza neizvjesnosti o njihovoj učinkovitosti.
- Tehnološki rizici vezani su uz infrastrukturu dopremanja, površinsku infrastrukturu za utiskivanje te bušotinsku strukturu, kvalitetu cementacije i zacjevljenja. Mitigacija rizika tijekom projektiranja te mjerenja dopremnih cijevi, elemenata utiskivanja i bušotinu tijekom faze utiskivanja.

2. Politički

- Politička neizvjesnost: nedostatak sveobuhvatnog okvira i poslovnih modela za omogućavanje primjene CCS.
- Neizvjesna cijena ugljika: neizvjesne cijene, rizik premještanja postrojena emisijski intenzivnih industrija u države s blažim regulativama.

3. Ekonomski

- Neizvjesnost CAPEX-a:
 - Nezrelost određenih tehnologija hvatanja i specifičnost industrijskih lokacija rezultira nesigurnošću u procjeni troškova - ograničava replikaciju.
- Neizvjesnost OPEX-a:
 - Neizvjesnost u budućim cijenama goriva, potrošnji energije postrojenja, vijeku trajanja opreme itd.
- Percepcija rizika:
 - Investitori zahtijevaju veći ROI zbog povećanih rizika.

- Neizvjesnost u potražnji:
 - Potražnja za industrijskim proizvodima manje je izvjesna od utroška energije potrebnog za CCS.
- Konkurentnost:
 - Globalne industrije riskiraju gubitak konkurentnosti jer se troškovi CCS-a ne mogu prenijeti na potrošače kod robe kojom se globalno trguje.

4. Rizici za okoliš

- Propuštanje skladišta, povećanje kiselosti podzemne vode, otapanje stijena, moguć utjecaj na floru okoliša. Mitigacija skladišta odnosi se na fazu projektiranja i fazu monitoringa. U fazi projektiranja potreban je zadovoljavajući set geofizičkih te geoloških i hidroloških podataka. Predložen stalan monitoring kakvoće zraka, tla, vegetacije i podzemne vode.

Detaljniji opis tehničkih i ekoloških rizika:

Tehnološki rizici:

- Najveći rizik povezan s CCS-om je curenje CO₂ iz skladišnih mjesta. Iako postoji određeno iskustvo skladištenja CO₂ i prirodnog plina, dugotrajno skladištenje još uvijek nije dokazano.
- Dvije vrste curenja:
 - Naglo curenje uslijed tehnoloških problema u bušotini ili puknuća cijevi.
 - Postupno curenje kroz neotkrivene rasjede i lomove.
- Postoje različite tehnike i senzori za prepoznavanje curenja CO₂, a predložene metode uključuju:
 - Kontrola integriteta cijevi i opreme.
 - Kontrolu kvalitete tla, vode i zraka.

Rizici na okoliš:

- Izgradnjom spremišta se može utjecati na hidrologiju podzemnih voda zbog prisutnosti cjevovoda i postrojenja za hvatanje. Ovo može rezultirati skretanjem toka podzemne vode, što potencijalno može imati implikacije za površinske vode i vodenu ekologiju.

- Također curenjem CO₂ iz mjesta skladištenja tijekom rada ili nakon zatvaranja može onečistiti podzemne vode.
- Prilikom curenja CO₂ šteti okolnom ekosustavu. CO₂ dovodi do ukiseljenja tla, povećanja mobilnosti teških metala te može djelovati kobno na ljudski život.
- Postoje različite tehnike i senzori za prepoznavanje curenja CO₂, a predložene metode uključuju:
 - Kontrolu kvalitete voda (pH,% CO₂).
 - Monitoring ekosistema.
 - Izrada plitkih bušotina za monitoring plitkih akvifera.
 - Izgradnja tornja za monitoring (eng. Tower Flux).

6.5. Nastanak i izračun emisija CO₂

Emisije stakleničkih plinova nastaju iz raznih industrijskih aktivnosti koje nisu povezane s energijom. Glavni izvori emisija su industrijski proizvodni procesi koji kemijski ili fizički transformiraju materijale. Tijekom ovih procesa može se osloboditi mnogo različitih stakleničkih plinova, uključujući CO₂, CH₄, N₂O i PFC. Proizvodnja cementa je značajan primjer industrijskog procesa koji oslobađa značajnu količinu CO₂. Različiti halougljikovodici (i SF₆) također se troše u industrijskim procesima ili se koriste kao alternative tvarima koje oštećuju ozonski omotač (ozone depleting substances, ODS) u raznim primjenama.

U nekim slučajevima emisije iz industrijskih procesa nastaju u kombinaciji s emisijama izgaranja goriva i može biti teško odlučiti treba li se određena emisija prijaviti unutar sektora energetike ili industrijskih procesa. Kada je glavna svrha izgaranja goriva korištenje oslobođene topline, rezultirajuće emisije uključuju se kao emisije energije, a ne emisije iz industrijskih procesa. Postoje, međutim, neki kemijski procesi ili faze procesa, koji oksidiraju ugljik kao sirovinu i egzotermni su. Primjer je redukcija željeza u visokoj peći izgaranjem koksa. Oslobođena toplina se uvijek koristi unutar procesa ili za druge energetske potrebe proizvođača. Međutim, u ovom slučaju, budući da je primarna svrha oksidacije koksa proizvodnja sirovog željeza, emisije se smatraju industrijskim. [34]

6.5.1. Emisije CO₂ u cementnoj industriji

Cement je važan građevinski sastojak koji se proizvodi u gotovo svim zemljama. Cement je važan građevinski sastojak u cijelom svijetu, a kao rezultat toga, proizvodnja cementa je

značajan izvor globalnih emisija ugljičnog dioksida (CO_2), čineći otprilike 7 % globalnih emisija CO_2 iz industrijskih i energetske izvora. Cement se proizvodi u velikim, kapitalno intenzivnim proizvodnim pogonima koji se uglavnom nalaze u blizini kamenoloma vapnenca ili drugih izvora sirovih karbonatnih minerala jer su ti izvori glavna sirovina koja se koristi u procesu proizvodnje cementa. Budući da su proizvodni pogoni skupi, broj pogona u zemlji općenito je ograničen.

Ugljični dioksid (CO_2) je nusproizvod procesa kemijske pretvorbe koji se koristi u proizvodnji klinkera, komponente cementa, u kojem se vapnenac (CaCO_3) pretvara u vapno (CaO).



Slika 26. Poluproizvod cementne industrije – klinker [54]

CO_2 se također emitira tijekom proizvodnje cementa izgaranjem fosilnih goriva i obračunava se na drugim mjestima. Međutim, CO_2 iz fosilnih goriva uzet je u obzir na drugim mjestima u procjenama emisija za fosilna goriva. Revidirane IPCC smjernice za nacionalne inventare stakleničkih plinova iz 1996. pružaju opći pristup procjeni emisija CO_2 iz proizvodnje klinkera, u kojem se količina proizvedenog klinkera množi s faktorom emisije klinkera. [34]

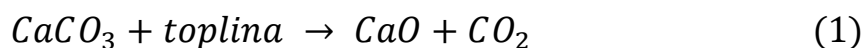
IPCC smjernice preporučuju dvije moguće metode za izračun faktora emisije klinkera. Prva metoda je korištenje IPCC zadane vrijednosti za udio vapna u klinkeru. Druga metoda je izračunavanje prosječne koncentracije vapna u klinkeru prikupljanjem podataka o proizvodnji klinkera i udjelu vapna po vrsti. IPCC smjernice navode da se očekuje da će razlika između zadane vrijednosti i vrijednosti temeljene na prikupljenim podacima biti mala. Ako podaci o proizvodnji klinkera nisu dostupni, preporučuje se da zemlje izračunaju proizvodnju klinkera iz podataka o cementu uz primjenu korekcijskog faktora za uvoz/izvoz klinkera. Nakon što je procjena izvedena, emisije se mogu procijeniti pomoću faktora emisije klinkera.

IPCC preporučuje korištenje podataka o klinkeru, umjesto podataka o cementu, za procjenu emisija CO₂ jer se CO₂ emitira tijekom proizvodnje klinkera, a ne tijekom proizvodnje cementa. Ako se klinkerom trguje na međunarodnoj razini, korištenje podataka o proizvodnji cementa rezultira pristranom procjenom emisija jer bi se cement potencijalno mogao proizvesti iz klinkera koji je proizveden u drugoj zemlji. Iako su podaci o klinkeru poželjni izvor podataka, podaci o cementu mogu biti lakše dostupni u nekim zemljama. U ovom slučaju, preporučeni pristup je procjena udjela klinkera u cementu i naknadno izračunavanje proizvodnje klinkera.

Aktivnosti osiguranja kvalitete i kontrole kvalitete trebale bi se provoditi u nekoliko faza u procesu procjene emisija. Na razini postrojenja ključne aktivnosti uključuju internu kontrolu kvalitete podataka o proizvodnji i faktorima emisije, kao i dokumentiranje podataka i metoda za recenzente. Agencija za inventuru mora osigurati točnost postrojenja kao i sastavljenog inventara. Također je odgovorna za pružanje dokumentacije i dovoljno informacija Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama (United Nations Framework Convention, UNFCCC). Jedna ili više vrsta vanjskog pregleda također može biti prikladna. [34]

6.5.2. Opis procesa

Ugljični dioksid se oslobađa tijekom proizvodnje klinkera, komponente cementa, u kojem se kalcijev karbonat (CaCO₃) zagrijava u rotacijskoj peći kako bi se inducirao niz složenih kemijskih reakcija (IPCC smjernice). Konkretno, CO₂ se oslobađa kao nusprodukt tijekom kalcinacije, što se događa u gornjem, hladnijem kraju peći, ili u predkalcinatoru, na temperaturama od 600 – 900 °C, i rezultira pretvorbom karbonata u okside. Pojednostavljeni stehiometrijski odnos je sljedeći:



Na višim temperaturama u donjem dijelu peći, vapno (CaO) reagira sa silicijevim dioksidom, aluminijem i materijalima koji sadrže željezo kako bi se proizveli minerali u klinkeru, međuproizvodu proizvodnje cementa. Klinker se zatim vadi iz peći da se ohladi, melje u fini prah i miješa s malom frakcijom (oko 5 %) gipsa kako bi se dobio najčešći oblik cementa poznat kao portland cement. Zidani cement je općenito drugi najčešći oblik cementa. Budući da zidani cement zahtijeva više vapna nego portland cement, zidani cement općenito dovodi do dodatnih emisija CO₂. [34]

6.5.3. Izbor metoda dobre prakse

IPCC smjernice pružaju opći pristup procjeni emisija CO₂ iz proizvodnje klinkera, u kojem se količina proizvedenog klinkera množi s faktorom emisije. Stoga je osnovna jednadžba za procjenu emisija CO₂ iz proizvodnje klinkera:

Podaci o djelatnosti/proizvodnji × Faktor korekcije CKD = emisija CO₂ iz klinkera
 CKD (Cement Kiln Dust) označava prašinu iz cementne peći.

Budući da cement za zidanje zahtijeva dodatno vapno, IPCC smjernice pružaju jednadžbu, temeljenu na parametrima proizvodnje cementa za zidanje, za procjenu emisije CO₂ koja proizlazi iz dodatnog vapna.

6.5.4. Emisijski faktori

Procjena emisija općenito uključuje dva faktora emisije: faktor emisije za proizvodnju klinkera i faktor emisije za proizvodnju cementne prašine iz peći (CKD). [34]

Emisijski faktor klinkera:

Faktor emisije klinkera umnožak je udjela vapna u klinkeru i omjera mase CO₂ oslobođenog po jedinici vapna. Jednadžba je prikazana u nastavku:

$$EF_{klinker} = \text{frakcija CaO} \times 0,785 \quad (2)$$

Faktor množenja (0,785) je omjer molekulske mase CO₂ i CaO u sirovom mineralu kalcitu (CaCO₃), iz kojeg potječe većina ili sav CaO u klinkeru. Sadržaj CaO može pokazivati varijacije ovisno o zemlji podrijetla i objektu.

Smjernice IPCC-a preporučuju dvije moguće metode za izračun faktora emisije. Metoda 1 koristi zadanu vrijednost IPCC-a za udio vapna u klinkeru, koji iznosi 64,6 %. To rezultira faktorom emisije od 0,507 tona CO₂/toni klinkera, kao što je prikazano u nastavku:

$$EF_{klinker} = 0,646 \times 0,785$$

$$EF_{klinker} = 0,507$$

Metoda 2 izračunava prosječnu koncentraciju vapna u klinkeru prikupljanjem podataka o proizvodnji klinkera i udjelu vapna po vrsti. Očekuje se da će razlika između zadane vrijednosti i vrijednosti temeljene na prikupljenim podacima biti mala.

6.5.5. Podaci klinkera

IPCC preporučuje korištenje podataka o klinkeru, umjesto podataka o cementu, za procjenu emisija CO₂ jer se CO₂ emitira tijekom proizvodnje klinkera (ne proizvodnje cementa). Također, ako se klinkerom trguje na međunarodnoj razini, korištenje podataka o proizvodnji cementa stvara pristrane procjene emisija jer bi cement potencijalno mogao biti proizveden od klinkera proizvedenog u drugoj zemlji. Nadalje, količina klinkera u drugim vrstama cementa, kao što su miješani i prirodni cement, vrlo je promjenjiva i teško ju je procijeniti.

Ako su podaci o cementu već dostupni, a podaci o klinkeru nisu dostupni, preporučena metoda je procjena udjela klinkera u cementu i naknadna procjena proizvodnje klinkera. [35]

Osnovna vrijednost emisija važna je komponenta programa inventara. Razvijanje osnovne vrijednosti zahtijeva prikupljanje i objedinjavanje podataka o proizvodnji klinkera i CKD-a tijekom ili nakon osnovnog razdoblja. Potpuni popis trebao bi uključivati podatke prikupljene iz svakog postrojenja. Poteškoće mogu nastati kada:

- Pojedinačna postrojenja nisu vodila evidenciju tijekom početnog razdoblja.
- Pojedinačna postrojenja koja su u osnovnom razdoblju proizvodila klinker i CKD više ne rade.

U takvim slučajevima može biti potrebno procijeniti osnovnu proizvodnju klinkera i CKD. Pristupi za procjenu proizvodnih brojki mogu uključivati:

- Procjena podataka o proizvodnji klinkera i CKD-a na temelju proizvodnog kapaciteta postrojenja i stope iskorištenja.
- Izračun procjena korištenjem nacionalnih podataka o proizvodnji iz osnovnog razdoblja.

Ako se podaci o proizvodnji procjenjuju korištenjem proizvodnog kapaciteta postrojenja i stopa iskorištenja postrojenja, treba voditi računa o vremenu tijekom kojeg postrojenja ne rade (tj. vrijeme zastoja).

6.5.6. Prašina iz cementne peći (CKD)

CO₂ se također emitira tijekom kalcinacije prašine cementne peći (CKD). CKD je nusproizvod procesa u peći i dio CKD-a vraća se u peć i ugrađuje u klinker. Preostali dio se gubi – stavlja se na odlagalište ili se koristi u druge svrhe. Izgubljeni CKD predstavlja dodatne emisije CO₂ koje nisu uračunate u procjenu emisija klinkera. [35]

Preporučena metoda za procjenu dodatnih emisija CO₂ iz izgubljenog CKD-a je množenje faktora emisije s količinom izgubljenog CKD-a. Međutim, podaci o proizvodnji CKD obično nisu dostupni. CO₂ iz izgubljenog CKD-a općenito je ekvivalentan otprilike 2 - 6 % ukupne emisije ugljikovog dioksida. Ako podaci nisu dostupni, preporučuje se da zemlje odaberu postotak između 2 - 6 % i pomnože taj postotak s količinom ukupnih emisija ugljikovog dioksida. Ovo daje procjenu CO₂ iz izgubljenog, kalciniranog CKD-a.

7. Primjena Zelenog vitkog menadžmenta u poduzeću NEXE d.d.

NEXE Grupa je poslovni sustav 15 tvrtki koje posluju u Republici Hrvatskoj, Srbiji i Bosni i Hercegovini. Osnovna djelatnost je proizvodnja građevinskih materijala: cementa, betona, agregata, betonskih elemenata, crijeva, cigle i keramičkih pločica. [39]

U NEXE Grupi se nalaze i tvrtke koje se bave gospodarenjem otpada i lučkim uslugama. Krovna tvrtka NEXE Grupe je NEXE d.d. sa sjedištem u Republici Hrvatskoj, u Našicama, Tajnovac 1.

NEXE d.d. vodeća je tvrtka NEXE Grupe. S godišnjim kapacitetom od 1 milijun tona cementa i Namala, druga je tvornica cementa u Republici Hrvatskoj po instaliranim kapacitetima i tržišnom udjelu, a unutar tvrtke organizirana je proizvodnja i prodaja svježeg betona. Od izvoznih tržišta, Nexe cement prisutan je u Bosni i Hercegovini, Srbiji, Mađarskoj, Sloveniji i Rumunjskoj, a najveći kupci NEXE d.d. su građevinske tvrtke, distributeri, trgovci, betonare i prerađivači.

NEXE d.d. vodeći je proizvođač, prijevoznik i ugrađivač svježeg betona u Republici Hrvatskoj. U svom poslovanju poštuje sve ekološke norme, a posjeduje certifikat tvorničke kontrole proizvodnje betona čime je jedan od rijetkih proizvođača koji je uspostavio sustav upravljanja kvalitetom prema tehničkom propisu za betonske konstrukcije, koji upućuje na normu HRN EN 206-1. [39]



Slika 27. Poduzeće Nexe d.d. [39]

7.1. Proizvodni proces cementare

Dolaskom u poduzeće NEXE d.d. prije svega nam je bio objašnjen proces proizvodnje cementa od početka eksploatacije sirovina do otpremanja gotovog proizvoda kupcima.

Proces se dijeli na 12 potprocesa:

1. Kamenolom

Bušenje i miniranje su tehnike koje se koriste za eksploataciju lapora, gline i vapnenca. Osim ovih materijala još se eksploatiraju materijali koji sadrže potrebne omjere kalcija, aluminija, silicija i željeznih oksida.

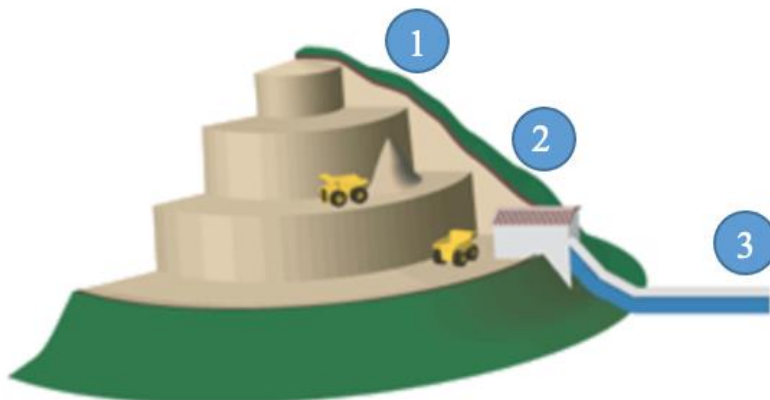
2. Drobljenje

Eksploatirani materijal se usitnjava metodama kompresije ili udara. Za te procese koriste se različite mehaničke drobilice. Početne veličine kamena iznose otprilike 120 cm te se usitnjavaju na 1.2 - 8 cm.

Kako bi se povećala efikasnost drobljenja, često se koriste procesi predhomogenizacije i sušenja materijala.

3. Transport

Daljnji proces uključuje transport tog materijala pomoću transportera, vagona ili ostalim specifičnim transportima koje poduzeće koristi.



Slika 28. Prikaz eksploatacije sirovine [40]

4. Miješanje

Kako bi materijal bio spreman za daljnji proces mljevenja i sušenja koje se provodi u mlinu sirovine, potrebno je glinu i vapnenac predhomogenizirati nasipavanjem i oduzimanjem u dugačkim slojevitim hrpama.

5. Mlin sirovine

Materijali se melju te suše u kugličnom ili vertikalnom mlinu sirovine. Kako bi se gruba frakcija materijala usitnila do mjere da ju je moguće pneumatski transportirati do silosa te homogenizirati, masivni valjci nalaze se iznad rotacionog stola.

6. Vrećasti filter

Filterski elementi koji su napravljeni od tekstilnih materijala služe za uklanjanje čestica materijala iz plinova peći.

U većini tvornica ti ispušni plinovi koriste se za sušenje sirovina kako bi se povećala energetska učinkovitost tvornica i smanjili troškovi.

7. Izmjenjivač topline

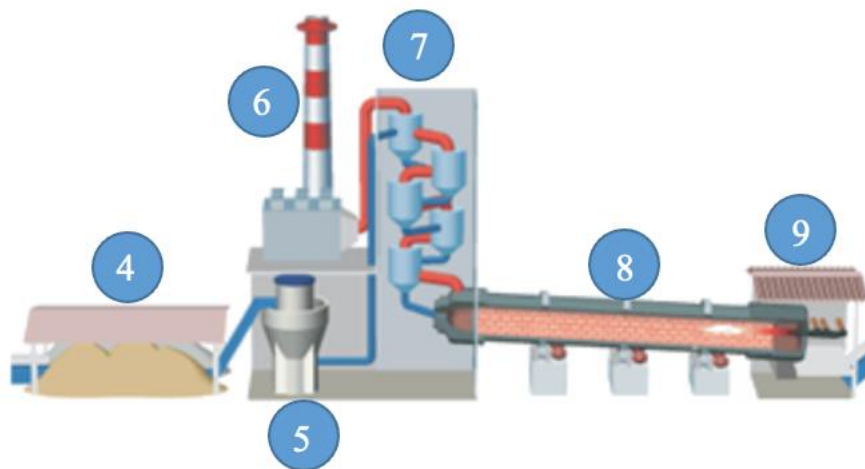
Ciklonski izmjenjivač topline služi za predgrijavanje sirovih materijala prije samog ulaska u peć. Ovime se povećava energetska učinkovitost peći jer je materijal prije samog ulaska u peć kalciniran na 20 – 40 %.

8. Peć

Pregrijač ubrzava zagrijava sirovinski materijal na temperaturu oko 1000°C kako bi vapnenac prešao u živo vapno. Naknadno se u rotacionoj peći postiže temperatura do 2000°C. Kada se postigne ta temperatura, minerali formiraju kristale kalcij silikata odnosno cementnog klinkera.

9. Hladnjak

Ovdje se rastaljeni klinker hladi što brže moguće. Za hlađenje klinkera koristi se atmosferski zrak koji se zatim koristi u peći za sagorijevanje zbog osiguravanja visoke iskoristivosti topline.



Slika 29. Miješanje sirovine i klinkerizacija [40]

10. Silos klinkera

Dobiveni klinker se melje i skladišti u tvornici ili ide na transport daljnjim korisnicima.

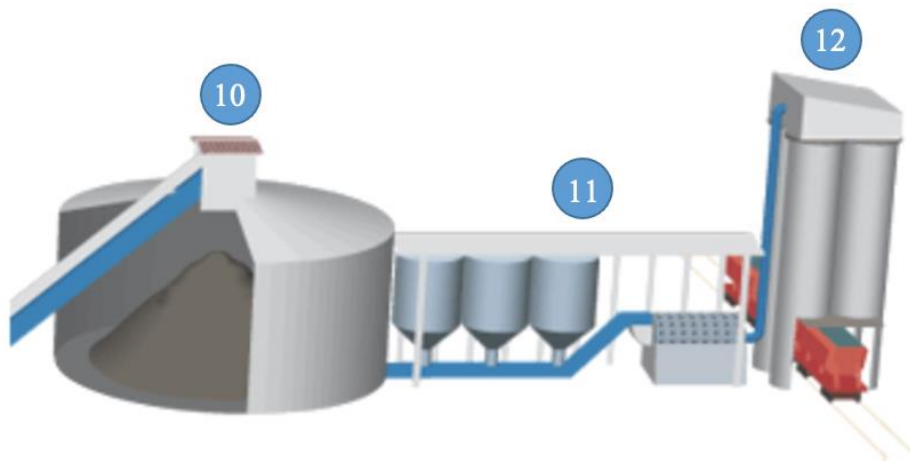
11. Mlin cementa

Ovaj dio procesa podrazumijeva završno meljenje klinkera s dodanih 5 % umjetnog ili prirodnog gipsa.

U ovoj fazi moguće je dodati i ostale primjere poput letećeg pepela, troske i drugih.

12. Logistika

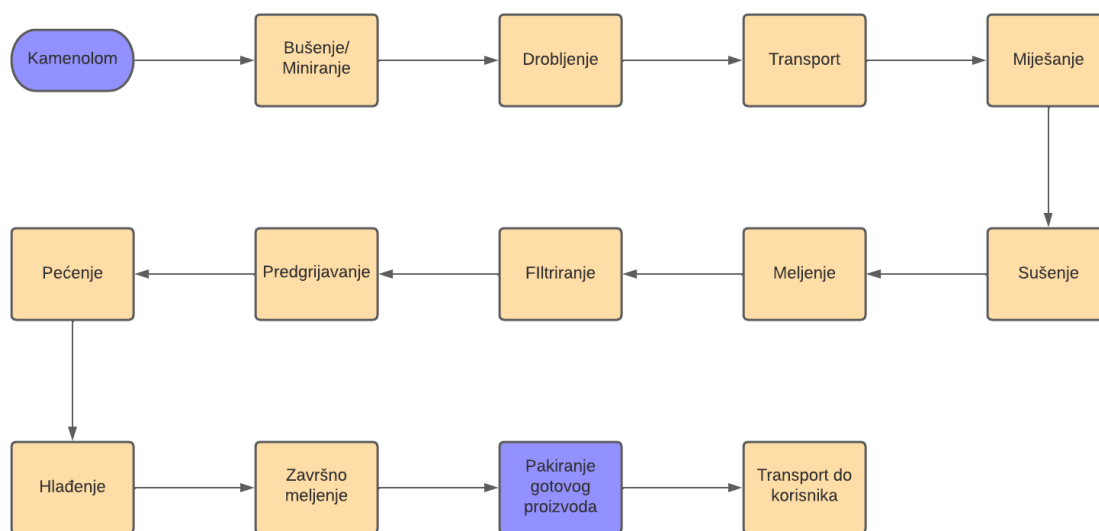
Cement se transportira kao rasuti proizvod ili pakiran u vreće, a sam način transportiranja ovisi o poduzeću te lokaciji. Transport se može obaviti željeznicom, kamionom ili brodom.



Slika 30. Mljevenje i distribucija [40]

7.1.1. Procesna mapa proizvodnje cementa

Za bolje razumijevanje procesa i lakši pregled korišten je Lean alat mapiranja procesa. Tako je dobiven jasan pregled procesa koji su standardizirani kako bi svi u poduzeću razumjeli tok materijala od kamenoloma sve do krajnjeg korisnika te kako bi uočili potencijalna uska grla na kojima se mogu provesti poboljšanja.



Slika 31. Procesna mapa proizvodnje cementa

7.2. Nexe procesi proizvodnje cementa

Detaljno objašnjen proces proizvodnje cementnog klinkera u poduzeću Nexe d.d. obuhvaća sljedeće procese: [37]

1. Eksploatacija i priprema sirovine

Osnovna sirovina su početka procesa su laporoviti vapnenci. Druga sirovina procesa su glinoviti pijesci. Poduzeće ove sirovine dobiva eksploatacijom na površinskim kopovima: Vranovići i Bukova glava, koji nalaze neposredno uz tvornicu. Sirovina se zatim transportira do drobilice pomoću kamiona te se zatim drobi i deponira u depo hali.

Sljedeći korak pripreme sirovine odvija se sušenjem i sagorijevanjem naftnog koksa/ugljena i prirodnog plina u sušari sirovine, te se nakon toga melje kuglama u mlinu sirovine. Dobiva se poluproizvod, sirovinsko brašno, koji se potom skladišti i homogenizira u silosu sirovinskog brašna.

Poluproizvod - sirovinsko brašno ima zadani kemijski sastav kako bi u procesu pečenja od njega nastao klinker željenog kemijskog i mineraloškog sastava. [37]

Osnovna komponenta klinkera je kalcij karbonat. Kada se kalcijev karbonat žari na 850 - 900 °C, prelazi u kalcij oksid:



Za stvaranje minerala klinkera potrebni su prateći oksidi: Fe_2O_3 , SiO_2 i Al_2O_3 .

Glavni oksidi žarenog sirovinskog brašna za portland cementni klinker nalaze se u određenim granicama masenog udjela koji su sljedeći:

Tablica 2. Kemijski sastav glavnih oksida

Oksid	Maseni udio [%]
CaO	65 – 68
SiO ₂	21 – 23
Al ₂ O ₃	5 – 7
Fe ₂ O ₃	2 – 4

U sastavu sirovinskog brašna, osim glavnih oksida, nalaze se i oksidi minornih komponenata: SO₃, K₂O, TiO₂, Na₂O, Mn₂O₃, i MgO koji se prisutni u zemljinoj kori te dolaze zajedno sa sirovinom.

Uz kemijski sastav također su zadani i odnosi između glavnih oksida, koji zajedno tvore minerale klinkera, a optimalnim vrijednostima i kemijskim sastavom ovih modula u sirovinskom brašnu, definira se pravilan budući odnos među mineralima u klinkeru.



Slika 32. Kamion izbacuje sirovinu u drobilicu [41]

2. Priprema goriva

Sušara sirovine

Za sušenje sirovine, kao energent, u rotacionoj sušari koristi se naftni koks/ ugljen (ako je potrebno i prirodni plin).

Rotacijska peć

Ugljen

Visokokvalitetni kameni ugljen kalorične vrijednosti 27-29 MJ/kg se koristi kao glavni energent. Priprema goriva sastoji se od mljevenja ugljena u posebnom postrojenju - mlinici ugljena. Ugljen se zatim skladišti na otvorenoj deponiji, a dovozi se pomoću kamiona iz Osječke luke Tranzit.

Ugljen se suši u valjkastom mlinu gdje se također melje na zadanu finoću, a cijelo postrojenje opremljeno je sustavom zaštite od požara i eksplozije zbog sigurnosnih razloga. Prašina ugljena skladišti se u zasebnim silosima koji posjeduju odgovarajuće sustave za doziranje i vaganje na plamenike. Pepeo iz ugljena se prilikom sagorijevanja ugrađuje u klinker. Stoga je potrebno znati udio pepela i kemijski sastav u ugljenu, te i njega dodatno računavati u potencijalni sastav klinkera.

Prirodni plin

Prirodni plin se također koristi kao energent, ali samo kada se postrojenje pušta u pogon.

Alternativna goriva

Otpriblike 6 % energije iz fosilnog goriva zamjenjuje se energijom iz alternativnih goriva kao kompenzat ugljenoj prašini. Energetska uporaba ulja I i II kategorije i otpadnih guma provodi se suspaljivanjem u rotacijskoj peći prilikom procesa proizvodnje klinkera. Sustavom za doziranje i transport otpadnih auto guma, gume se stavljaju kroz dvostruku zaklopku na ulazu rotacijske peći. Otpadna ulja se dovode i spaljuju na plameniku u rotacijskoj peći pomoću postrojenja za spaljivanje otpadnih ulja I. i II. kategorije.

Tržište nema velikih količina otpadnih ulja i guma tako da se supstitucija fosilnih goriva povećava suspaljivanjem goriva iz industrijskog i komunalnog otpada.

U procesu proizvodnje klinkera godišnje se suspaljuje 40.000 t RDF-a te do 30.000 t osušenog otpadnog mulja.

Kako bi bilo moguće koristiti RDF-a kao alternativno gorivo potrebne su dvije zasebne tehničko - tehnološke cjeline:

- mobilna prihvatna stanica za poluprikolice ili kamione s prikolicama s funkcijom kratkotrajnog skladištenja, doziranja i pneumatskog transporta do samog gorionika
- sustav koji odvodi dimne plinove bogate klorom s ulaza peći zbog redukcije sadržaja klorida na ulazu u peć što također uključuje i otprašivač bypass-a peći.

Cisterne dovode osušeni otpadni mulj te se spajaju fleksibilnim crijevom na čelični cjevovod gdje se zatim osušeni mulj komprimiranim zrakom transportira do silosa sa filterom/otprašivačem. Pužnim transporterima materijal distribuiraju na dvije hermetički zatvorene vage koje zatim pomoću ćelijskog dozatora taj osušeni otpadni mulj dodaju u transportne pneumatske cjevovode za gorionike.

Goriva se ubacuju na tri gorionika.

Glavni gorionik se koristi za spaljivanje prirodnog plina i otpadnog ulja te ugljene prašine, a također ima mogućnost suspaljivanja RDF-a, komadića gume te osušenog kanalizacijskog/ otpadnog mulja. Osušeni otpadni mulj je neopasan otpad tako da se može suspaljivati i na glavnom gorioniku, ali i na gorionicima izmjenjivača. S druge strane, osušeni mulj koji se tretira kao opasan otpad može se suspaljivati samo na glavnom gorioniku.

Preostala dva gorionika nalaze se na izmjenjivaču (LowNOx i gorionik predkalcinatora) te se na njima spaljuje samo ugljena prašina. Za potrebe korištenja alternativnih goriva ugrađen je posebni gorionik (injektor) pored LowNOx gorionika te ispred uboda u predkalcinator. RDF se dozira u granu Low NOx gorionika prije spoja s granom u kojoj se nalazi gorionik predkalcinatora zbog tehnoloških razloga. Tako potencijalni propad goriva završava u klinkerskoj peći te ne remeti rad LOW NOx gorionika.



Slika 33. Slika sustava za doziranje [41]

3. Pečenje klinkera

Proces pečenja i hlađenja klinkera odvija se u spojenom sustavu postrojenja: - ciklonski izmjenjivač topline, predkalcinator, rotacijska peć, hladnjak i vrećasti otprašivač. Sirovinsko brašno dozira se u ciklonski izmjenjivač topline, gdje dolazi do zagrijavanja sirovine tako da sirovina preuzima toplinu dimnih plinova iz peći.

Predkalcinatoru služi za dekarbonizacija sirovine odnosno razvijanje CO_2 iz vapnenca na temperaturama od 850 do 900 °C. U proizvodnji klinkera suhim postupkom se razlikuje indirektni i direktni radni režim.

Indirektni režim rada - plinovi putuju na mlin sirovine te se zatim koriste za dodatno sušenje sirovine. Indirektni režim rada u poduzeću NEXE d.d. koristi se samo kad je zbog tehnološkog procesa sušenja lesa nije moguće vraćati plinove na mlin sirovine.

U rotacijskoj peći, sirovina prolazi kroz proces sinteriranja tj. klinkerizacija i stvaranja klinkera. Klinkerizacija je formiranje minerala klinkera na temperaturama od 1450 °C. Klinker izlazi iz peći s temperaturom od 1250 °C te prelazi u hladnjak, gdje se hladi na temperaturu od 100 °C. Ohlađeni klinker se zatim transportira u silose klinkera.

Ciklonski izmjenjivač ima jednu liniju s mogućnošću četiri stupnja izmjene topline (4 ciklona), od kojih je prvi stupanj dvostruki. U ciklonima se protustrujno vrtlože dimni plinovi i sirovina

te zamjenjuju toplinu. Između 3. i 4. stupnja ugrađen je kalcinator s plamenikom na ugljenu prašinu. Služi za dodatno zagrijavanje i dekarboniziranje sirovine. Prilikom ulazu sirovine u peć ona ima temperaturu od 1000 °C i dekarbonizirana je oko 90 %.

4. Priprema mineralnih dodataka

Mineralne dodatke iz prirodnih ili industrijskih izvora koji se koriste prilikom proizvodnje cementa potrebno je osušiti u sušari dodataka prije mljevenja. Miješaju u zadanim omjerima na depou dodataka prema zadanim recepturama.

Dodaci su: prirodni ili industrijski pucolan, troska, gips te inertna punila.

Vapnenac je inertno punilo i koristi se za proizvodnju zidarskog cementa.

5. Mljevenje cementa

Komponente potrebne za cement se prema prethodno propisanim recepturama važu te doziraju u mlin cementa. Mljevenje cementa provodi se u dvokomornom cijevnom mlinu pomoću kugla, na zadanu finoću.

Gotov proizvod skladišti se u silose za cement. Kvaliteta cementa u procesu hidratacije cementa jako ovisi o finoći i veličini čestica krajnjeg produkta. Prilikom miješanja cementa s vodom, dolazi do složene reakcije hidratacije.

Proces hidratacije odvija se tako da molekula vode reagira s CaO iz minerala klinkera. Nastaju kristalinični hidratizirani i koloidalni spojevi koji tvore metastabilne gelove. Gelovi se zatim suše te prelaze u stabilnije forme, a na kraju u kristalinične produkte. Reakcija hidratacije egzoterman je proces kod kojeg dolazi do oslobađanja topline tako da se kod proizvodnje betona (voda + cement + šljunak i pijesak) mora se paziti kako ne bi došlo do pucanja betona.

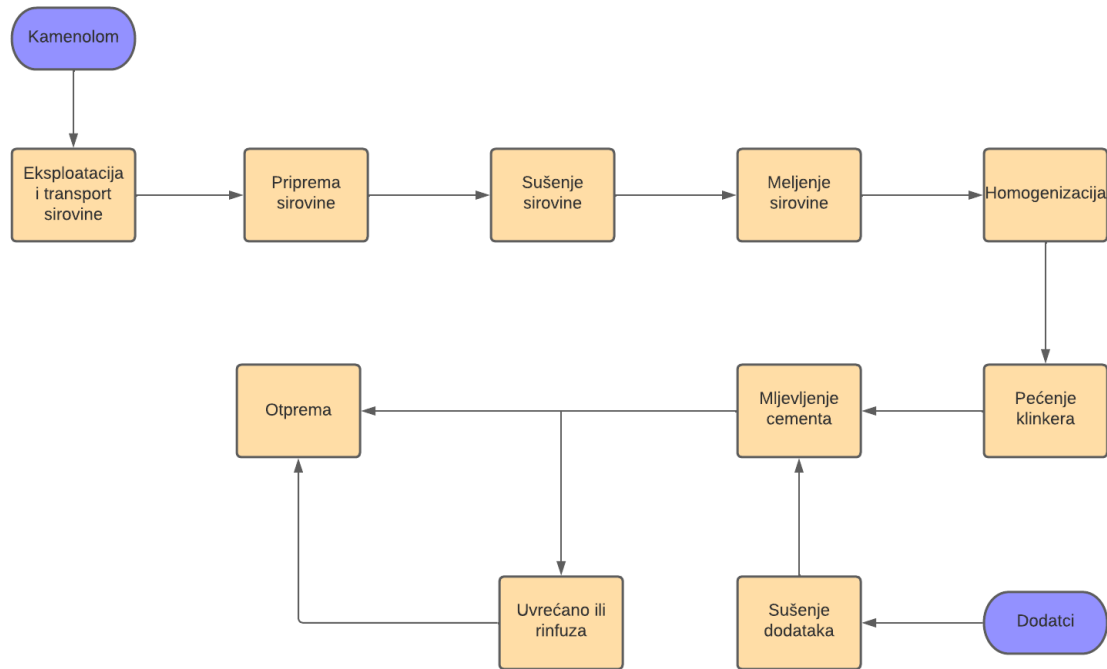
Proces ukrućivanja plastične mase vode i cementa, je svojstvo vezivanja cementa. Konačne čvrstoće najvažnija su svojstva koja betonima daje cement nakon završene reakcije hidratacije.

6. Otprema cementa

Cement se distribuira kao pakirani cement u vrećama ili kao rasuti cement, a sam proces transporta odvija se kamionima i cisternama.

7.2.1. Procesna mapa proizvodnje cementa poduzeća NEXE d.d.

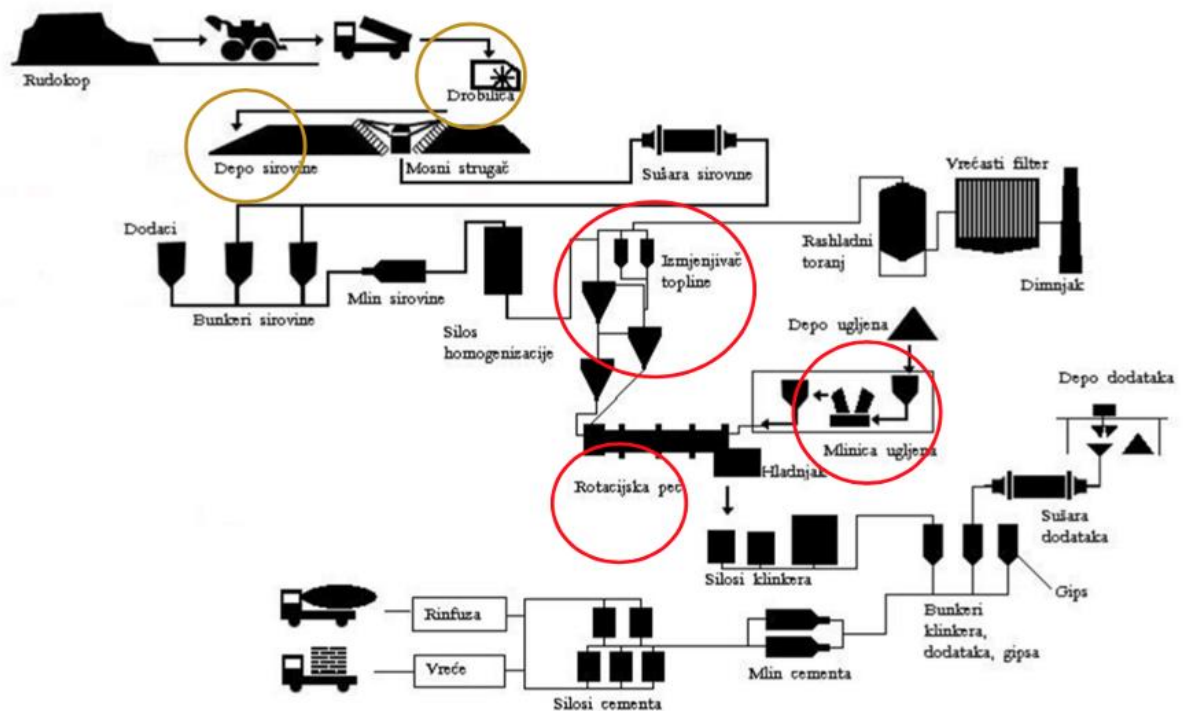
Nakon detaljnog opisa poduzeća NEXE d.d. te njihovog procesa proizvodnje cementa od sirovine do gotovog proizvoda, izrađena je procesna mapa kako bi sam proces bio pregledniji, kako bi se mogla procijeniti uska grla te kako bi jasnije shvatili proces i uočili potencijalna mjesta za implementaciju zelenih alata.



Slika 34. Procesna mapa proizvodnje cementa poduzeća NEXE d.d.

7.2.2. Shematski prikaz proizvodnog procesa cementa

Prethodno opisan proces proizvodnje cementa u poduzeću NEXE d.d. može se prikazati shematski radi lakšeg razumijevanja i bolje percepcije cijelog procesa.



Slika 35. Shematski prikaz proizvodnog procesa cementa [41]

Na slici 35, prikazan je shematski prikaz proizvodnog procesa cementa gdje su žutim krugovima zaokruženi procesi same pripreme sirovine dok su crvenim krugovima zaokruženi procesi gdje dolazi do emisija CO₂. Najveće emisije događaju se upravo u predkalcinatoru i rotacijskoj peći gdje dolazi do kalcinacije tj. pretvorbom karbonata u okside. Sam kemijski proces odvija se na temperaturama od 850 °C do 900 °C dok minerali klinkera nastaju u peći na temperaturi od 1450 °C.

7.3. Implementacija Zelenih alata u poduzeće NEXE d.d.

Procesnom mapom te shemom proizvodnje cementa dobio se detaljan uvid u proizvodni proces cementa poduzeća NEXE d.d.

Za daljnju implementaciju Zelenih alata potrebno je prije svega odrediti koju tehnologiju bi implementirali te zašto. U razgovoru s poduzećem NEXE d.d. došlo se do spoznaje da bi najkorisnija bila implementacija CCS rješenja.

Kako bi se moglo izračunati kolike su emisije CO₂ koje proizvodi poduzeće te koje su uštede moguće implementacijom CCS tehnologije, potrebno je mjeriti onečišćenje zraka u poduzeću.

7.3.1. Mjerenja onečišćenja zraka u NEXE d.d.

Postrojenje Našicecement d.d. provodi mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz 65 nepokretnih izvora: [36]

1. Ispust vrećastog filtera rotacijske peći

Kontinuirano mjerenje emisije:

- Praškaste tvari, SO₂, TOC, NO₂, HF, HCl i parametri plina (voda, kisik, temperatura, tlak, protok i dr.).

Kontinuirano mjerenje - ekstraktivno uzrokovanje radi se kontinuirano, provodi se svođenje na standardne uvjete i usrednjavanje kako bi se dobile takozvane polusatne vrijednosti i validacija podataka.

- Mjerenje emisija talija i kadmija, žive, teških metala, dioksina i furana tijekom suspaljivanja otpada.

Povremeno – dva puta godišnje tijekom suspaljivanja otpada:

- Teški metali, talija i kadmija, žive (3x30 min).
- Furani i dioksidi (1 x 6h).

2. Praškaste tvari na 59 izvora

Ispust iza vrećastog filtra, mjeri se povremeno – jednom u pet godina.

3 uzorka uzimaju otprilike 30 minuta sa 59 izvora te se zatim računa srednja vrijednost.

3. Mjerenje emisija NO_x i SO₂ na ispustu otprašivača mlina ugljena

Ispust iza vrećastog filtra, mjeri se povremeno – jednom u pet godina.

3 uzorka uzimaju otprilike 30 minuta te se zatim računa srednja vrijednost.



Slika 36. Prikaz mlina ugljena [41]

4. Mjerenje emisija NO_x, CO i dimnog broja na ispustima dimnjaka kotlovnice (upravna zgrada, skladište, automehaničarska radiona)

Ispust iz dimovodnog kanala kotlovnica, mjeri se povremeno (NO_x, CO, dimni broj) - jednom u dvije godine. [36]

Uzorkovanje se provodi u skladu s akreditiranim metodama uzorkovanja i mjerenja:

- 3 uzorka po 30 min te se zatim izračunava srednja vrijednost.

7.3.2. Izračun emisija CO₂ u poduzeću NEXE d.d.

Postrojenje poduzeća NEXE d.d. koristi rotacijsku peć čiji je predviđeni kapacitet proizvodnje 2 400 tona dnevno dok realna proizvodnja iznosi oko 2 100 tona na dan. Poduzeće posjeduje dvije peći tako da možemo procijeniti godišnju proizvodnju cementa poduzeća NEXE d.d.

Izračun kapaciteta:

$$\text{Godišnji kapacitet} = 2 \times 2100 \times 250 \text{ (radnih dana)} \quad (4)$$

$$\text{Godišnji kapacitet} \approx 1\,100\,000 \text{ tona cementa godišnje}$$

Zbog većih mogućnosti peći od realnih (2 100 t/dan) na godišnji kapacitet od 1,05 tona godišnje dodaje se još 50 tisuća tona te dolazimo do kapaciteta od 1,1 milijun tona cementa godišnje.

Mjesečno cement prevozi preko 1800 kamiona što također povećava emisije CO₂ tog poduzeća te je problem na koji se sva poduzeća trebaju fokusirati.

Izračun emisija:

Emisija CO₂ za poduzeće u 2021. godini izračunava se prema već danoj formuli za izračun emisijskih faktora klinkera (3).

Količina klinkera dobiva se omjerom cementa te smo u razgovoru s kolegama u poduzeću NEXE d.d. saznali da je omjer klinkera i cementa:

$$1 \text{ tona cementa} = 0,92 \text{ tona klinkera} \quad (5)$$

$$1\,100\,000 \text{ t cementa daje } 1\,012\,000 \text{ t klinkera}$$

Za izračun koristi se 1 012 000 t klinkera. Faktorom emisije od 0,507 tona CO₂/toni klinkera dobiva se:

$$EF_{\text{klinker}} = 0,507 \times 1012000$$

$$EF_{\text{klinker}} = 513\,084 \text{ t CO}_2$$

$$EF_{\text{klinker}} \approx 513\,100 \text{ t CO}_2$$

Za procjenu dodatnih emisija CO₂ iz izgubljenog CKD-a uzima se gornja granica od 6 % zbog neočitanih gubitaka zbog potencijalnih pogrešaka u senzorima:

$$EF_{\text{klinker,dodatno}} = \text{postotak izgubljenog CKD} \times \text{masa emitiranog CO}_2 \quad (6)$$

$$EF_{klinker,dodatno} = 0,06 \times 513\ 100$$

$$EF_{klinker,dodatno} = 30\ 786\ t\ CO_2$$

$$EF_{klinker,dodatno} \approx 31\ 000\ t\ CO_2$$

Kada se zbroje te dvije vrijednosti dobije se ukupna emisija CO₂ koja iznosi:

$$EF_{ukupno_1} = EF_{klinker} + EF_{klinker,dodatno} \quad (7)$$

$$EF_{ukupno_1} = 513\ 100 + 31\ 000$$

$$EF_{ukupno_1} = 544\ 100\ t\ CO_2$$

Kao dodatnu provjeru ponekad se koristi izračun koji se temelji na umnošku ukupne proizvodnje cementa s koeficijentom od 0,622 jer u prosjeku jedna tona cementa prouzroči 500 do 800 kila emisija CO₂ dok je najčešća vrijednost oko 622 kilograma CO₂. Tim izračunom dobije se sljedeće:

$$EF_{ukupno_2} = koeficijent\ (0,622) \times ukupna\ proizvodnja\ cementa \quad (8)$$

$$EF_{ukupno_2} = 0,622 \times 1\ 100\ 000$$

$$EF_{ukupno_2} = 684\ 200\ t\ CO_2$$

Kao finalnu vrijednost uzima se prosjek ovih dviju vrijednosti:

$$EF_{ukupno_final} = \frac{EF_{ukupno_1} + EF_{ukupno_2}}{2} \quad (9)$$

$$EF_{ukupno_final} = \frac{544\ 100 + 684\ 200}{2}$$

$$EF_{ukupno_final} = 614\ 150\ t\ CO_2$$

$$EF_{ukupno_final} \approx 615\ 000\ t\ CO_2$$

Finalna emisija CO₂ u poduzeću NEXE d.d. iznosi oko 615 000 t CO₂ godišnje.

7.3.3. CCS rješenje za poduzeće NEXE d.d.

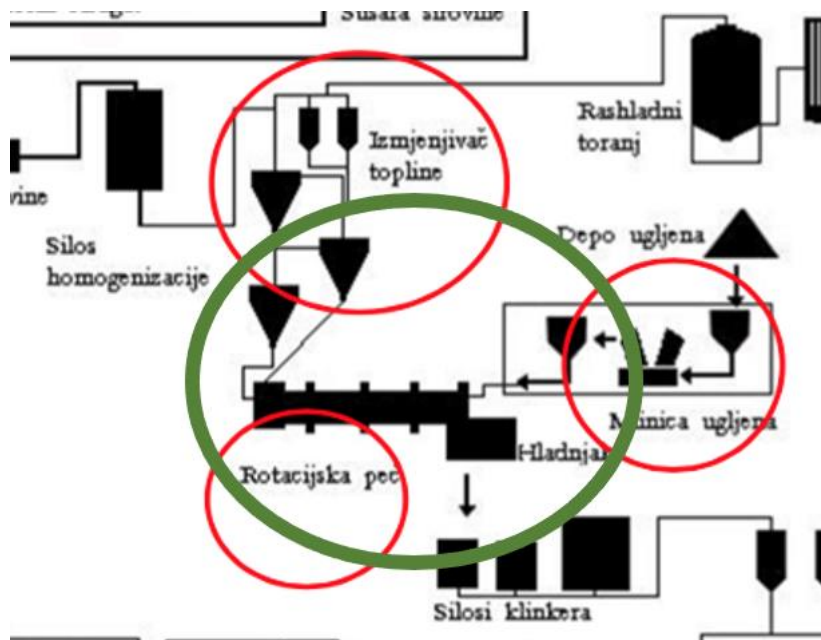
Nakon što se Lean alatom mapirao tok procesa radi jasnijeg razumijevanja potprocesa proizvodnje cementa unutar poduzeća NEXE d.d. te nakon izračuna godišnjih emisija poduzeća, moguće je procijeniti koji zeleni alat je potreban poduzeću te gdje ga je potrebno implementirati.

Zeleni alat koji je predložen poduzeću te za koji se poduzeće odlučilo je tehnologija CCS koja služi za hvatanje i skladištenje CO₂.

Sama implementacija traje otprilike 3 do 5 godina te je povrat na investiciju dugotrajan i procijenjen na 20 godina, ali kako se svijet kreće u smjeru nultih emisija, ova tehnologija je nešto što je cementnoj industriji preko potrebno jer su emisije CO₂ nusprodukt bez kojeg sama proizvodnja nije moguća.

Rješenje bi podrazumijevalo hvatanje CO₂ te transport tog CO₂ do obližnjih spremišta koja bi zadovoljavala potrebne količine.

Sama tehnologija implementirat će se iznad ispusta peći te mlinova, a djelovat će na principu hvatanja CO₂ nakon izgaranja.



Slika 37. Lokacija postavljanja CCS sustava [41]

Na slici 37., prikazan je prostor na kojem će se nalaziti alati za hvatanje emitiranog CO₂. Sustav će se nadograditi na sadašnje peći, točnije na njihove ispušne cijevi te će tamo hvatati CO₂ pošto je to lokacija na kojoj dolazi do najvećih emisija CO₂.

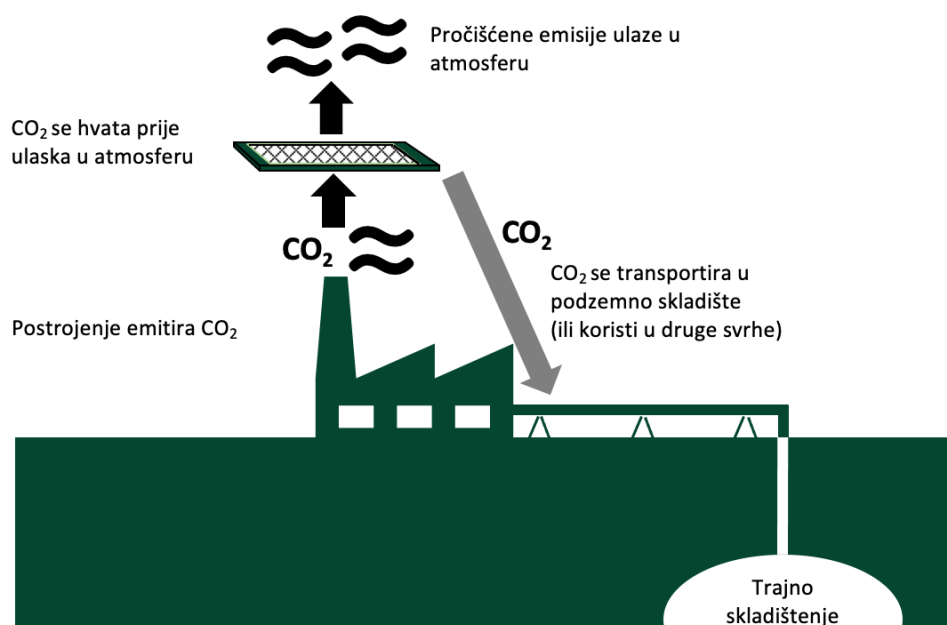
Uhvaćeni CO₂ cjevovodom se otprema do skladišta gdje se trajno pohranjuje.

Kupovina i implementacija ovog alata je skupa (nekoliko milijuna eura) i dugotrajna (do 5 godina). Uz sam alat potrebno je nadograditi cjevovod te ga, ako je po potrebno, dodatno izgraditi do prostora za skladištenje. Taj proces je također procijenjen u nekoliko milijuna eura. To su sve razlozi zbog kojih poduzeće neće odmah instalirati alat za hvatanje svih emisija u poduzeću, već će se krenuti s manjim rješenjem kao konceptom (hvatanje 10 – 30 % emisija) te ako se pokaže kvalitetnim, poduzeće će krenuti u daljnju investiciju i implementaciju alata za hvatanja svih emisija koja poduzeće proizvodi.

Trenutna godišnja emisija CO₂ iznosi oko 615 000 t te će novi CCS sustav hvatati između 61 500 i 185 000 tona CO₂.

Ovo će biti prvi takav projekt u Hrvatskoj te će služiti kao primjer svim ostalim poduzećima da je potrebno napraviti planove i strategije ako želimo postići nulte emisije ugljikovog dioksida do 2050. godine kako to zahtjeva Pariški sporazum.

Nakon skladištenja, poduzeće će u budućnosti moći koristiti CO₂ za druge uporabe od kojih je jedna očvršćenje cementa. Tako će CCS tehnologija unutar poduzeća NEXE d.d. postignuti sinergiju te će poduzeće uz prodaju cementa kupcima moći pružati opciju dodatnog očvršćenja s njihovim CO₂. Tako će poduzeće od nekadašnjih gubitaka postići daljnje iskorištavanje i profit što je jedan od glavnih ciljeva Leana.



Slika 38. Prikaz sheme rada CCS rješenja u poduzeću NEXE d.d.

Slika 38 prikazuje način funkcioniranja CCS rješenja za koje se odlučilo NEXE d.d., a djeluje na principu hvatanja emitiranog CO₂ nakon izgaranja i njegovog transporta cjevovodom do spremišta.

7.4. Smanjenje emisija CO₂ iz cementa

1. Cementi niskog udjela klinkera

U 2017. omjer klinkera i cementa u Europi bio je 77 %. To znači da je u prosjeku 23 % klinkera zamijenjeno alternativnim materijalima poput granulirane troske iz visokih peći na čelik i letećeg pepela iz elektrana na ugljen. Industrija cementa je svjesna da će postupno ukidanje elektrana na ugljen ograničiti opskrbu letećim pepelom (trenutačno 10 % ukupnih zamjena) i smanjiti upotrebu troske iz sektora čelika (trenutačno 33 % ukupnih zamjena). [38]

Već danas, međutim, 21 % od ukupnih zamjena su prirodni pucolani, vapnenac ili spaljeni uljni škriljevac, a procjenjuju se netradicionalne zamjene kao što su kalcinirana glina i silicij. U tijeku su daljnja istraživanja kako bi se ispitali drugi materijali koji bi se mogli koristiti u budućnosti, poput pucolanskih materijala iz tokova otpada i troske iz drugih industrija. Ovisno o nacionalnom zakonodavstvu i tržišnim uvjetima, ovi se nadomjesci također mogu dodati u fazi proizvodnje betona.

CEMBUREAU (European Cement Association, hrv. Europsko udruženje industrije cementa) ima za cilj prijeći s prosječnih 77 % na 74 % klinkera u cementu do 2030. godine i prijeći na 65% do 2050. godine. [38]

2. Novi cementi

Razvijene su nove vrste cemenata. Primjeri ovih vrsta cemenata su Aether, Alpenat i Ternacem (Belite-Ye'elimate-Ferrite), kalcijev aluminatni cement i Futurecem (kalcinirani glineni vapnenački cement). Ovi cementi obično imaju 20 – 30 % manji ugljični otisak od običnog portlandskog cementa (CEM I). Uštede CO₂ za ove nove cemente uključene su u fazu klinkera, jer će rezultirati smanjenjem emisija kalcinacije, a i toplinske energije za proizvodnju klinkera. Također se istražuju i druge vrste veziva koja nisu na bazi cementa, uključujući Celitement, koji je cement na bazi kalcij hidrosilikata. [38]

3. Električna energija

U 2017. električna energija predstavljala je 13 % ukupne potrošnje energije i 6 % ukupnih emisija CO₂ povezanih s proizvodnjom cementa. Električna učinkovitost može se poboljšati promjenama dizajna predgrijača na pećima i poboljšanim mljevenjem. Zemljište koje se neće koristiti desetljećima ili je obnovljeno na gradilištima cementa također se može koristiti za proizvodnju obnovljive energije. Do 2050. očekuje se da će se potrošnja električne energije u cementarama udvostručiti nakon ugradnje tehnologije CCS-a. [38]

Prijelaz na 100 % obnovljivu energiju rezultirat će ukupnom uštedom CO₂ od 6 %.

4. Transport

Promet trenutno čini 1,5 % ukupnih emisija CO₂ u proizvodnji cementa. To uključuje transport unutar kamenoloma i cementare, transport sirovina i goriva dopremljenih u cementaru i transport cementnih proizvoda do krajnjih potrošača. Trenutno su u tijeku značajna istraživanja za industrijska vozila unutar kamenoloma i postrojenja te za cestovna vozila – što uključuje hibridna vozila koja koriste električnu energiju, biodizel i vodik, kao i testiranje vozila na električni pogon. Pretpostavlja se da će do 2050. sav prijevoz materijala i goriva emitirati nula ugljika jer će vozila prijeći na električne pogone, motore na vodik ili kombinaciju oba. [38]

7.5. Smanjenje emisija CO₂ iz klinkera

1. Alternativne dekarbonizirane sirovine

Budući da najveći izvor CO₂ dolazi od kalciniranja sirovina u peći, korištenje alternativnih izvora dekarboniziranih materijala jedna je od opcija za značajno smanjenje emisija CO₂. Otpadni materijali i nusproizvodi iz drugih industrija mogu se koristiti za zamjenu dijela vapnenca, što je dobar primjer industrijske simbioze. Ovi materijali mogu uključivati recikliranu cementnu pastu od otpada od rušenja, zrakom hlađenu trosku i otpadno vapno. CEMBUREAU će provesti studiju kako bi se utvrdili potencijalni izvori alternativnih otpadnih sirovina i zamjenskih materijala za klinker iz različitih industrija. [38]

CEMBUREAU predviđa smanjenje procesnog CO₂ do 3,5 % korištenjem dekarboniziranih materijala do 2030. i do 8 % smanjenja do 2050.

2. Zamjena goriva i istraživanje nulte emisije goriva

Emisije goriva čine otprilike 35 % do 40 % ukupnih emisija CO₂ iz proizvodnje cementa. U proizvodnji cementa istovremeno se obnavlja energija i recikliraju minerali iz različitih tokova otpada (koprocesiranje) te se koristi biomasa. Koprocesiranje stavlja cementnu industriju u središte kružnog gospodarstva i igra ključnu ulogu u smislu gospodarenja otpadom u lokalnim područjima i općinama. CO₂ se štedi zamjenom fosilnih goriva alternativnim tokovima otpada, ali i kroz one emisije koje ne nastaju spaljivanjem ili kroz emisije metana iz odlagališta.

U 2017. korištenje alternativnih goriva predstavljalo je 46 % ukupnih potreba za gorivom u pećima diljem Europe, od čega je 16 % bila biomasa. [38]

Nema tehničkih zapreka za povećanje korištenja alternativnih goriva na više od 90 % ako su materijali dostupni lokalno. Zapravo, nekoliko tvornica postiže tu razinu zahvaljujući ispravnom regulatornom okruženju, javnom prihvaćanju i potpori ulaganja.

Primjeri su Allmendingen u Njemačkoj kojim upravlja Schwenk Cement i Retznei u Austriji kojim upravlja LafargeHolcim koji koriste do 100 % alternativnih goriva i 12 % alternativnih sirovina i Brevik u Norveškoj kojim upravlja HeidelbergCement koji koristi 72 % alternativnih goriva.

Osim toga, istraživanja su u tijeku, iako je u ranoj fazi korištenje električnog grijanja, plazme ili solarne energije za kalciniranje sirovina, što bi u budućnosti moglo rezultirati uštedom od 55 % CO₂ iz goriva ako se koristi obnovljiva električna energija. U kombinaciji s upotrebom vodika i goriva iz biomase za proces klinkera, to bi moglo rezultirati skoro nultom emisijom CO₂.

CEMBUREAU ima za cilj doseći 60 % alternativnih goriva koja sadrže 30 % biomase do 2030. godine i 90 % alternativnih goriva s 50 % biomase do 2050. godine.

3. Nove vrste cementnih klinkera i upotreba mineralizatora

Razvijaju se nove vrste cementnih klinkera koji se kemijski razlikuju od konvencionalnog portland cementnog klinkera. Ovo rezultira s 20 do 30 % uštede CO₂ smanjenjem količine vapnenca u formulaciji i jer zahtijevaju manje energije. Međutim, treba napomenuti da se, budući da ovi cementi imaju različita svojstva, mogu koristiti samo za specifične primjene. Primjeri za to uključuju sulfo-aluminatni klinker (SAC), fero-aluminatni klinker (FAC), belit-yeelimit-feritni klinker, kalcijev aluminatni klinker i amorfni klinker (X-klinker). [38]

CEMBUREAU cilja smanjenje procesnih emisija CO₂ od 2 % do 2030. i 5 % do 2050. Ove brojke uzimaju u obzir ograničenja u primjeni nekih od ovih cemenata i vrijeme potrebno za prihvaćanje na tržištu.

4. Toplinska učinkovitost

Peći za cement obično rade na razinama između 70 i 80 % učinkovitosti. Međutim, i dalje se može poboljšati toplinska učinkovitost nekih peći pretvaranjem predgrijača i drugih tipova peći u peći s predkalcinatorom i povratom topline iz hladnjaka za generiranje do 20 % električne energije potrebne tvornici cementa. [38]

CEMBUREAU cilja na poboljšanje toplinske učinkovitosti od 4 % do 2030. godine, pomaknuvši se na 14 % 2050. godine.

5. CCS

Već detaljno objašnjena tehnologija hvatanja ugljikovog dioksida te njegovog skladištenja.

Do 2050. planirana uporaba različitih tehnika za hvatanje ugljika smanjit će emisije CO₂ za otprilike 42 %.

8. ZAKLJUČAK

Koncept vitke i zelene proizvodnje jedan je od najboljih novijih trendova u upravljanju operacijama. Upravljanje operacijama dugo je bilo usmjereno na smanjenje otpada, tako da moderni programi upravljanja poput Lean menadžmenta predstavljaju današnju najbolju praksu u upravljanju operacijama. Čak i bez eksplicitnog ciljanja ekoloških rezultata, štedljivi naponi mogu dati dovoljne ekološke koristi. Međutim, budući da otpad iz okoliša i onečišćenje nisu glavne žarišne točke, ta se postignuća možda neće maksimizirati u normalnom pristupu Leana. Stoga se zaključuje da se dvije strategije, Lean i Green, mogu integrirati i ponuditi istovremeno u upravljanju operacijama kako bi se smanjio i otpad i onečišćenje. To će sigurno povećati produktivnost i profit organizacije. Veća produktivnost ključna je za dugoročnu konkurentnost i profitabilnost organizacija. Produktivnost se može učinkovito povećati ako se organizacijom upravlja alatima Lean proizvodnje. Za implementaciju vitkog i zelenog koncepta u operativnom upravljanju, neki alati i tehnike moraju se implementirati u rad prema potrebi.

Alati vitkog i zelenog menadžmenta koji su detaljno su opisani u radu su alati koji su najčešće korišteni u procesnim industrijama, a to uključuje mapiranje procesa, 5S, Kanban te alate za hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida. Također je opisan pristup uvođenja koncepta vitkog i zelenog menadžmenta u 10 koraka u poduzeće proizvodnje cementa – NEXE d.d.

NEXE d.d. godišnje proizvodi oko 1,1 milijun tona cementa što rezultira emisijama od 615 000 tona ugljikovog dioksida. Emisije su dobivene izračunom provedenim u radu.

Implementacijom alata vitkog i zelenog menadžmenta poduzeće NEXE d.d. smanjit će emisije ugljikovog dioksida za otprilike 15 do 30 % te će se krenuti u smjeru proizvodnje bez emisija ugljikovog dioksida kao što je propisano Pariški sporazumom.

Također, osim manjih emisija ugljikovog dioksida, poduzeće će skladišteni ugljikov dioksid moći iskoristiti u druge svrhe te tako povećati korist i profite.

LITERATURA

- [1] Rich Nick, *Lean Evolution. Lessons from the Workplace*, (Cambridge: University Press, 2006)
- [2] Strategosinc, “A Brief History of (Just-In-) Time”, http://www.strategosinc.com/just_in_time.htm (accessed October 11, 2013)
- [3] VectorStudy, “Scientific Management”, <http://vectorstudy.com/management-schools/scientific-management> (pristupljeno).
- [4] Strategosinc, “How To Chart (Map) Your Process”, http://www.strategosinc.com/process_map_example.htm (accessed October 11, 2013).
- [5] Mentalfloss, “The Electric Shock: Electric Cars Pre-Date the Civil War!”, <http://mentalfloss.com/article/18852/electric-shock-electric-cars-pre-date-civil-war> (accessed October 11, 2013).
- [6] Clarke Constanze, *Automotive Production Systems and Standardisation. From Ford to the Case of Mercedes-Benz*, (Heidelberg: Physica-Verlag, 2005)
- [7] Shingoprize, “Dr. Shigeo Shingo”, <http://www.shingoprize.org/dr-shigeo-shingo.html> (accessed October 11, 2013).
- [8] White, CH., 1996, "Distribution Logistics in the Process Industries: Establishing Railcar Requirements," Proc. of the 1996 Winter Simulation Conference
- [9] Lyons, A. C., K. Vidamour, R. Jain, and M. Sutherland. 2011. “Developing an Understanding of Lean Thinking in Process Industries.” *Production Planning and Control* 24
- [10] Chowdary, B. V., and D. George. 2012. “Improvement of Manufacturing Operations at a Pharmaceutical Company: A Lean Manufacturing Approach.” *Journal of Manufacturing Technology Management* 23
- [11] <https://slickplan.com/diagram/what-is-a-flow-diagram>
- [12] [Potential of Lean Tool of Value Stream Mapping (VSM) in Manufacturing Industries, Muhammad Ali Khan], <http://www.ieomsociety.org/harare2020/papers/698.pdf>
- [13] Getting Started with Kanban, Paul Klipp, <https://docplayer.net/10582336-Getting-started-with-kanban-paul-klipp.html>
- [14] Lean 2012 Increase efficiency and organization with Akro-Mils and 5S Lean Akro-Mils/Myers Ind.

- [15] The 5S lean method as a tool of industrial management performances, F C Filip and V Marascu-Klein 2015 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng; https://www.researchgate.net/publication/283699186_The_5S_lean_method_as_a_tool_of_industrial_management_performances
- [16] Alejandro Germán Frank, Lucas Santos Dalenogare, Néstor Fabián Ayala, Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies, *International Journal of Production Economics*, 2019., <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527319300040>
- [17] K Lasi, H., Fettke, P., Kemper, HG. et al. *Industry 4.0. Bus Inf Syst Eng* 6, 239–242 (2014)., <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- [18] Deif, A. M. (2011), “A system model for green manufacturing”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19 No. 14, pp. 1553-1559.
- [19] Rao, P. and Holt, D. (2005), “Do Green supply chains lead to competitiveness and economic performance?”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25 No. 9, pp. 898-916.
- [20] Rusinko, C. A. (2007), “Green manufacturing: an evaluation of environmentally sustainable manufacturing practices and their impact on competitive outcomes”, *Engineering Management IEEE Transactions on*
- [21] UNFCCC (United Nations Framework on Climate Change). Adoption of the Paris Agreement. In the Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session (held in Paris from 30 November to 13 December 2015), Addendum, Report No. FCCC/CP/2015/10/Add.1. United Nations, 29 January 2016. Available online: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>
- [22] Bansal, P.; Roth, K. Why companies go green: A model of ecological responsiveness.
- [23] Christmann, P. Effects of “best practices” of environmental management on cost advantage: The role of complementary assets.
- [24] Udall, S.L. (1963), *The Quiet Crisis*, Holt, Rinehart & Winston, New York, NY.
Wernerfelt, B. (1984), “A resource-based view of the firm”, *Strategic Management Journal*,
- [25] Natrass, B. and Altomare, M. (1999), *The Natural Step for Business: Wealth, Ecology and the Evolutionary Corporation*
- [26] ENVIS Centre on Control of Pollution Water, Air and Noise; <http://cpcbenviis.nic.in/greentechnology.html#>

- [27] <https://www.thermaxglobal.com/techniques-of-air-pollution-control/>
- [28] Global Carbon Atlas; IEA; Intergovernmental Panel on Climate Change; IHS Markit
- [29] IEAGHG; <https://ieaghg.org>
- [30] Global Carbon Atlas; <http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas>
- [31] Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet, <https://www.elsevier.com/books/T/A/9780081028865>
- [32] Global CCS Institute - Global Status of CCS Report 2020; <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/03/Global-Status-of-CCS-Report-English.pdf>
- [33] Prijedlog strategije niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske
- [34] Marland, G., T.A. Boden, R.C. Griffin, S.F. Huang, P. Kanciruk and T.R. Nelson (1989), *Estimates of CO₂ Emissions from Fossil Fuel Burning and Cement Manufacturing*, Based on the United Nations Energy Statistics and the U.S. Bureau of Mines Cement Manufacturing Data
- [35] CO₂ Emissions from cement production; Michael J. Gibbs, Peter Soyka and David Conneely (ICF Incorporated); https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/3_1_Cement_Production.pdf
- [36] Zahtjev za utvrđivanje objedinjenih uvjeta zaštite okoliša postojećeg postrojenja; [https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/Okolišna%20dozvola/OUZO-postojeće/Zahtjev_za_utvrdivanje_objedinjenih_uvjeta_zastite_okolisa_\(nasicecement\).pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/Okolišna%20dozvola/OUZO-postojeće/Zahtjev_za_utvrdivanje_objedinjenih_uvjeta_zastite_okolisa_(nasicecement).pdf)
- [37] Tehničko – tehnološko rješenje postojećeg postrojenja za proizvodnju cementnog klinkera Našicecement d.d., Našice u 2017. godini; Napisali: Mirko Budiša, Sonja Burela, ECOINA d.o.o.; [https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/Okolišna%20dozvola/OUZO-postojeće/Tehnicko-tehnolosko_rjesenje_\(nasicecement\).pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/Okolišna%20dozvola/OUZO-postojeće/Tehnicko-tehnolosko_rjesenje_(nasicecement).pdf)
- [38] Reaching climate neutrality along the cement and concrete value chain by 2050; https://cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap_final-version_web.pdf
- [39] <https://www.nexe.hr>
- [40] <http://www.croatiacement.hr/hr/cement-proizvodni-proces.php>
- [41] Primjer iz prakse, NEXE d.d.

-
- [42] <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/italcementi-im-visier-heidelberg-cement-bietet-milliarden-fuer-konkurrenten/12116674.html>
- [43] <https://www.twinkl.hr/teaching-wiki/flow-chart>
- [44] <https://venngage.com/blog/cross-functional-flowchart/>
- [45] <https://www.lucidchart.com/blog/diagrams-for-dummies-a-BPMN-tutorial>
- [46] <https://www.projectengineer.net/steps-to-powerful-value-stream-mapping/>
- [47] <https://www.nixonhire.co.uk/news/implementing-5s-methodology-across-our-depot-network>
- [48] <https://www.semanticscholar.org/paper/Challenges-in-implementing-Industry-4.0-in-Pöllänen-Hekkala/7a2b54a418f526503b6567695410aaa9d83dda70>
- [49] <https://aldiamagzzz.blogspot.com/2021/10/natalie-morales-before-accident.html>
- [50] <https://www.malls-365.xyz/products.aspx?cname=tesla+x100&cid=4>
- [51] <https://www.powermag.com/98436-2/>
- [52] <https://theaviationbase.com/direct-air-capture-is-time-travel-possible/>
- [53] <https://ccsknowledge.com/bd3-ccs-facility>
- [54] <https://cementplantsupplier.com/cement-manufacturing/cement-clinker-quality/>
- [55] <https://mrkve.etfos.hr/pred/ozm/si/sem26.pdf>
- [56] <https://mrkve.etfos.hr/pred/ozm/si/sem26.pdf>
- [57] <https://www.bacareers.in/kanban-methodology/>

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija