

Praćenje zastoja u proizvodnji

Škrlec, Borna

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:522606>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Borna Škrlec

Zagreb, godina 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Miro Hegedić

Student:

Borna Škrlec

Zagreb, godina 2021.

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

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Miri Hegediću na strpljenju, razumijevanju, savjetima i pomoći pri izradi ovog rada te ideji za odrađivanje industrijske prakse.

Zahvaljujem se i Zagrebačkoj pivovari i kolegama iz održavanja na pruženoj prilici, iskustvu i dopuštenju za korištenje određenih podataka za potrebe ovog rada.

Posebna hvala mojim prijateljima i kolegama s fakulteta na druženjima, podršci i pomoći tijekom čitavih sedam semestara mog dosadašnjeg studiranja na FSB-u.

Najveća hvala tati i mami. Na svemu.

Borna Škrlec



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 21 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Borna Škrlec**

Mat. br.: 0035214525

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Praćenje zastoja u proizvodnji**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Monitoring production downtime**

Opis zadatka:

Zastoji u proizvodnji mogu nastati iz različitih razloga, kao što je kvar stroja, nedostatak materijala, odsutnost radnika i sl. Poduzeća danas koriste različite načine kako bi pratili ove zastoje, a često se dogodi da su informacije o zastojima zabilježene, ali se iste dalje ne analiziraju i ne koriste. Ovakva situacija predstavlja priliku za unaprijeđenje i stvaranje dodatne vrijednosti za korisnika i samo poduzeće ukoliko bi se prikupljeni podaci koristili na pravilan način.

U radu je potrebno:

1. Opisati praćenje zastoja u proizvodnji.
2. Definirati vrste zastoja i istražiti trendove u praćenju istih u proizvodnji.
3. Opisati softverske alate koji se mogu koristiti za prikupljanje i analizu zastoja.
4. Na jednom realnom primjeru primijeniti određeni alat za analizu zastoja.
5. Na temelju analize predložiti moguća poboljšanja.

Zadatak zadan:
30. studenoga 2020.

Datum predaje rada:
1. rok: 18. veljače 2021.
2. rok (izvanredni): 5. srpnja 2021.
3. rok: 23. rujna 2021.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 22.2. – 26.2.2021.
2. rok (izvanredni): 9.7.2021.
3. rok: 27.9. – 1.10.2021.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Miro Hegedić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD.....	1
2. RAZLOZI PRAĆENJA ZASTOJA U PROIZVODNJI.....	3
2.1. Uzroci zastoja u proizvodnji	3
2.2. Prednosti praćenja zastoja u proizvodnji	5
3. VRSTE ZASTOJA U PROIZVODNJI	7
3.1. Uvodna razmatranja	7
3.2. Planirani zastoji.....	8
3.3. Neplanirani zastoji	9
3.3.1. Oštećenja.....	9
3.3.2. Kvarovi	10
3.3.3. Havarije.....	11
4. TRENDIVI U PREVENCIJI I PRAĆENJU ZASTOJA U PROIZVODNJI.....	12
4.1. Održavanje u proizvodnji.....	12
4.2. Strategije održavanja u proizvodnji	13
4.3. Preventivno održavanje.....	14
4.3.1. Održavanje po konstantnom ciklusu.....	15
4.3.2. Održavanje po stanju.....	16
4.3.3. Proaktivno održavanje	19
4.3.3.1. RCFA metoda	20
4.3.3.2. FMEA metoda.....	21
4.3.3.3. RCM metoda.....	22
4.4. OEE.....	23
5. SOFTVERSKI ALATI ZA PRIKUPLJANJE I ANALIZU ZASTOJA U PROIZVODNJI	26
5.1. Prikupljanje informacija o zastojima	26
5.1.1. SAP	26
5.2. Analiza zastoja	27
5.2.1. Microsoft Excel.....	29
5.2.2. R (programski jezik)	30
5.2.2.1. RStudio	32
6. ANALIZA ZASTOJA NA REALNOM PRIMJERU	34
6.1. Uvodna razmatranja	34
6.2. Provođenje analize	36
6.3. Zaključak i moguća poboljšanja	41
7. ZAKLJUČAK.....	43

LITERATURA.....	45
PRILOZI.....	46

POPIS SLIKA

Slika 1.	Mehanizmi nastanka kvarova [1]	4
Slika 2.	Općenita raščlamba vremena radne smjene [4].....	7
Slika 3.	Pranje dijela proizvodnog pogona u prehrambenoj industriji [5].....	8
Slika 4.	Pokvaren ležaj koji više nije u funkciji [7].....	10
Slika 5.	Černobilska nesreća [8]	11
Slika 6.	Prikaz međuovisnosti elemenata pri održavanju	13
Slika 7.	Podjela preventivnog održavanja [1].....	15
Slika 8.	Postupak uvođenja održavanja po stanju kontrolom parametara [1]	18
Slika 9.	Detaljnija raščlamba vremena radne smjene [9]	24
Slika 10.	Primjer izgleda korisničkog sučelja u SAP-u [14]	27
Slika 11.	Primjer tortnog grafikona u Excelu	30
Slika 12.	Logotip R programskog jezika [13]	31
Slika 13.	Izgled korisničkog sučelja u R-u, verzija 4.0.3	32
Slika 14.	Izgled korisničkog sučelja u RStudios	33
Slika 15.	Shematski prikaz linije za punjenje pivskih boca [11].....	34
Slika 16.	Izgled dijela tablice koja sadržava sve radne naloge.....	36
Slika 17.	Excel tablica importirana u RStudio	37
Slika 18.	Pareto grafikon - zastoji za L2 liniju	38
Slika 19.	Pareto grafikon – zastoji za Q liniju	39
Slika 20.	Pareto grafikon – zastoji za punjač na L2 liniji.....	40
Slika 21.	Pareto grafikon – zastoji za stroj za izradu paketa na Q liniji.....	41

POPIS TABLICA

Tablica 1. Primjer tablice za FMEA analizu [1] 22

SAŽETAK

Zastoji u proizvodnji svakodnevna su pojava i razlozi njihovih pojavljivanja su višestruki. Praćenje zastoja, kao i njihova prevencija, važan je zadatak u kompanijama koje su usmjerene na proizvodnju te predstavlja neiscrpan izazov za menadžere te sektor održavanja. Upravo su stručnjaci održavanja ti koji vode najveću brigu s praćenjem zastoja i nastoje smanjiti frekvenciju pojava neplaniranih kvarova i ostalih uzročnika kvarova kako bi uštedjeli vrijeme i novac svome poduzeću. U ovom radu predstavljene su brojne pogodnosti praćenja zastoja, objašnjena uloga održavanja u proizvodnji, naglašena važnost korištenja softverskih alata i dana je analiza zastoja na konkretnom primjeru.

Ključne riječi: zastoj, kvar, održavanje, strategije održavanja, softverski alati za praćenje zastoja.

SUMMARY

Production downtime is an everyday phenomenon and the causes of its occurrence are multiple. Monitoring downtime, as well as preventing downtime, is an important task in production focused companies and it represents a inexhaustible challenge for the company managers and maintenance sector. It is precisely the maintenance experts who take the greatest care of keeping track of downtime and they are the ones who strive to reduce the frequency of unplanned failures and other causes of breakdown in order to save time and money for their company. This paper presents many advantages of monitoring downtime, it explains the role of maintenance in production, it highlights the importance of using software tools and there is an analysis given on a real example.

Key words: downtime, breakdown, maintenance, maintenance strategies, software tools for keeping track of downtime.

1. UVOD

Zastoji u proizvodnji karakteristični su za svaki proizvodni pogon jer niti jedan iole složeniji proizvodni pogon ne funkcionira savršeno. No, u samom početku ovog rada valjalo bi razjasniti i definirati pojam koji će se neprestano koristiti u predstojećim poglavljima, a to je zastoj. Prema [1], zastoj je definiran kao vremenski interval tijekom kojeg oprema ne radi iz više razloga, odnosno zastoj predstavlja prekid u normalnom funkcioniranju radnih sustava kao što je, primjerice, proizvodni sustav.

Također, prijeko je potrebno shvatiti razliku između kvara i zastoja, dva pojma koja bi se mogla u potpunosti poistovjetiti ako se tematici rada pristupa s laičkog gledišta. To jesu srodni pojmovi, međutim ne znače isto. Može se reći kako je svaki kvar zastoj, no nije svaki zastoj ujedno i kvar, dakle kvarovi dijelova opreme samo su podskup zastoja, jedan od mogućih uzročnika zastoja u radnom sustavu. Ukratko, kvarovi strojeva uzrokuju zastoje, ali ne i obrnuto.

U današnje vrijeme, zastoji u proizvodnji nezaobilazni su i njihovo je praćenje zapravo obaveza svake ozbiljnije kompanije koja želi konstantno napredovati i tako držati korak ili čak ostvariti prednost nad konkurencijom. Poduzeća danas koriste različite načine za praćenje zastoja, a sve to u svrhu prevencije neplaniranih i neželjenih zastoja koji predstavljaju trošak u jednom ili drugom obliku za poduzeće. Najvažniju ulogu u toj priči igra sektor održavanja čiji se zaposlenici bave predviđanjem zastoja, njihovim praćenjem te provođenjem mjera za prevenciju istih.

Stručnjaci u održavanju bi trebali nastojati bilježiti informacije o zastojima kada do njih dođe i tako malo pomalo stvarati jednu bazu povijesnih podataka o zastojima koja se može iskoristiti u određenom trenutku u budućnosti. Iznimno je važno iskoristiti takve baze podataka i to na pravi način jer iz analize tih prikupljenih povijesnih podataka moguće je, uz adekvatna znanja i vještine, doći do zaključaka koji će biti itekako indikativni i uputiti menadžment poduzeća na donošenje određenih odluka u cilju smanjenja troškova, odnosno uštede vremena, novca i ostalih resursa što će u konačnici rezultirati poboljšanjima u poslovanju.

Bitan aspekt održavanja u proizvodnji jest strategija održavanja koja se primjenjuje kao oružje u borbi protiv pojave neplaniranih zastoja, metaforički rečeno. Postoji više različitih strategija održavanja, od kojih su neke potpuno zastarjele i dokazano manje isplative od drugih. Stoga je vrlo važno biti u toku s najnovijim saznanjima na području održavanja, pratiti trendove što je više moguće i u skladu sa specifičnim karakteristikama vlastite proizvodnje odabrati jednu od

postojećih strategija održavanja, implementirati ju i prilagoditi svojim potrebama. Jedna od najpopularnijih strategija danas jest preventivno održavanje koje se pak dijeli na podvrste koje su iste u svojim temeljnim principima, no ipak postoje jasne razlike između svake od njih. Iz tog razloga, važno je mudro odvagnuti, osvijestiti prednosti i mane svake od mogućih strategija održavanja jer nijedna od njih nije savršena i pokušati donijeti najbolju moguću odluku s obzirom na radni sustav i budžet.

Kao i u većini slučajeva u proizvodnom i poslovnom svijetu, tako je i kod praćenja zastoja sve prisutnija tehnologija. Softverski alati koji pomažu u prikupljanju ili analizi podataka o zastojima sastavni su dio ove priče. Postoji zaista mnogo različitih softverskih alata i ključno je odabrati one koji će u što većoj mjeri pomoći stručnjacima održavanja i uz to, od iznimne je važnosti imati zaposlenike koji znaju i umiju pravilno rukovati tim alatima i na taj način izvući maksimalan potencijal iz dostupnih podataka i prethodnih saznanja.

2. RAZLOZI PRAĆENJA ZASTOJA U PROIZVODNJI

2.1. Uzroci zastoja u proizvodnji

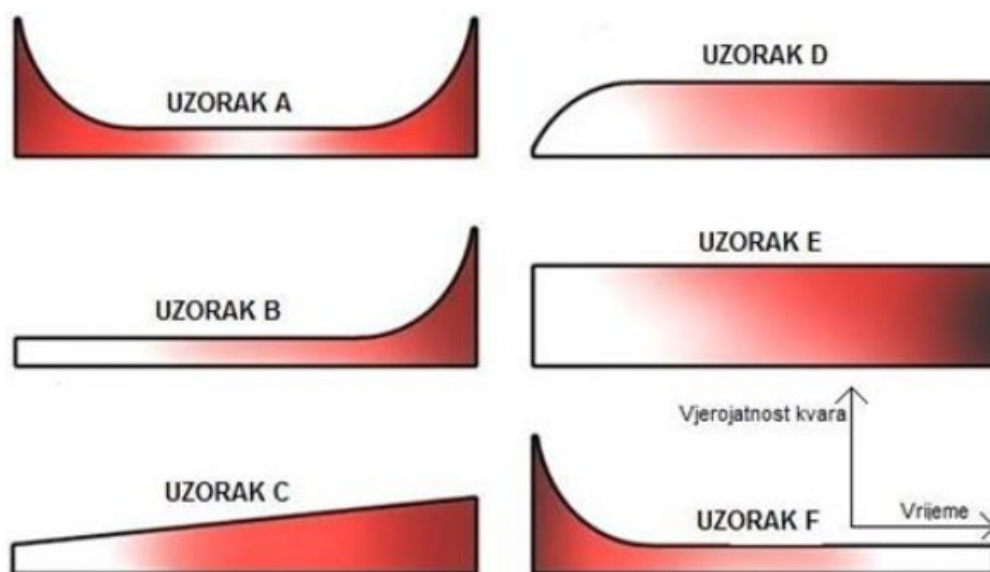
Zastoji u proizvodnji tipična su i normalna pojava te sastavni dio svakog proizvodnog pogona, što u prošlim vremenima, što u sadašnjosti, a teško će se izbjeći i u budućnosti. Iako se radi o uobičajenoj pojavi, pojava poput zastoja nikako nije poželjna te predstavlja jedan od najvećih problema u proizvodnji, posebice ako se radi o neplaniranim zastojima, odnosno zastojima koji nisu bili predviđeni.

Bitno je shvatiti kako zastoji nisu isključivo posljedica kvarova određenih strojeva, već mogu nastati iz različitih razloga. Ne postoji univerzalna i općeprihvaćena podjela uzroka zastoja (pritom se misli na neplanirane zastoje), no velika većina se svodi na pet sličnih kategorija zbog kojih zastoji mogu nastati. To bi bili [2,3]:

- a) kvar stroja
- b) nedostupnost/nedostatak materijala te rezervnih dijelova
- c) neadekvatan plan prevencije zastoja
- d) ljudska pogreška
- e) manjak ili izostanak kvalitetnog skupljanja povijesnih podataka te loša ili nikakva analiza istih.

Nadalje, važno je naglasiti kako je svaki proizvodni pogon jedinstven pa su mogući i neki nenađeni uzroci zastoja, no spomenutim kategorijama obuhvaćeni su najčešći uzroci pojava zastoja u proizvodnji.

Što se tiče kvarova strojeva, oni mogu biti u korelaciji s točkom c), odnosno posljedica loše implementacije plana prevencije zastoja, no nerijetko su to slučajna i nenadana otkazivanja poslušnosti samog stroja ili pak kvarovi koji nastaju zbog starosti i dotrajalosti strojeva i opreme. Kvarovi strojeva se sami po sebi (dakle bez ljudskog utjecaja) događaju po šest vrsta mehanizama [slika 1].



Slika 1. Mehanizmi nastanka kvarova [1]

Točka b) je prilično jasna sama po sebi – radi se o nemogućnosti daljnjeg tijeka proizvodnje jer je negdje „zapelo“. Npr. zastoje se može dogoditi u proizvodnji piva, točnije kod punjenja boca piva ako nestane etiketa za boce. U tom slučaju boce moraju čekati na proizvodnoj liniji dok ponovno ne bude omogućeno stavljanje etiketa na boce. Također, ako neki stroj zahtijeva servis ili samo promjenu nekog dijela kao što je ležaj, može doći do dužeg zastoja ako tog određenog ležaja nema na skladištu i potrebno je čekati njegovu nabavu i dopremu do stroja kako bi ga se ugradilo. Takvi se zastoje mogu vrlo lako izbjeći kvalitetnim vođenjem evidencije, obraćanjem pozornosti na situaciju na zalihama te pravovremenim nabavkama.

Planovi prevencije zastoja prilično su široka tema i o tome će biti više rečeno u četvrtom poglavlju ovog rada, ali treba istaknuti da u moru različitih pristupa i strategija u održavanju, a samim time i prevenciji zastoja te kvarova nije nemoguće odlučiti se za pogrešan pristup ili nedovoljno dobro implementirati neku strategiju održavanja što može rezultirati nenadanim kvarovima ili pak pretjeranom i nepotrebnom količinom planiranih zastoja.

Sljedeća kategorija jest ljudska pogreška koja je također opširan pojam i može biti protumačena na više načina. Uglavnom, radi se o situacijama u proizvodnji kada se krivica pripisuje ljudskoj osobi, tj. radniku i njegovim postupcima u proizvodnji. U to spadaju banalne stvari od samog nedolaska na posao (ponajprije nenajavljenog), ali i do slabe obuke radnika, greške u proračunu (npr. netočno proračunavanje mjernih jedinica), pogrešne procjene, nedovoljan angažman, nespretnost na radnom mjestu, lijenost općenito itd.

Vežano uz točku e), izostanak kvalitetne baze podataka i povijesti zastoja i popravaka se možda i ne čini kao velik problem u startu, no nikako se ne smije smatrati manje važnim od ostalih navedenih i opisanih uzroka zastoja u proizvodnji. Neuređena i nedovoljno dobro održavana baza podataka česta je boljka mnogih, čak i onih poznatih, financijski uspješnih i velikih poduzeća. Pouzdana i bogata baza podataka je „plodno tlo“ za efikasne i djelotvorne analize koje mogu izbaciti vrlo značajne rezultate u vidu daljnjih koraka ili promjene strategije poduzeća. Koliko je ovaj aspekt praćenja zastoja, ali i proizvodnje općenito, s vremenom postao bitan, govori činjenica kako sve više vrhunskih tvrtki zapošljava podatkovne analitičare koji su zaduženi za upravo ovakve i slične stvari gdje svojim vještinama i sposobnostima mogu iščitati podatke i doći do zaključaka koji se mogu pokazati ključnima za samu tvrtku.

U praktičnom dijelu ovog rada, fokus će, između ostalog, biti i upravo na uzrocima zastoja ove kategorije.

2.2. Prednosti praćenja zastoja u proizvodnji

Iako je o prednostima praćenja zastoja već ponešto bilo rečeno u prvome dijelu ovog poglavlja, vrijedi istaknuti još neke. Praćenje zastoja samo po sebi daje mogućnost da se dobije odličan pregled proizvodnog pogona i detektiraju slabe točke istog. Tome će itekako doprinijeti organizirano i konstantno bilježenje potrebnih podataka i pametno arhiviranje. Na taj se način stvara jedna zdrava baza podataka koja može biti iznimno korisna u budućnosti pri provođenju nekih analiza. Dakle, moći će se lakše uočiti određeni uzorci koji se možda iznova ponavljaju i otežavaju proizvodnju pa će to biti signal menadžmentu poduzeća koji će ih nagnati da se fokusiraju na točno određene dijelove proizvodnje i proizvodnog pogona i tako riješe učestale probleme.

Pravovremeno detektiranje poteškoća u proizvodnji može, prije svega, rezultirati uštedom vremena, a samim time i novaca te ostalih resursa jedne tvrtke. Okolišanje i pasivno promatranje pojavljivanja zastoja ne doprinosi pozitivnim stvarima i može uroditi samo gubitcima za poduzeće. Stoga je vrlo važno razumjeti posljedice zastoja, shvatiti zašto do njih dolazi te kako ih reducirati što je više moguće.

Također, praćenje zastoja je bitno i u kontekstu lean menadžmenta koji postaje sve učestaliji i popularniji jer za uspješnu implementaciju *leana* u poduzeće ključno je znati poziciju poduzeća, tj. uvidjeti trenutne probleme i identificirati prostor za moguća poboljšanja. Praćenje zastoja nije jednokratan proces i ne može mu se ustanoviti kraj, već se radi o konstantnom kontroliranju

proizvodnje, a glavna nit vodilja cijele priče i razlog zašto bi se zastoji trebali pratiti je dobrobit samog poduzeća, odnosno ostvarivanje prednosti nad konkurencijom kroz uštedu vremena, novaca i materijala.

3. VRSTE ZASTOJA U PROIZVODNJI

3.1. Uvodna razmatranja

U prethodnom poglavlju dana je podjela uzroka zastoja u proizvodnji, a ovdje će biti riječ o samim zastojima. Zastoji u proizvodnji se općenito mogu podijeliti u dvije osnovne grupe, a to su planirani i neplanirani zastoji. Ako se ta dva tipa zastoja promatraju kroz sferu jedne radne smjene, grafički je to prikazano na [slici 2]. U industriji se najčešće proizvodnja odvija u tri radne smjene u trajanju od 8 sati ili eventualno u dvije radne smjene, svaka u trajanju od 12 sati.



Slika 2. Općenita raščlamba vremena radne smjene [4]

Dakle, jedna radna smjena može se podijeliti na njeno planirano operativno vrijeme te na planirani zastoј. Uz to, planirano operativno vrijeme se dalje dijeli na stvarno operativno vrijeme te na neplanirani zastoј. Stvarno operativno vrijeme (zelena boja na slici) označava vrijeme u kojem je proizvodna linija zaista bila u pogonu i to je period za čije se vrijeme obavljao koristan rad. To vrijeme nije nužno jednako planiranom operativnom vremenu koje je bilo određeno od strane menadžmenta, baš kao i planirani zastoј, jer je moglo doći do nekih nepredviđenih situacija koje su otežale pa čak i zaustavile proizvodnju pa se to manifestira u obliku neplaniranog zastoja (crvena boja na slici) koji svojom pojavom skraćuje stvarno operativno vrijeme.

3.2. Planirani zastoji

Planirani zastoji definiraju se kao vremensko trajanje koje nastaje kao posljedica odluka menadžmenta poduzeća da privremeno zaustavi proizvodni proces. Menadžment to može činiti iz različitih razloga, a neki od njih bi bili preventivno održavanje, projekti poboljšanja, promjena prioriteta itd. [4] Ukoliko govorimo o konkretnim primjerima u praksi, to bi bili postupci poput:

- pranja, čišćenja i dezinfekcije
- zamjene strojnih dijelova
- podmazivanja
- planiranih zamjena akumulatora ili baterija
- redovne kontrole
- raznih testiranja i slično.

Planiranim zastojima moguće je u nekim slučajevima samo usporiti proizvodnju, a ne ju zaustaviti u potpunosti što je, naravno, manje povoljna opcija. Uglavnom, planirani zastoji traju kraće od neplaniranih, iziskuju manje troškova i oni su direktna posljedica strategije održavanja kojom se poduzeće nastoji voditi. Osim toga, iako po definiciji jesu zastoji, planirane zastoje nikako ne treba gledati u negativnom svjetlu jer su beneficije ovakve vrste zastoja brojne. Njihova svrha jest upravo produženje vijeka trajanja strojeva i opreme, sprječavanje pojave kvarova, a samim time i neplaniranih zastoja, mogućnost zakazivanja zastoja u točno određeno i neko pogodno vrijeme kao i mogućnost prikupljanja podataka koji se mogu koristiti za buduću optimizaciju proizvodnje i njoj pripadajućih proizvodnih procesa.



Slika 3. Pranje dijela proizvodnog pogona u prehrambenoj industriji [5]

3.3. Neplanirani zastoji

Neplanirani zastoji druga su skupina zastoja i noćna mora svakog upravitelja u sektoru održavanja. Riječ je o zastojima koji su često nepredvidljivi, nemaju ustaljenu frekvenciju pojavljivanja i nije ih moguće isplanirati i zakazati u kalendaru. Događaju se stohastički, bez nekih pravila i obrazaca i variraju po težini štete koju nanose. U načelu rezultiraju većim troškovima nego što je to slučaj kod planiranih zastoja, ali naravno da su mogući ishodi u kojima je neplanirani zastoj zaista minimalan, vrlo kratkog trajanja i bez velikih posljedica. Primjer bi bilo spontano izbacivanje sklopke na nekom od strojeva koju je samo potrebno ponovno uključiti i na taj način vratiti stroj u normalnu funkciju.

Valja istaknuti kako neplanirani zastoji nisu samo gubitak vremena i novaca, nego predstavljaju i potencijalnu opasnost za radnike i okoliš, odnosno prirodu. Nepobitna činjenica jest da neplanirani zastoji uzrokuju nesigurnost. Neplanirano isključenje ili kvar opreme znači da osoblje ima manje vremena za reakciju na sigurnosne probleme, što može dovesti do ozljeda. Neočekivani zastoji također otežavaju radnicima postrojenja donošenje ispravnih odluka o tome kako reagirati na novu situaciju u tome trenutku.

Ukoliko proizvodnja teče planirano i neometano, poduzeća se nalaze u boljoj poziciji da se propisno pridržavaju regulativa o zaštiti okoliša i uspješno provode mjere održivosti. Neplanirani zastoji mogu poremetiti ove procese i imati velik učinak na okoliš. Šanse za incidente poput izgaranja plina ili izlivanja goriva znatno se povećavaju kao rezultat neplaniranog zastoja. Shodno tome, važno je uvijek imati spremnu opciju brzog i kompletnog isključenja postrojenja koje bi umanjilo štetu [6]. U sklopu ove teme, u nastavku će se detaljnije obraditi tri pojma vezana uz koncept neplaniranih zastoja.

3.3.1. Oštećenja

Oštećenje je promjena stanja radnog sustava ili njegovih komponenti koja još ne smeta funkcioniranju radnog sustava, ali se može razviti u kvar [1]. Dakle, oštećenje direktno ne implicira pojavu zastoja, no može ga se smatrati prethodnikom kvarova. Pravovremena detekcija oštećenja vrlo je važna jer to znači da još nije prekasno, odnosno potencijalni kvar se, primjerice, može spriječiti popravkom oštećenog dijela u stroju.

3.3.2. Kvarovi

Kvarom se naziva svaki lom, deformacija, istrošenje, izgaranje i sl. u proizvodnom pogonu [1]. Govoreći u kontekstu zastoja u proizvodnji općenito, mehanički kvarovi su glavna asocijacija na njih. Oni mogu nastati iz različitih razloga, od kojih su neki:

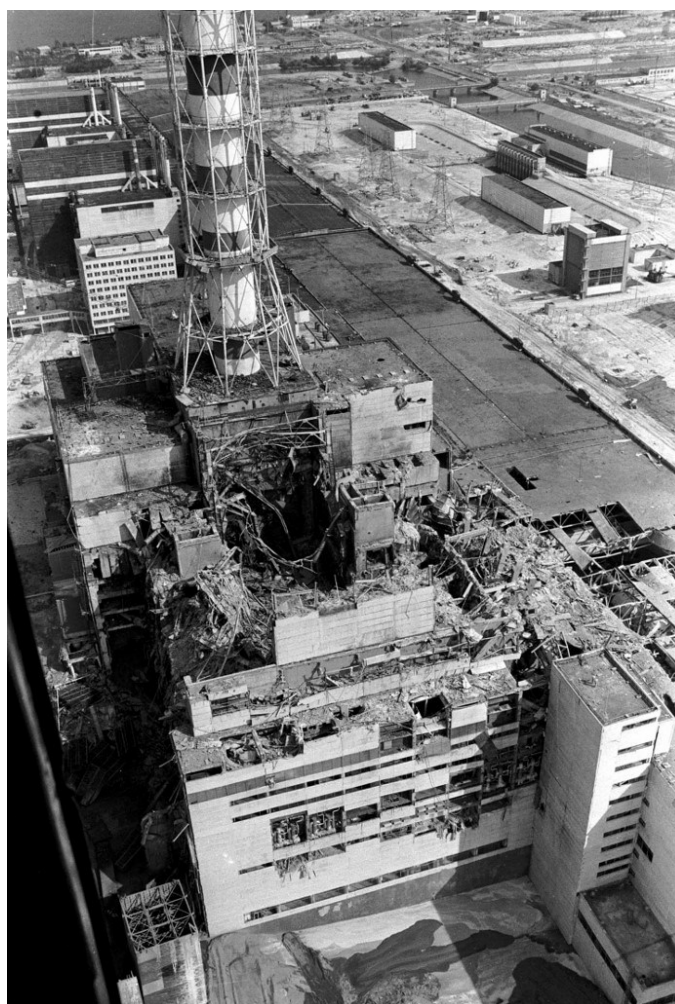
- nedovoljno dobra kvaliteta novoinstalirane opreme (roba s greškom)
- neadekvatno i trajavo održavanje opreme
- dotrajalost i zamor strojnih dijelova
- ljudska greška pri rukovanju opremom
- vanjski, okolišni faktori (npr. potres).



Slika 4. Pokvaren ležaj koji više nije u funkciji [7]

3.3.3. Havarije

Havarija je teži oblik kvara radnog sustava kod kojeg dolazi do potpunog uništenja radnog sustava ili neke od njegovih komponenti s mogućim negativnim djelovanjem na okoliš [1]. To je apsolutno najgori mogući scenarij koji se događa neusporedivo rjeđe u odnosu na „obična“ oštećenja i kvarove. Svako bi ozbiljnije poduzeće s proizvodnim postrojenjem trebalo imati propisane postupke kojih se treba pridržavati u slučaju havarije, pogotovo ako se radi o postrojenjima koja su visokog rizika. Havarija predstavlja ne samo ogroman trošak i gubitak za poduzeće, već i može donijeti negativne posljedice na radnike i ljude u blizini proizvodnog pogona. Naravno, jedan od najpoznatijih, ali i ekstremnijih primjera havarije jest eksplozija nuklearne elektrane u Černobilu 1986. godine.



Slika 5. Černobilska nesreća [8]

4. TRENDVI U PREVENCIJI I PRAĆENJU ZASTOJA U PROIZVODNJI

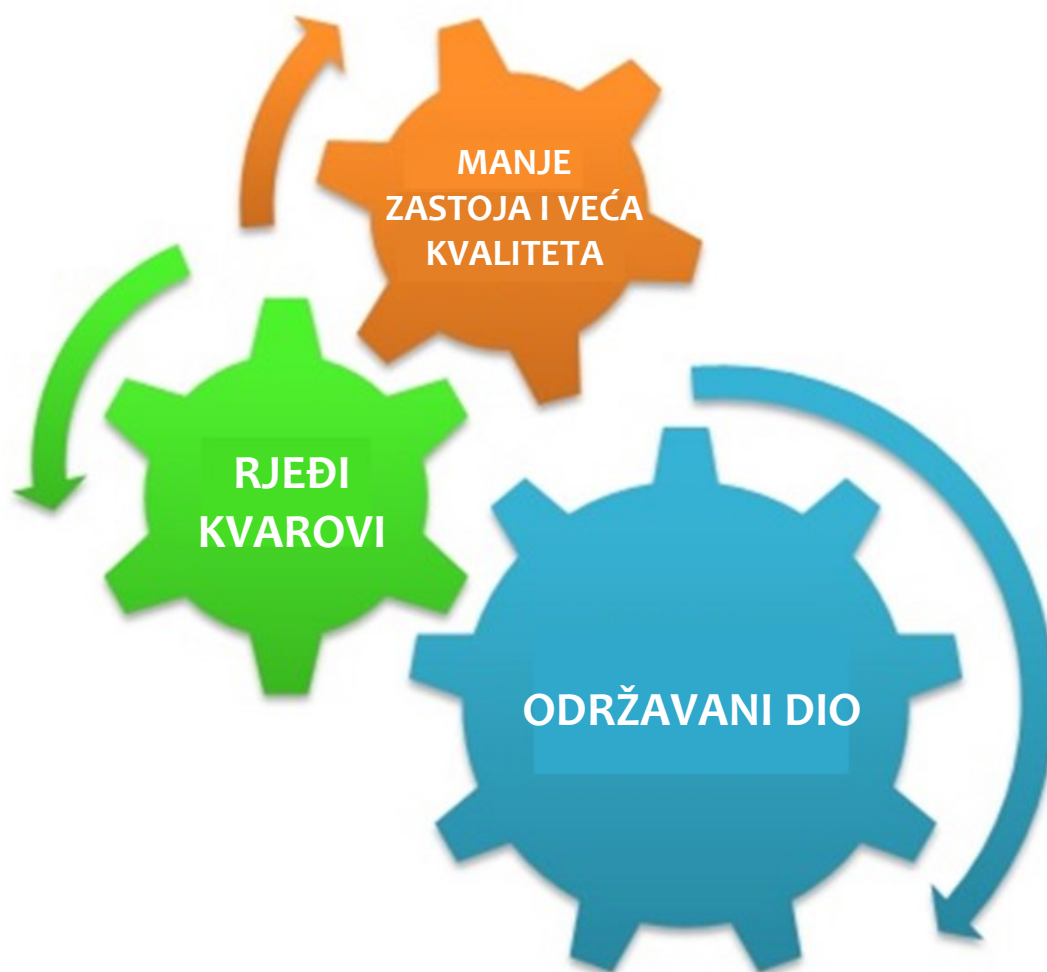
4.1. Održavanje u proizvodnji

Nemoguće je sagledati zastoje u proizvodnji i njihovo praćenje bez spominjanja uloge održavanja. Sektor održavanja nekog poduzeća ima glavnu ulogu u praćenju zastoja u proizvodnji i zaposlenici tog odjela snose najveći teret što se tiče smanjenja troškova zbog neplaniranih zastoja. Sam pojam održavanja ima više definicija i tumačenja, a ovdje će se navesti definicija prema EFNMS-u (European Federation of National Maintenance Societies): Održavanje je funkcija poduzeća kojoj su povjerene stalna kontrola nad postrojenjima i obavljanje određenih popravaka i revizija, čime se omogućava stalna funkcionalna sposobnost i očuvanje proizvodnih i pomoćnih postrojenja te ostale opreme.

Ciljevi funkcije održavanja su višestruki [1]:

- osiguravanje optimalne raspoloživosti nabavljene i instalirane opreme u proizvodnim poduzećima uz što manje troškove
- svođenje na minimum troškova održavanja zbog zastoja uzrokovanih neplaniranim kvarovima koji dovode do gubitaka u proizvodnji
- usporavanje zastarijevanja radnih sustava čija je posljedica smanjenje kvalitete proizvoda i pojava škarta u proizvodnji
- praćenje rada sustava te predlaganje i provođenje modernizacije i modifikacije u cilju poboljšanja radnih karakteristika i produljenja životnog vijeka opreme
- praćenje utjecaja opreme na okolinu, nalaženje i otklanjanje slabih mjesta.

Zaposlenici poduzeća zaduženi za održavanje moraju zajedno s menadžmentom odlučiti na koji će način pristupiti održavanju opreme, tj. koju će strategiju primijeniti. Bitno je shvatiti kako niti jedna strategija održavanja nije savršena i nije moguće odabrati strategiju koja će, po primjeni, u potpunosti eliminirati zastoje u proizvodnji. Većina strategija iziskuje uvođenje spominjanih planiranih zastoja s ciljem smanjenja učestalosti pojavljivanja neplaniranih i nepogodnijih zastoja. Nit vodilja stručnjaka održavanja mora biti pronaći, odnosno težiti savršenoj ravnoteži u količini planiranih zastoja jer nijedan sektor održavanja nema beskonačan budžet niti si može priuštiti pretjeran broj planiranih zastoja, pogotovo ako se radi o nepotrebnim postupcima koji u konačnici čine više štete nego koristi.



Slika 6. Prikaz međuovisnosti elemenata pri održavanju

4.2. Strategije održavanja u proizvodnji

Na 1. europskom kongresu EFNMS-a u Wiesbadenu 1972. godine predstavljeno je pet načela održavanja [1]:

1. Čekaj i vidi (aktivnost popravka kvara započinje nakon pojave kvara)
2. Oportunističko održavanje (nakon pojave kvara uvodi se preventivno održavanje)
3. Preventivno održavanje (aktivnosti održavanja provode se prije pojave kvara u cilju sprječavanja pojave kvara u budućnosti)
4. Predviđanje održavanja (aktivnosti održavanja provode se prije pojave kvara u cilju predviđanja vjerojatnosti nastanka kvara)
5. Održavanje po stanju (aktivnosti održavanja provode se na temelju utvrđenog stanja tehničkog sustava)

Navedena načela održavanja su se dakako mijenjala kroz povijest i neka od njih pokazala su se pouzdanijim i isplativijim od ostalih. Tako je u današnjoj industriji najzastupljenija strategija održavanja preventivno održavanje u koju onda kao podgrupa spada i održavanje po stanju, kao i neke druge varijante preventivnog održavanja koje će se u sklopu ovog poglavlja detaljnije objasniti.

4.3. Preventivno održavanje

Za razliku od korektivnog održavanja čije se funkcije aktiviraju tek nakon što se kvar dogodio, preventivno održavanje, kako i sam naziv govori, nastoji prevenirati, tj. spriječiti da se takvi kvarovi uopće dogode i tako izbjeći pojavu neplaniranih zastoja. To je osnovni razlog zašto korektivno održavanje sve više odlazi u povijest, no postoje i drugi nedostaci korektivnog održavanja [1]:

- čekanje na kvar predstavlja rizik kako po pitanju sigurnosti tako i oštećenja druge opreme te havarijskih kvarova
- nema nadzora i pouzdanosti u radu postrojenja
- veći proizvodni gubici u vremenu i sredstvima zbog neočekivanih i duljih zastoja
- potreba osiguranja rezervne opreme (za ključnu opremu)
- veći broj zaposlenika na održavanju u rezervi i pripremi za kvar
- dulje vrijeme popravka
- veći zahtjevi za količinama rezervnih dijelova na skladištu.

Preventivno održavanje se aktivno počinje koristiti u Sjedinjenim Američkim Državama nakon Drugog svjetskog rata otkuda se postupno širi po cijelom svijetu postaje i strategija na čijoj su bazi razvijene mnoge nove strategije održavanja. Ono počiva na ideji provođenja niza aktivnosti održavanja po unaprijed utvrđenom planu prije nego što dođe do pojave oštećenja ili kvara [1]. S napretkom tehnologije razvijalo se i preventivno održavanje te je unutar te strategije došlo do određene podjele na svojevrzne pristupe održavanju koji i dalje počivaju na istim temeljnim postulatima koje odlično ocrtava poznata krilatica „bolje spriječiti nego liječiti“.



Slika 7. Podjela preventivnog održavanja [1]

Kao što je vidljivo sa [slike 7], preventivno održavanje se dijeli na održavanje po konstantnom ciklusu, održavanje po stanju, proaktivno održavanje i kontrolne preglede kao posebnu cjelinu. Prve tri vrste preventivnog održavanja čine glavninu najčešće primjenjivanih strategija u poduzećima baziranim na proizvodnju, a samim time su ključan faktor u praćenju zastoja.

4.3.1. Održavanje po konstantnom ciklusu

Održavanje po konstantnom ciklusu (engl. *fix-timed maintenance*) naziva se još i plansko-preventivno održavanje i uključuje aktivnosti održavanja opreme kao što su [1]:

- pregledi
- čišćenje i pranje
- podmazivanje
- zamjena rezervnih dijelova.

Aktivnosti održavanja obavljaju se planski po nekom od radnih kriterija kao npr. vrijeme, prijeđeni put, izrađena količina proizvoda, broj ispaljenih zrna, broj uključivanja i isključivanja sustava itd. Sastavni dio održavanja po konstantnom ciklusu su kontrole. Kontrole se obavljaju vizualno, osjetilima (sluh, opip, njuh) u određenim vremenskim ciklusima ili po nekom drugom radnom kriteriju s ciljem utvrđivanja pojave neispravnosti u funkcioniranju koje bi mogle dovesti do težih oštećenja ili kvarova u postrojenju. Otklanjanje se obavlja onda kada je to moguće, bez prekidanja proizvodnog ciklusa ili ako se ciklus mora prekinuti, to je onda u što je moguće kraćem vremenu.

Održavanje po konstantnom ciklusu obavlja se na temelju unaprijed pripremljenih postupaka i uputa u kojima se definira sljedeće [1]:

- sredstvo rada te lokacija na kojem se isto nalazi
- datum ili neki radni pokazatelj za obavljanje održavanja
- izvršitelje po kvalifikaciji i broju
- kratki opis operacije preventivnog održavanja
- vrijeme potrebno za obavljanje plansko-preventivnog održavanja.

Kao i svaka strategija održavanja, tako i ova ima svoje prednosti i mane. Glavne prednosti održavanja po konstantnom ciklusu su smanjenje pojave oštećenja, kvarova i havarija te mogućnost usklađivanja održavanja s proizvodnim planovima jer se aktivnosti održavanja planiraju i pripremaju unaprijed. Međutim, valja uzeti u obzir da troškovi održavanja rastu s obzirom na to da je vrijeme između i do preventivnih pregleda kraće od vremena do pojave kvara. Uz to, zbog toga što se plansko-preventivno održavanje temelji na različitim normativima i preporukama, u praksi može doći do odstupanja od realnog stanja u kojem se sustav nalazi u odnosu na predefinirane normative i preporuke [1].

Zbog svega navedenog, prema današnjim trendovima i iskustvenim podacima, preporuka je da se strategija održavanja po konstantom ciklusu koristi kao nadopuna ostalim strategijama održavanja, a ne kao zasebna strategija.

4.3.2. Održavanje po stanju

Održavanje po stanju također je jedna od široko primjenjivanih strategija preventivnog održavanja, ali i održavanja uopće. U angloameričkom govornom području održavanje po stanju poznato je kao *condition based maintenance* (CBM). Ova se strategija opisuje kao dijagnostički proces kojim se određuje stanje svakog dijela tehničkog sustava koje se može mjeriti i čije ponašanje možemo kontrolirati određenim parametrima. Razlikuju se dva modela održavanja po stanju - u jednom modelu vrši se kontrola parametara, a u drugom kontrola razine pouzdanosti.

Iskustva u eksploataciji su pokazala, da najveći dio radnih sustava ne gubi svoje funkcionalne sposobnosti odjednom, već je to kontinuiran proces. Oštećenja, kvarovi i havarije posljedice su laganog trošenja tijekom eksploatacije, a njihov nagovještaj pojavljuje se znatno ranije.

Stoga, cilj održavanja po stanju jest razvitak odgovarajućih metoda, postupaka i opreme za mjerenje određenih parametara radnog sustava, koji ukazuju na pojavu odstupanja od normalnog rada, tj. očekivanu pojavu oštećenja ili kvara. Drugim riječima, u fokusu ove strategije jest razvoj tehničke dijagnostike.

Tehničkom dijagnostikom se utvrđuje stvarno stanje radnog sustava u određenom trenutku vremena. Ona obuhvaća metode, postupke i sredstva za praćenje rada tehničkih sustava i njihovih komponenti, periodičnim ili kontinuiranim mjerenjem fizikalnih veličina od najvećeg značaja za rad i stanje opreme te uspoređivanje izmjerenih veličina s utvrđenim graničnim vrijednostima normalnog rada u cilju ocjene stanja opreme i donošenja odluka o daljnjim aktivnostima na njenom održavanju. Na temelju dijagnostičkih informacija i praćenja stanja sprječava se pojava oštećenja ili kvara ili se ona brzo locira kada se pojavi.

Ukoliko se koristi model održavanja po stanju s kontrolom parametara, on se provodi kontinuiranom ili cikličnom kontrolom i mjerenjem tehničkih parametara kojima se određuje “zdravlje“ sustava ili njegovih komponenti, a odluke o potrebnim aktivnostima održavanja donose se kada vrijednosti kontroliranih parametara dođu do određenih granica normalnog rada. Izbor samih parametara zavisi od funkcije tehničkog sustava i pronalaženja utjecajnih parametara koji najbolje oslikavaju rad i trošenje tehničkog sustava ili neke od njegovih komponenti [1]. Parametri podložni kontroli mogu biti [1]:

- razina vibracija
- razina buke
- napon struje
- količina proizvoda
- nečistoće u ulju
- temperatura
- protok fluida itd.

U praksi se često mjeri kombinacija parametara kao što je npr. razina vibracija ležajeva i mjerenje temperature. Dakle, promjene iznosa parametara su indikatori promjena u funkcionalnosti tehničkog sustava [1].

Postupak uvođenja održavanja po stanju kontrolom parametara nije proces koji se događa impulsno ili preko noći već zahtijeva određenu pripremu kako bi implementacije te strategije bila uspješna. Shema uvođenja prikazana je na [slici 8].



Slika 8. Postupak uvođenja održavanja po stanju kontrolom parametara [1]

Ponovno, ni ovdje situacija nije crno-bijela jer i ovaj pristup održavanju uz pogodnosti nosi i određene poteškoće za poduzeće. Pozitivne stvari su sljedeće [1]:

- porast sigurnosti
- povećanje izlaza iz proizvodnog sustava
- porast raspoloživosti i smanjenje poslova održavanja
- poboljšanje kvalitete proizvoda.

S druge strane, nedostaci strategije održavanja po stanju su [1]:

- dodatni napor menadžera za organiziranje i uvođenje održavanja po stanju
- veliki vremenski razmak između vremena uvođenja i ostvarivanja koristi primjene održavanja po stanju
- nesigurnost u pogledu uspjeha kod predviđanja pogoršanja odnosno pojave oštećenja.

U okviru teme ovog rada, tj. praćenja zastoja, iznimno je važno napomenuti kako se održavanjem po stanju zastoji u proizvodnji mogu smanjiti za čak 50 - 75% pa stoga ne čudi što je upravo ovo jedna od najpopularnijih strategija što se održavanja u proizvodnji tiče [1].

4.3.3. Proaktivno održavanje

Proaktivno održavanje relativno je nova strategija održavanja koja je usredotočena prema srži problema, tj. u središtu pažnje ove strategije su uzroci kvarova pa je glavni cilj upravo njihova identifikacija i eliminacija. Kvar se ne prihvaća kao normalno moguće stanje tehničkog sustava pa se u skladu s tim provodi niz odgovarajućih mjera i aktivnosti da do kvara uopće ne dođe. U tome leži ključna razlika između dvije prethodno spomenute strategije.

Dakle, može se reći kako se održavanje po konstantnom ciklusu pretežito bavim otkrivanjem kvarova, a održavanje po stanju praćenjem ranih simptoma kvarova, za razliku od proaktivnog održavanja koje se bavi uzrocima kvarova na način da se provodi stalno praćenje i kontrola osnovnih uzroka kvarova te njihova eliminacija ili minimizacija njihova utjecaja.

Proaktivno održavanje obuhvaća tri koraka [1]:

1. definicija ključnih uzroka kvarova i njihovih kvantitativnih granica
2. primjena programa održavanja kojim se uzrok kvara “drži” u propisanim granicama
3. provjera da je ključni uzrok kvara u definiranim granicama.

Koncentrirajući se na uzrok kvara umjesto na simptome, proaktivno održavanje prepoznato je kao važna strategija za postizanjem ušteta koje konvencionalne strategije održavanja ne mogu osigurati pa se smatra se da će ovaj pristup u budućnosti imati sve veću primjenu zbog intenzivnog razvoja senzora za identifikaciju uzroka kvarova, a posebno kod složenih tehničkih sustava [1].

Postoji više metoda proaktivnog održavanja, a u nastavku će se obraditi tri metode koje su najviše u skladu s današnjim trendovima.

4.3.3.1. RCFA metoda

RCFA (engl. *Root Cause Failure Analysis*) jest metoda koja se bavi analizom uzroka korijena kvarova. Cilj ove metode je da se problem kvara riješi odmah u početku, odnosno „sasiječe u korijenu“. RCFA metoda se provodi u situacijama kada se na opremi neki kvar često ponavlja kako bi se otkrio pravi uzrok problema i eliminirao. Uzroci ponavljanja kvarova na opremi mogu biti zbog grešaka u konstrukciji ili proizvodnji te pogrešnog rukovanja ili održavanja.

Metoda se odvija u dvije faze [1]:

1. prikupljanje početnih podataka o uzroku kvara
2. prikupljanje detaljnih podataka o nastanku kvara

Krajnji cilj je eliminacija onih kvarova koji imaju najveći utjecaj na [1]:

- vrijeme u radu
- troškove proizvodnje
- kvalitetu proizvoda
- sigurnost radnika.

Važno je shvatiti kako cilj ove metode nije pronalazak krivca zbog kojeg je kvar, odnosno zastoj nastao. Jedan od minusa RCFA metode je taj što je takva analiza kvarova skupa i dugotrajna jer ipak zahtijeva velik broj sati rada te velik broj ljudi različitih struka kako bi se metoda uspješno provela [1].

4.3.3.2. FMEA metoda

FMEA (engl. *Failure Mode and Effects Analysis*) jest metoda koja služi za analizu uzroka i posljedica kvarova. Dakle, ova metoda analizira potencijalne kvarove opreme i njihove posljedice, a u praksi se obično koristi za unapređenje planova preventivnog održavanja.

Za provedbu FMEA potrebno je imati [1]:

- tehničku dokumentaciju opreme
- opis funkcija opreme
- povijest održavanja opreme.

FMEA se provodi u 10 faza [1]:

1. U odgovarajuću tablicu unijeti sve funkcije opreme.
2. Za svaku funkciju opreme unijeti potencijalne kvarove.
3. Za svaki kvar unijeti potencijalne posljedice i ocijeniti njihovu ozbiljnost (oznaka 'S') ocjenom od 1 do 10, gdje ocjena 10 znači najviši stupanj ozbiljnosti.
4. Unijeti potencijalne uzroke kvara i ocijeniti njihovu učestalost (oznaka 'O') ocjenom od 1 do 10, gdje ocjena 10 znači najviši stupanj učestalosti.
5. Navesti postojeće metode detekcije kvara i ocijeniti primjetljivost (oznaka 'D') ocjenom od 1 do 10, gdje ocjena 10 znači nizak stupanj primjetljivosti kvara što znači da je mogućnost da se kvar previdi vrlo velika.
6. Izračunati vrijednost prioriteta rizika RPN (engl. *Risk Priority Numbers*) kao umnožak ozbiljnosti, učestalosti i primjetljivosti kvara: $RPN = S \times O \times D$.
7. Procijeniti troškove rizika.
8. Definirati aktivnosti za eliminaciju rizika.
9. Procijeniti troškove provođenja aktivnosti za eliminaciju rizika.
10. Usporediti troškove rizika i troškova eliminacije rizika te procijeniti potrebu za poduzimanjem aktivnosti.

Primjer ispunjene tablice za FMEA analizu dan je na slučaju centrifugalne pumpe i prikazan u [tablici 1].

Funkcija	pumpanje vode			
Potencijalni kvar	kvar elektromotora			
Posljedice	kvar separatora		zaustavljanje pumpe	
Ozbiljnost (S)	9		7	
Potencijalni uzroci	pregorijevanje elektromotora	pregorijevanje osigurača	pregorijevanje elektromotora	pregorijevanje osigurača
Učestalost (O)	1	3	1	3
Detekcija kvara	ispitivanje izolacije	ispitivanje izolacije	ispitivanje izolacije	ispitivanje izolacije
Primjetljivost (D)	7	9	7	9
RPN	63	243	49	189

Tablica 1. Primjer tablice za FMEA analizu [1]

4.3.3.3. RCM metoda

RCM (engl. *Reliability Centered Maintenance*) metoda ili održavanje usmjereno ka pouzdanosti predstavlja strategiju održavanja koja ima za cilj osigurati sigurnost i pouzdanost opreme uz minimalne troškove. RCM se temelji na četiri ključna principa [1]:

- zadržavanje funkcionalnosti sustava
- identifikacija vrsta kvarova koji mogu štetiti funkcionalnosti sustava
- određivanje prioriternih kvarova
- odabir primjenjivih i učinkovitih aktivnosti za kontrolu kvarova.

Primarni cilj RCM-a je omogućavanje dostupnosti i pouzdanosti opreme u bilo kojem trenutku, uz istovremeno udovoljavanje zahtjevima ekološkičnosti, sigurnosti i profitabilnosti. Bitno je napomenuti da pokušaji implementacije ove strategije nerijetko propadaju jer primjena RCM-a zahtijeva utrošak velike količine ljudskih resursa i vremena što je definitivno nedostatak ove metode. Uspješna implementacija RCM-a podrazumijeva sagledavanje postrojenja kojeg se održava, kao skupa međusobno povezanih sustava s naglaskom na pouzdanost, a temelji se na tzv. 'Sedam pitanja RCM-a' prema SAE JA1101 standardu. Tih sedam pitanja glasi [1]:

1. Koja je funkcija i koje su karakteristike promatranog dijela opreme u kontekstu obavljanja radne funkcije?
2. Na koji način može doći do kvara?
3. Što uzrokuje kvar?
4. Što se događa kada dođe do kvara?
5. Koje su posljedice svakog kvara?
6. Što se može učiniti da se predvidi i spriječi svaki kvar?
7. Što učiniti ako ne postoji adekvatan način održavanja?

U slučaju uspješne provedbe ove metode dolazi do brojnih prednosti kao što su [1]:

- povećana pouzdanost za postojeću opremu
- povećana učinkovitost proizvodnje zbog manjih zastoja
- povećana isplativost zbog kraćeg vremena popravka
- povećana kvaliteta proizvodnje zbog boljeg uvida u opremu
- povećani životni ciklus opreme
- smanjeni troškovi održavanja zbog dužeg vijeka trajanja skupe opreme.

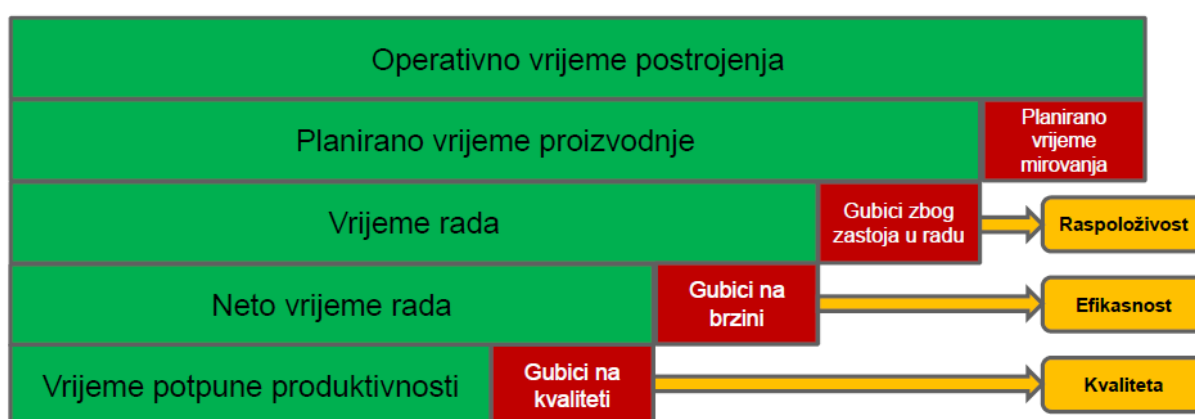
4.4. OEE

Jedan od najboljih načina za praćenje zastoja u proizvodnji i njihovu redukciju jesu ključni pokazatelji uspješnosti, raširen pojam u poduzećima poznat pod kraticom KPI koja dolazi od engleskog naziva *Key Performance Indicator*. Radi se o pokazateljima koji omogućuju bolju vidljivost uspješnosti ili neuspješnosti određenih poslovnih taktika s ciljem konstantnog napredovanja. Postoji uistinu velik broj vrsta ključnih pokazatelja uspješnosti i razumno je da nisu svi vezani uz zastoje u proizvodnji. Međutim, jedan od široko primjenjivanih KPI-eva jest OEE ili punim imenom - ukupna učinkovitost opreme (engl. *Overall Equipment Effectiveness*); KPI koji je zapravo usko vezan uz zastoje i odličan orijentir za menadžere koji žele postići napredak poduzeća u tom području proizvodnje [9].

Ukupna učinkovitost opreme je složeni KPI koji mjeri izlaz temeljen na kapacitetu, uzimajući u obzir tri faktora [9]:

- raspoloživost
- efikasnost
- kvalitetu procesa.

OEE sakuplja više gubitaka izlaza te ih spaja u jedan koeficijent koji reducira kompleksne probleme proizvodnje u intuitivni izvor informacija za ukupnu efikasnost proizvodnje [9]. Nastavno na podjelu sa [slike 2], sada će se prikazati detaljnija raščlamba vremena jedne radne smjene, bitna za pravilno shvaćanje koncepta koji predstavlja OEE i provedbu odgovarajuće analize.



Slika 9. Detaljnija raščlamba vremena radne smjene [9]

OEE analiza počinje operativnim vremenom postrojenja, a ono se odnosi na vrijeme za koje će postrojenje biti otvoreno i dostupno radu za proizvodnju određenog proizvoda. Planirano vrijeme mirovanja jest vrijeme koje se odbija od operativnog vremena postrojenja te uključuje sve događaje koji se trebaju izuzeti iz OEE analize jer za to vrijeme nije bilo planirane proizvodnje (npr. pauze, obroci, planirano održavanje, periodi kada nije bilo ničega za proizvesti...). Vrijeme koje ostane nakon odbijanja planiranog vremena mirovanja je planirano vrijeme proizvodnje. Raspoloživost uzima u obzir vrijeme izgubljeno na nepredviđenim zastojima u radu. Tu se nalazi svaki događaj koji zaustavlja proizvodnju na značajno vrijeme (obično po nekoliko minuta što je dovoljno da uđe u registar zastoja). Uglavnom su to kvarovi opreme, nedostatak materijala i slično. Vrijeme koje preostane od planiranog vremena proizvodnje kada se oduzmu zastoji u radu se zove vrijeme rada. Efikasnost uzima u obzir gubitke na brzini što uključuje bilo koje faktore koji uzrokuju da proces ne radi na maksimalnoj mogućoj brzini (trošenje strojeva, nestandardni materijali, neiskustvo operatora). Preostalo

vrijeme se zove neto vrijeme rada. Faktor kvalitete uzima u obzir gubitke na kvaliteti, koji se pak odnose na dijelove koji su nekvalitetni ili trebaju ponovnu obradu. Kada se oduzmu gubici na kvaliteti ostaje vrijeme potpune produktivnosti. Vrijeme potpuno produktivnosti važan je pojam jer je upravo cilj OEE analize maksimizacija tog vremena [9].

Sama vrijednost OEE se računa kao umnožak faktora raspoloživosti, efikasnosti i vremena gdje je svaki od ta tri faktora izražen u postotku pa je u konačnici i vrijednost OEE postotak. OEE je odličan pokazatelj u smislu usporedbe s konkurencijom i ta brojka jasno indicira na kojoj se razini nalazi dotično poduzeće. Rezultat od 100% koji je dobiven analizom predstavlja savršenu proizvodnju bez ikakvih gubitaka; jasno je kako je takva proizvodnja apsolutno neizvediva i nemoguća u praksi. OEE koji iznosi cca. 85% jest odlika poduzeća koja zaista pripadaju svjetskoj klasi i zapravo takvom rezultatu teže sve tvrtke s ambicijom i razrađenim dugoročnim planovima. OEE skor od 60-ak% je tipičan za manje proizvođače i jasno ukazuje kako postoji značajan prostor za napredak. Iako nizak, OEE rezultat od cca. 40% nije nimalo rijetka pojava. U tom slučaju se uglavnom radi o proizvodnim kompanijama koje tek počinju pratiti svoje rezultate kroz aspekt ključnih pokazatelja uspjeha i nalaze se u početnoj fazi poboljšanja svoje proizvodnje [10].

Glavni čimbenici koji negativno utječu na OEE su [11]:

- učestali kvarovi
- neadekvatno održavanje opreme
- logistički problemi.

Nadalje, u nekim tvrtkama se proizvodnja prati pomoću pokazatelja koji su slični ukupnoj učinkovitosti opreme; radi se o manjim varijacijama OEE pokazatelja koji uspješnije prikazuje stanje proizvodnje. Dobar primjer bio bi OPI (engl. *Operational Performance Indicator*) kojeg koristi Heineken u proizvodnji piva. OPI je pokazatelj čiji je fokus na performansama jednog od ključnih strojeva u industriji pive općenito, a to je punjač [12]. O punjaču i cijelom proizvodnom procesu proizvodnje piva bit će više rečeno u 6. poglavlju ovog rada.

Zaključno, svijest o OEE pokazatelju esencijalna je za industrije kada je riječ o donošenju odluka. Jednostavne i direktne metrike OEE pokazatelja iznose na vidjelo sve vrijedne informacije koje menadžment zahtjeva [4].

5. SOFTVERSKI ALATI ZA PRIKUPLJANJE I ANALIZU ZASTOJA U PROIZVODNJI

5.1. Prikupljanje informacija o zastojsima

Kao što je već naglašeno u 2. poglavlju ovog rada, jedan od uzroka zastoja u proizvodnji je i manjak ili izostanak kvalitetnog skupljanja povijesnih podataka. Stoga, vođenje kvalitetne evidencije o zastojsima, odnosno kvarovima, remontima, oštećenjima i popravcima itekako ima svoju svrhu i značaj. U današnje vrijeme takve se baze podataka nalaze u digitalnom obliku, a razni softverski alati potpomažu izgradnju te baze. Pri prikupljanju informacija o zastojsima bitno je biti dosljedan i spremati podatke na nedvosmislen i provjeren način koji će biti razumljiv bilo kome tko će zatrebati uvid u njih.

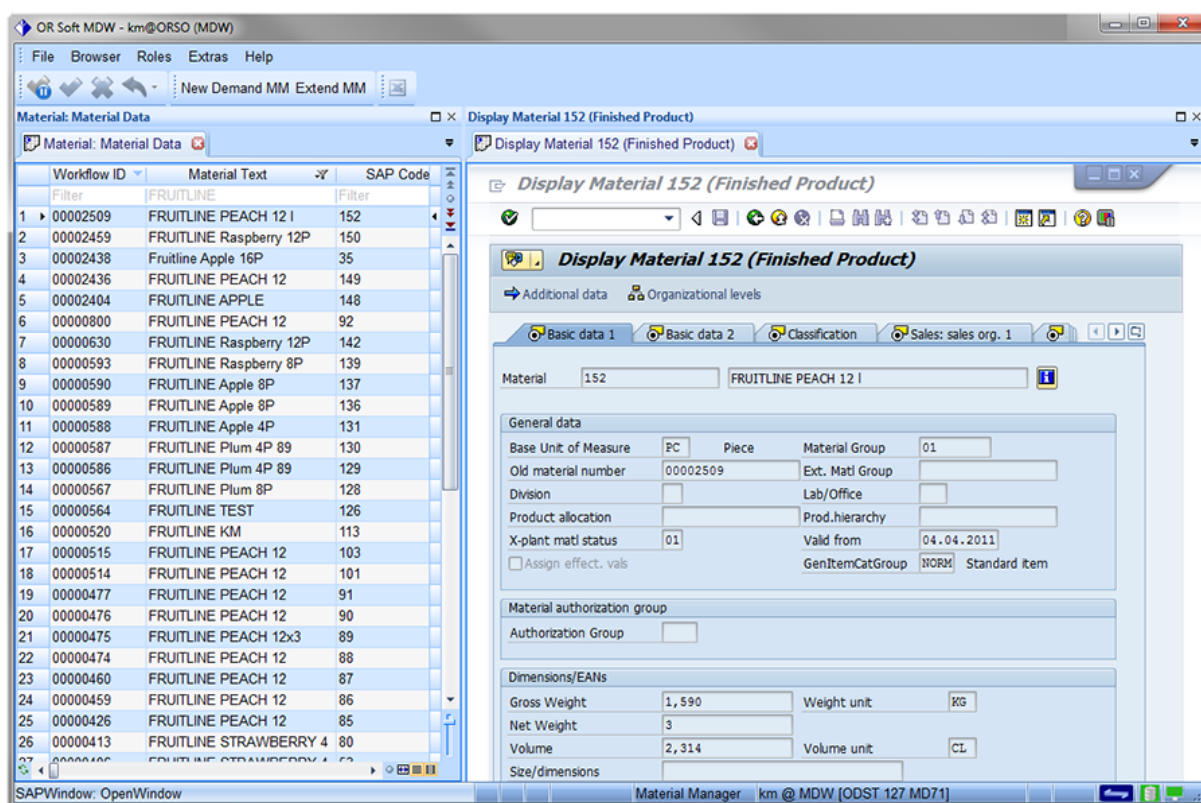
Svako poduzeće nastoji sebi osigurati adekvatne alate kojima će si olakšati ovaj posao, a vrlo često je moguće preko jednog softvera omogućiti integraciju nekoliko različitih odjela. Danas su sve popularniji ERP sustavi (engl. *enterprise resource planning*). ERP je softver, odnosno kompleksniji alat koji, između ostalog, služi i za lakše planiranje proizvodnje nekog proizvoda i njegovih komponenata. Poduzeća koriste ERP sustave za menadžiranje *day-to-day* poslovnih aktivnosti i praćenje istih u stvarnom vremenu. Jedan tipičan ERP softver sadrži aplikacije koje automatiziraju funkcije (odjele) poput proizvodnje, prodaje, računovodstva itd. Mogućnosti dobrog broja ERP sustava iskoristive su i u praćenju zastoja jer je kroz njih moguće evidentirati radne naloge u kojima se u pravilu nalaze informacije o utrošenim satima rada zbog nekog kvara, popravka, remonta, pregleda i slično.

Neki od poznatijih i popularnijih ERP sustava su Odoo, Katana, Microsoft Dynamics, Oracle NetSuite te SAP koji će detaljnije biti opisan u nastavku.

5.1.1. SAP

Jedan od najkorištenijih softvera općenito za poslovne potrebe je SAP, proizvod istoimene njemačke multinacionalne korporacije koja je svoj prvi proizvod na tržište izbacila još 1973. godine. SAP se bavi razvojem ERP sustava za menadžiranje poslovnih operacija i odnosa s klijentima [13].

Iako nije pretjerano pristupačan za nove korisnike, SAP ima prilično dugu tradiciju i čvrstu poziciju na tržištu te nudi široku paletu opcija. Koliko je SAP „moćan“ alat, govori i činjenica da u tvrtkama postoje zaposlenici koji su SAP eksperti i prošli su detaljnu obuku s ciljem da što bolje znaju iskoristiti brojne mogućnosti koje SAP nudi svojim korisnicima.



Slika 10. Primjer izgleda korisničkog sučelja u SAP-u [14]

U kontekstu praćenja zastoja, SAP je alat koji omogućava unos radnih naloga koji se potom pohranjuju i može im se ponovno pristupiti u bilo kojem trenutku u vremenu. Redovnim i, što je jako važno, ispravnim unošenjem radnih naloga gradi se baza podataka u kojoj je zapravo sadržana sva povijest zastoja koja se, po želji, može iskoristiti za analizu zastoja. Jedna od odlika SAP-a koja u današnjem svijetu nije nikakva novost ili posebnost jest mogućnost eksportiranja tih podataka u neki drugi format, primjerice u obliku Excel tablice što onda dodatno olakšava pristup i obradu dotičnih podataka. SAP se također koristi i za planiranje zastoja, točnije aktivnosti održavanja i u sklopu tog sustava zaposlenici mogu voditi računa o stanju na zalihi, rezervnim dijelovima, potrebnim alatima za provedbu popravaka ili remonta te nadolazećim inspekcijama.

5.2. Analiza zastoja

U početnom dijelu ovog poglavlja jasno je naglašeno zašto je potrebno imati i održavati dobru bazu podataka vezanu za zastoje. Međutim, to je gotovo pa uzaludno ako se ta baza podataka ne iskorištava. Ključno je posjedovati određena znanja i vještine kako bi se ta baza podataka

mogla iskoristiti na pravi način. Nažalost, u praksi je čest slučaj da kompanije zapravo i vode neku vrstu evidencije zastoja, ali te podatke i saznanja ili koriste prerijetko ili ne koriste uopće. Tu leži prilika za unaprjeđenje i stvaranje dodatne vrijednosti za korisnika i samo poduzeće. Bilo kakva analiza (dokle god je ispravno odrađena) bolja je od nikakve, a korektnu analizu „šume“ podataka koja se može nagomilati kroz vrijeme najbolje je odraditi uz pomoć softverskih alata. Softverski alati pružaju mogućnost zaposlenicima da lakše manipuliraju povijesnim podacima i ciljanim analizama izvuku i prikažu rezultate koji mogu biti od koristi za poduzeće. Do kakvih rezultata se može doći, ovisi o načinu evidencije i količini detalja u tim povijesnim podacima. Analizama zastoja se uglavnom nastoji pokazati gdje leže najveći problemi u proizvodnji i na što bi se menadžment trebao usredotočiti kako bi unaprijedio proizvodnju. To primjerice mogu biti analize zastoja u vremenskom trajanju, financijske analize troškova zbog neplaniranih zastoja, analize troškova uzrokovanih zakazanim remontima i popravcima te slično. Krajnji produkt analize nerijetko bude svojevrsan grafički prikaz na temelju kojeg je lako donijeti zaključak koji onda može nagnati menadžment da poduzme određene korake za napredak i sanaciju trenutnih problema.

Kao softverski alati u analizi zastoja mogu se koristiti aplikacije koje se zasnivaju na principu proračunskih tablica, ali i programski jezici specijalizirani za statistiku. Tipičan primjer prve vrste jest Microsoft Excel koji će pobliže biti opisan u nastavku poglavlja. Što se tiče programskih jezika, u tom se slučaju radi o naprednijim i učinkovitijim alatima, no u pravilu su puno manje pristupačni te zahtjevniji za korištenje. Za baratanje programskim jezicima potrebna je dobra doza predznanja i stručnosti pa su za takve analize u ozbiljnim korporacijama uglavnom zaduženi podatkovni analitičari kojima je provođenje analiza glavni dio posla. Podatkovni analitičari rade u suradnji s menadžmentom i njihovi zadaci su [16]:

- rudarenje podataka iz primarnih i sekundarnih izvora
- čišćenje i seciranje podataka u svrhu rješavanja irelevantnih informacija
- interpretacija rezultata koristeći statističke alate i tehnike
- ukazivanje na trendove i uzorke u skupovima podataka
- identifikacija novih mogućnosti za unapređenje procesa
- pružanje podatkovnih izvješća menadžmentu
- dizajniranje, kreacija i održavanje baza podataka
- popravak problema s programskim kodom i rješavanje programerskih problema.

Neki od u praksi učestalijih programskih jezika korištenih od strane podatkovnih analitičara su [17]:

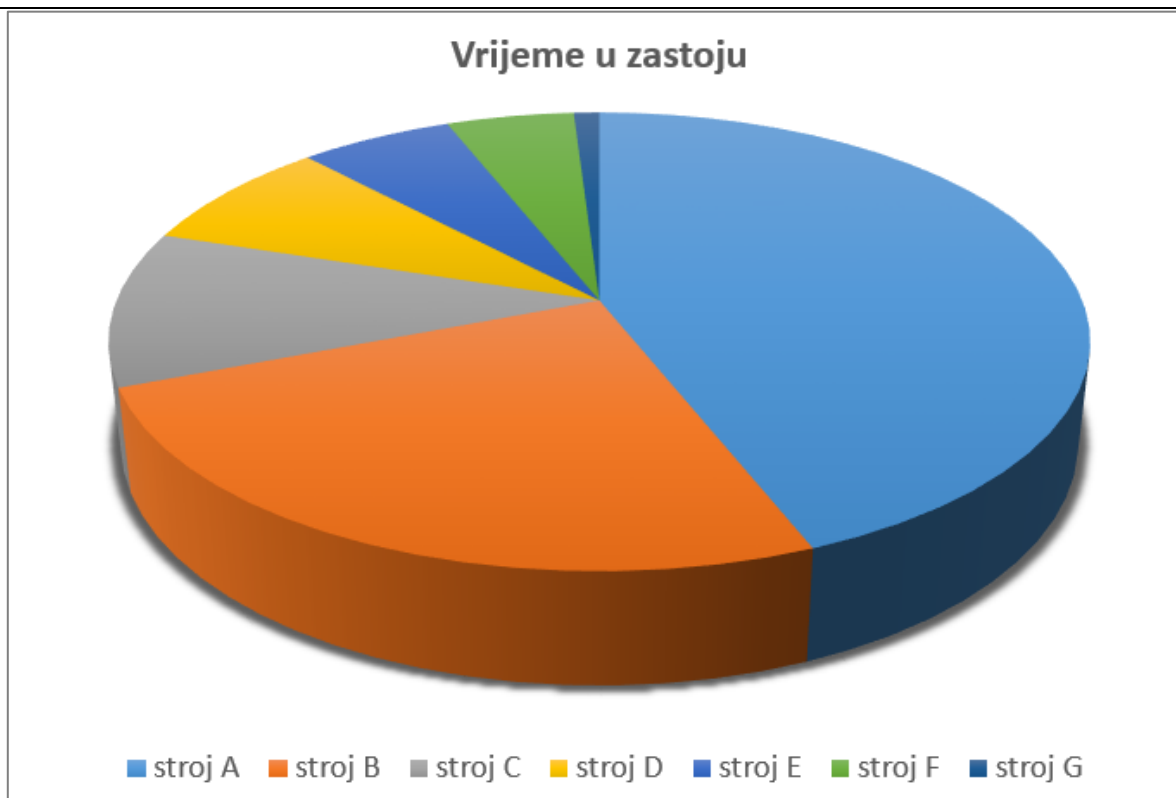
- Python
- SQL
- MATLAB
- JavaScript
- Scala
- Julia
- R.

Potonji programski jezik korišten je za praktični dio ovog rada te će biti detaljnije objašnjen u nastavku ovog poglavlja.

5.2.1. Microsoft Excel

Podaci o zastojima u proizvodnji su u većini slučajeva tabličnog formata pa se shodno tome obično za njihov prikaz koristi Microsoft Excel, dio Microsoft Office paketa. Excel je uistinu jak alat koji korisnicima pruža velik izbor mogućnosti, a uglavnom se koristi u statističke, inženjerske i financijske svrhe [13]. Također, Excel može grafički prikazati podatke u više formata poput [15]:

- stupčastih grafikona
- linijskih grafikona
- tortnih i prstenastih grafikona
- trakastih grafikona
- površinskih grafikona
- raspršenih grafikona.



Slika 11. Primjer tortnog grafikona u Excelu

Alternative, odnosno softveri slični Excelu su još [18]:

- Google Sheets
- Apache OpenOffice Calc
- LibreOffice Calc
- Zoho Sheet itd.

5.2.2. R (programski jezik)

R je programski jezik i softver za statističke izračune i grafikone. R je izvedba S programskog jezika inspirirana Schemeom, a originalni tvorci R-a su Ross Ihaka i Robert Gentleman sa sveučilišta Auckland na Novom Zelandu. R sada razvija R Development Core Team. Ovaj je jezik postao standard među statističarima i široko se koristi za razvoj statističkog softvera i analizu podataka. Koliko je relevantan, svjedoči i činjenica da se od siječnja 2021. godine nalazi na 9. mjestu prema TIOBE indeksu koji je mjera popularnosti programskih jezika. R pruža širok raspon statističkih (linearni i nelinearni modeli, klasični statistički testovi, analiza vremenskih serija, klasifikacije, klasteri, itd.) i grafičkih tehnika. R je dizajniran kao pravi programski jezik,

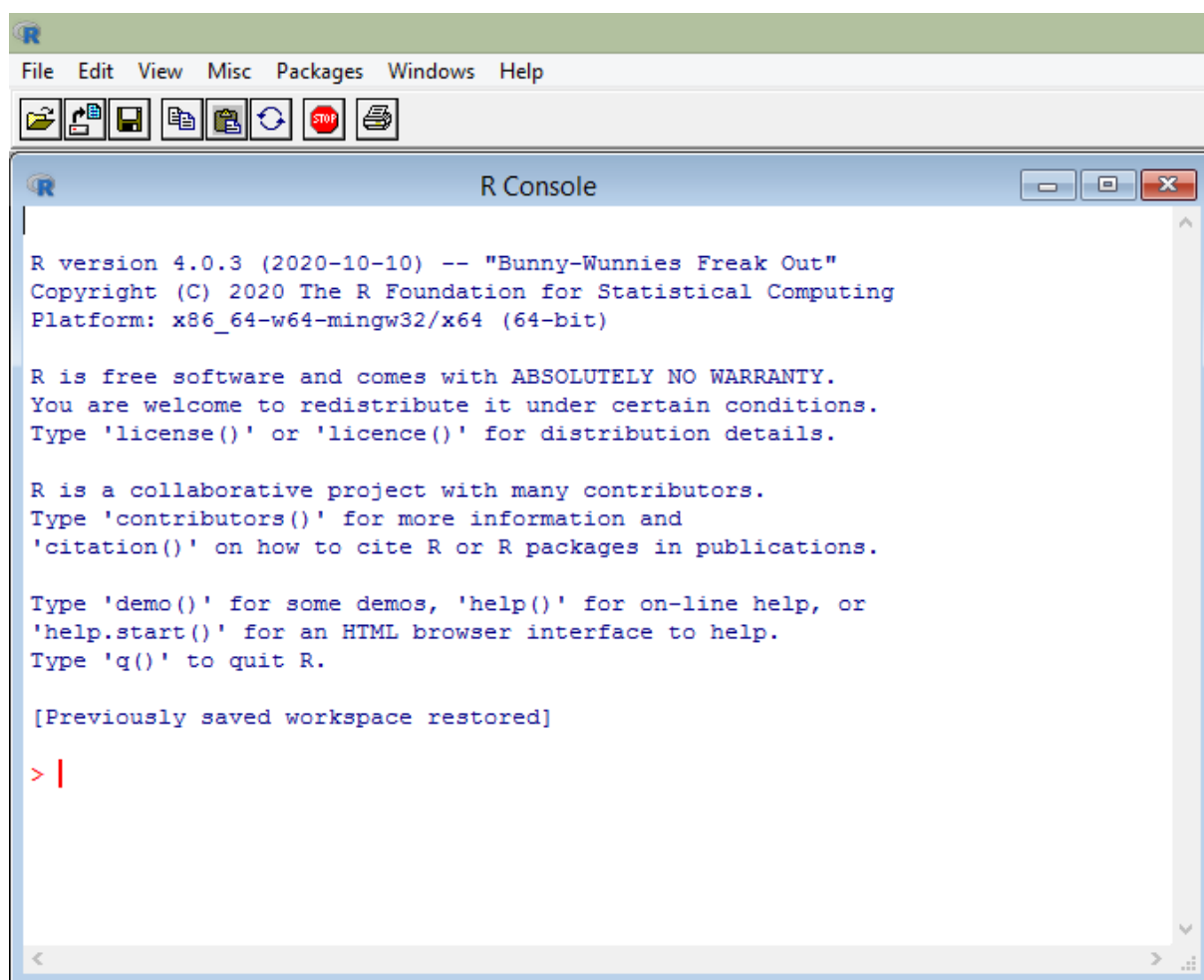
a korisnicima omogućuje dodatne funkcije definiranjem novih funkcija. Postoji nekoliko važnih razlika, ali R može koristiti velik dio nepromijenjenog S koda. Većina R-ovog sustava također je napisana na tom jeziku, što korisnicima olakšava oblikovanje algoritama. Za zahtjevne zadatke mogu se povezati i pokrenuti C, C ++ i Fortran kod [13].



Slika 12. Logotip R programskog jezika [13]

Mogućnosti R-a proširuju se pomoću takozvanih paketa koje izrađuju i objavljuju korisnici, a koji omogućuju upotrebu specijaliziranih statističkih alata, alata za grafički prikaz, alate za uvoz ili izvoz podataka, za izradu izvješća itd. Ovi su paketi razvijeni prvenstveno u R-u, ali ponekad se u razvoju koriste i Java, C ili Fortran. Trenutno (od rujna 2018. godine) postoji više od 15 000 raspoloživih paketa [13]. R je također besplatan, *open source* softver što znači da su korisnici slobodni pokretati, kopirati, distribuirati, proučavati, mijenjati i poboljšavati programe po vlastitom nahođenju. Ekstenzije datoteka koje se povezuju s R-om su [19]:

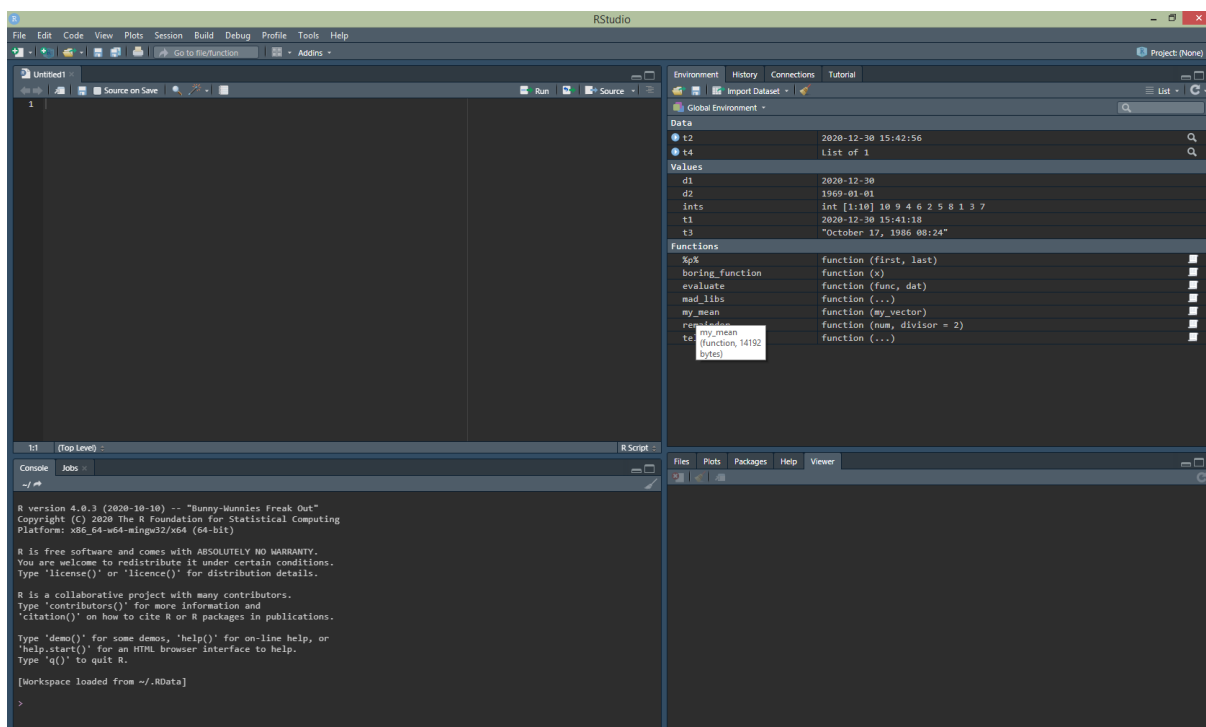
- .r
- .rds
- .rmd
- .rnw
- .rdata.



Slika 13. Izgled korisničkog sučelja u R-u, verzija 4.0.3

5.2.2.1. RStudio

RStudio je integrirano razvojno okruženje (IDE, engl. *integrated development environment*) za R programski jezik izdano prvi puta 2011. godine. Dostupan je u *open source* i *commercial* verziji za Windows, Mac i Linux operativne sustave i dolazi u dvije varijante: RStudio Desktop i RStudio Server. Desktop verzija vrlo je raširena i korištena za programiranje u R-u. Posebnost RStudia je u tome što integrira različite alate za R u jedno jedinstveno okruženje, uključuje moćne alate za kodiranje dizajnirane u svrhu povećanja produktivnosti i podržava Excel, HTML i PDF dokumente [20]. Najveća prednost RStudia je to što mu je sučelje iznimno praktično i organizirano na način da korisnik može jasno vidjeti grafove, podatkovne tablice, R kod i izlaz, tj. *output* na istom ekranu odjednom. Temeljna razlika između R-a i RStudia je ta što se R može koristiti zasebno, ali RStudio ne može bez prethodno instaliranog R-a.

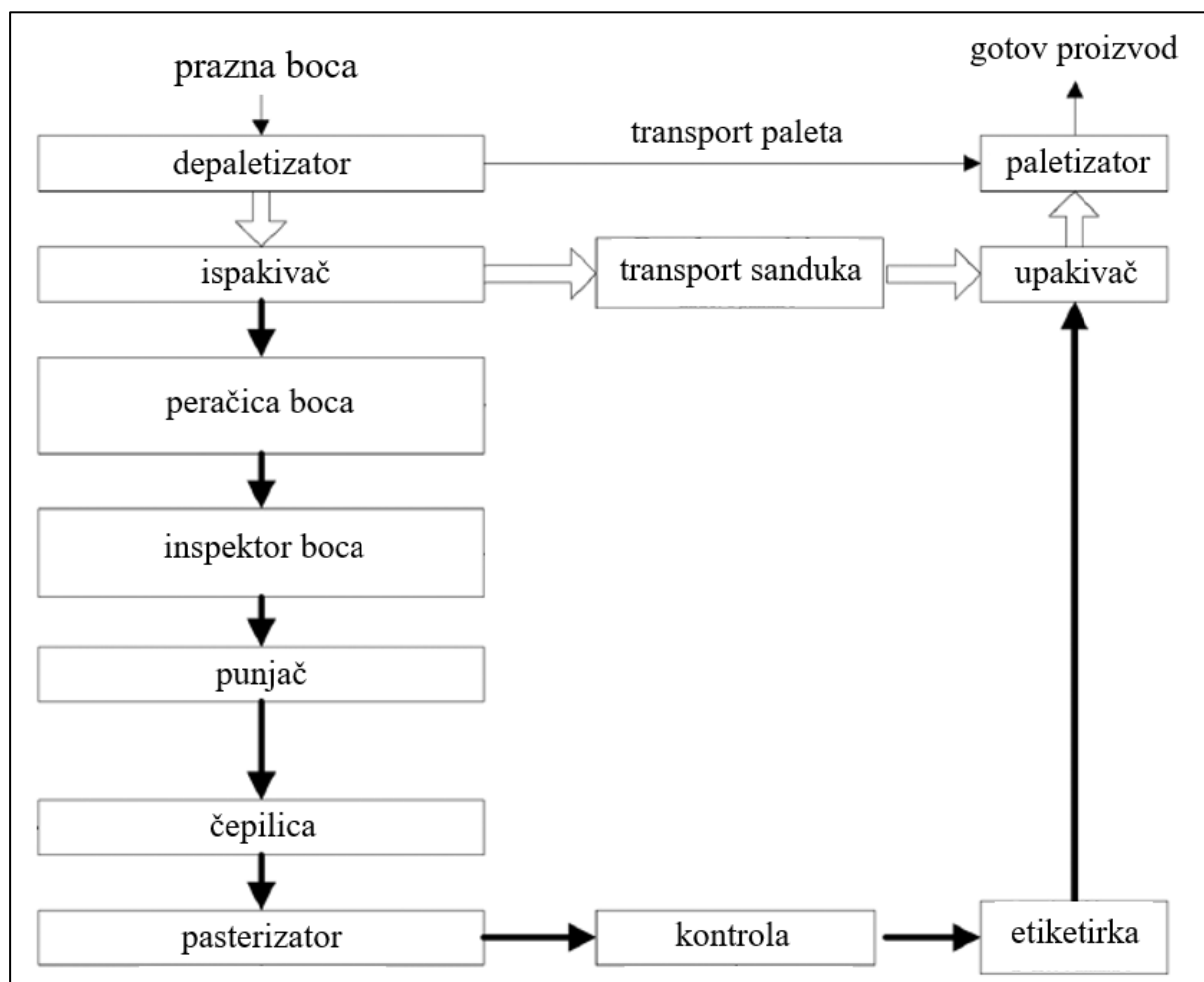


Slika 14. Izgled korisničkog sučelja u RStudio

6. ANALIZA ZASTOJA NA REALNOM PRIMJERU

6.1. Uvodna razmatranja

Kroz ovo poglavlje bit će predstavljena analiza zastoja na realnom primjeru. Konkretno, radi se o podacima koji potječu iz hrvatskog poduzeća Zagrebačka pivovara d.o.o. koje se bavi proizvodnjom piva. Kako bi se bolje razumjela analiza koja slijedi, u nastavku će biti ukratko opisan sam proces punjenja piva.



Slika 15. Shematski prikaz linije za punjenje pivskih boca [11]

Na [slici 15] shematski je prikazana linija za punjenje pivskih boca i njoj pripadajući elementi, tj. strojevi. Prazne boce koje dolaze u postrojenje na paletama i sanducima se vade iz njih i stavljaju na transportnu liniju. Prvo odlaze do peračice koja čisti i pere te boce, a onda slijedi automatizirana inspekcija koju boce moraju proći kako bi se mogle puniti na punjaču, stroju koji je zapravo jezgra ovog pogona jer punjač ulijeva tekućinu (pivo) u boce. Potom čepilica stavlja čepove na boce, one prolaze kroz pasterizator i još jednu razinu kontrole nakon čega

etiketirka stavlja odgovarajuću etiketu na svaku bocu posebno pa se tako spremne boce ponovno pakiraju i slažu na palete. Ovakvo postrojenje i postupak karakterističan je za svaku pivovaru, dakako s manjim varijacijama i promjenama. Shodno tome, linije u Zagrebačkoj pivovari funkcioniraju zapravo po istom principu i svi prethodno spomenuti strojevi mogu se pronaći i tamo u pogonu, uz dodatak nekih drugih, manje esencijalnih za cijeli proces. U sklopu Zagrebačke pivovare nalazi se ukupno šest proizvodnih linija, od kojih se jedna više ne koristi i nije u pogonu, te nisu sve specijalizirane za punjenje staklenih pivskih boca. Te linije se nazivaju:

- L1 linija (izvan pogona)
- L2 linija (za staklene boce)
- L3 linija (za staklene boce)
- CAN linija (za limenke)
- Q linija (za plastične (PET) boce)
- BAČ linija (za bačve).

Nadalje, razumljivo je da neki od tih mnogobrojnih strojeva na svakoj od linija s vremena na vrijeme prouzroče zastoj. Bilo to zbog planiranog remonta u svrhu održavanja ili zbog nepredviđenog kvara, zastoji su jednostavno neizbježni. Kada dođe do zastoja, to mora biti evidentirano. Takve se situacije evidentiraju preko radnih naloga koje ispunjavaju operateri koji su zaduženi za sanaciju zastoja koji je u pitanju. Operater na radni nalog upisuje:

- svoje ime pod šifrom
- datum i vrijeme početka zastoja
- procijenjeno vrijeme trajanja zastoja
- stvarno vrijeme trajanja zastoja
- stroj koji je prouzročio zastoj
- dio, odnosno sklop na stroju koji je kriv za zastoj
- tip kvara (zakazani remont/popravak, mehanički kvar, električki kvar)
- opis kvara, tj. operacije općenito koju operater izvodi na stroju.

Ti se radni nalozi upisuju digitalno, koristeći softverski alat SAP koji ih sprema u bazu podataka. Na taj način se svim povijesnim radnim nalogima može pristupiti u bilo kojem trenutku i detaljnije ih proučiti ili, kao što će ovdje biti slučaj, iskoristiti ih za analizu.

6.2. Provođenje analize

Cilj analiziranja povijesnih podataka o zastojsima jest detekcija slabih točaka u proizvodnji i traženje prostora za napredak. To će biti slučaj i u ovoj analizi. Sljedeći primjer analize rađen je na temelju stvarnog vremenskog trajanja zastoja. Poanta je identificirati strojeve na linijama L2 i Q koji su u određenom vremenskom periodu zbog kvarova uzrokovali najduže ukupno vrijeme u zastoju i djelovati u skladu s rezultatom koji će se izroditi. Promatrani vremenski period je od 1. siječnja 2018. godine do 31. kolovoza 2020. godine. Koristeći SAP i njegove opcije, za taj je vremenski period vrlo jednostavno izvaditi sve radne naloge i eksportirati ih, odnosno prikazati u Microsoft Excelu. Produkt tog postupka je velika tablica na jednom listu Excela s popisom radnih naloga poredanih po datumu početka operacije [slika 16].

Nalog	Prioritet	Opis funkcijske lokacije	Tip	Kratki tekst operacije	MjesRada	Kadr.br.	Rad	Stv. rad	Najr.poš.	StatSustav
10016006	Zastoj	PAK Q - Segment omatanja boca	ZM01	podešavanje valjka za rezanje najlona	410	217	2	2	2.1.2018	KPTV TEDO
10016007	Zastoj	PAS Q - Pumpe i cjevovod	ZM01	Zamjena mehaničke brtve	410	1456	2	2	3.1.2018	KPTV TEDO
10016008	Zastoj	TRP L3 - Transport paleta L3	ZM01	Izbacila kotrljača prije omatalice.	430	2527	1	1	4.1.2018	KPTV TEDO
10016009	Zastoj	INS L3 - Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Ne radi inspekcija test boca, neispravna	430	2493	3	3	7.1.2018	KPTV TEDO
10016010	Nema efekta	UPA L3 - Upakivač L3	ZM01	Podešavanje ulaza u upakivač te praćenje	410	224	1	1	8.1.2018	KPTV TEDO
10016011	Zastoj	LIF L3 - Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Doljnji prekidač zaštekao, nije se vratila	430	872	1	1	8.1.2018	KPTV TEDO
10016012	Zastoj	INS L3 - Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Izmjena fotočelije, kabel našuljan	430	872	1	1	7.1.2018	KPTV TEDO
10016013	Zastoj	PUN L3 - HD sustav	ZM01	Ne radi hd, zamjena špule HD-a	430	2493	1	1	8.1.2018	KPTV TEDO
10016014	Zastoj	INS L3 - Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Izmjena fotočelije zida 4	430	872	0,5	0,5	9.1.2018	KPTV TEDO
10016015	Zastoj	INS L3 - NOVI INSPEKTOR L3-HEUFT	ZM01	Pukolo zaštitno staklo zida 2 (izlaz ins	430	2493	1	1	10.1.2018	KPTV TEDO
10016016	Zastoj	TRP L2 - Transport paleta L2	ZM01	Izbacila termička zaštita Q14M5. zapela	430	2527	1	1	11.1.2018	KPTV TEDO
10016017	Nema efekta	ROBOT- bačvarija	ZM01	Resetiranje upravljačkog displeja otpaja	430	265	0,5	0,5	15.1.2018	KPTV TEDO
10016018	Zastoj	Proizvodnja - BAČVARIJA	ZM01	Ispao plastični lana sa lančanika zbog s	410	224	1	1	15.1.2018	KPTV TEDO
10016019	Zastoj	ETI L2 - NOVA ETIKETIRKA L2	ZM01	stroj je ponovno ostao u mraku, resetira	430	262	1	1	16.1.2018	KPTV TEDO
10016020	Nema efekta	PUN L2 - HD sustav	ZM01	Zamijena brzorastavne spojnice	410	1456	1	1	18.1.2018	KPTV TEDO
10016021	Zastoj	DEP L2 - Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Zamijena fotočelije na okretaču gajbi, to	430	2493	1	1	19.1.2018	KPTV TEDO
10016022	Zastoj	UPA L3 - Transport sanduka	ZM01	nasjedale košare na sanduke podešavanje	410	740	1,5	1,5	22.1.2018	KPTV TEDO
10016023	Zastoj	NOVA ETI L3-Sustav za etiketiranje-agreg	ZM01	vratna etiketa ispadala iz spremnika i n	410	740	1,5	1,5	22.1.2018	KPTV TEDO
10016024	Zastoj	PES L3 - Perać sanduka L3	ZM01	Stoji motor okretača, nema signala prema	430	872	1	1	21.1.2018	KPTV TEDO
10016025	Zastoj	NOVA ETI L3-Sustav za etiketiranje-agreg	ZM01	Popravak i podešavanje košare vratna eti	410	224	3	3	22.1.2018	KPTV TEDO
10016026	Zastoj	TRB L3 - Reduktori	ZM01	Reduktor ostao bez ulja.Točenje ulja u r	410	224	2	2	23.1.2018	KPTV TEDO
10016027	Zastoj	PUH Q - Puhalica Q linija	ZM01	Podešavanje tlaka na regulacionom ventil	410	1456	1	1	23.1.2018	KPTV TEDO
10016028	Zastoj	NOVA ETI L1 - Ulazno-izlazni transport	ZM01	Podešavanje brzine lanaca motora M133, z	430	2493	2	2	24.1.2018	KPTV TEDO
10016029	Zastoj	BUF L1 - Ventili i aktuatori	ZM01	Razdražavanje elektromag. ventila	410	1456	1	1	24.1.2018	KPTV TEDO
10016030	Zastoj	NOVA ETI L1-Senzorika-mjerni instrumenti	ZM01	Podešavanje kamere za kontrolu etikete.	430	2527	1	1	25.1.2018	KPTV TEDO
10016031	Zastoj	LIF L1 - Lift pune ambalaže L2	ZM01	Lift zapeo na polovici lifta zbog toga j	430	2493	2	2	25.1.2018	KPTV TEDO
10016032	Zastoj	PUN L3 - Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Ne radi ventil ispiranja čepa (izlaz punj)	430	2493	1	1	25.1.2018	KPTV TEDO
10016033	Smanjena funkcija	Omatalica paleta Q linija-NOVA	ZM01	Ne daju se otvoriti zaštitna vrata za ul	430	2493	1	1	29.1.2018	KPTV TEDO
10016034	Nema efekta	TRB L3 - Transport boca L3	ZM01	Zamijena ležaja	410	1456	2	2	29.1.2018	KPTV TEDO
10016035	Zastoj	TRS L3 - Reduktori	ZM01	Provjera ispravnosti reduktora od gumira	410	224	2	2	1.2.2018	KPTV TEDO
10016036	Zastoj	PAL L3 - Ul.transport sanduka s ulagačem	ZM01	Ispitivanje ispravnosti motora,ispitivan	430	265	2	2	1.2.2018	DPTV TEDO
10016037	Nema efekta	TRP Q - Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Pregled ispravnosti fotočelija na izlazn	430	265	3,5	3,5	1.2.2018	DPTV TEDO
10016038	Zastoj	PAK Q - Segment omatanja boca	ZM01	Zamjena noža za rezanje najlona.Nož koji	410	224	2	2	2.2.2018	KPTV TEDO
10016039	Zastoj	LIF L3 - Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Kotrljača lifta se ne da pokrenuti ni u	430	2493	1	1	2.2.2018	KPTV TEDO
10016040	Zastoj	ETI Q - Etiketirka Q linija	ZM01	Čišćenje navoja na stolu gdje se pričvrš	410	1456	1	1	3.2.2018	KPTV TEDO
10016041	Zastoj	UPA L3 - Pogon stroja	ZM01	Otsušteni su bili vijci od reduktora.Pti	410	224	1	1	5.2.2018	KPTV TEDO
10016042	Zastoj	PAL L3 - Hvatač saduka sa nosačem	ZM01	Zamjena plastičnog crijeva od zraka.Pukn	410	224	1	1	5.2.2018	KPTV TEDO

Slika 16. Izgled dijela tablice koja sadržava sve radne naloge

Konkretna tablica sadržava neke od ključnih informacija, a to su ime stroja u zastoju (vidljivo u stupcu imena Opis funkcijske lokacije) te stvarno vremensko trajanje zastoja (vidljivo u stupcu imena Stv. rad.). Tablica sadržava čak 33 356 redaka od kojih svaki redak odgovara jednom radnom nalogu. Dakle, radi se zaista o ogromnoj količini informacija koje je potrebno filtrirati i smisleno analizirati. Prvi i osnovni korak bio bi razdvajanje neplaniranih zastoja od planiranih. Taj se korak može vrlo jednostavno i elegantno napraviti direktno u Excelu jer u stupcu naziva Tip postoje tri moguća podatka, a to su ZM01, ZM02 i ZM03. To su redom šifre za mehanički kvar stroja, električki kvar stroja i zakazani remont, odnosno popravak stroja.

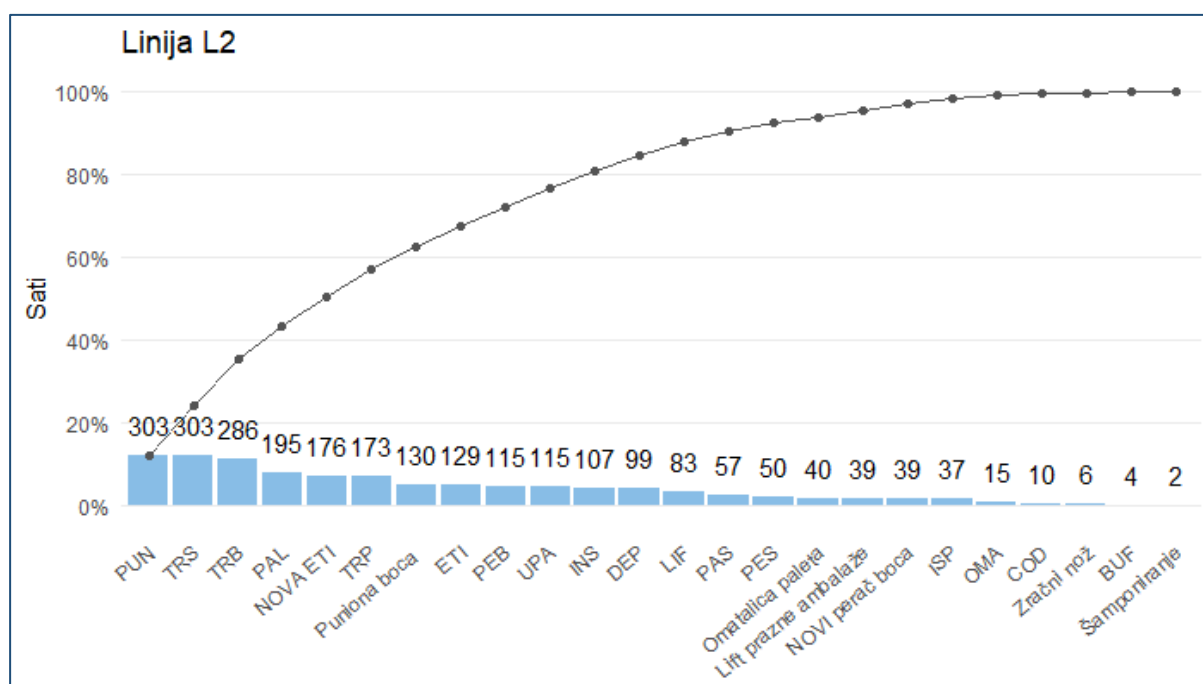
Uključivanjem opcije Filter u Excelu moguće je iz cijele tablice izbaciti sve naloge s oznakom ZM03 što se i čini. Na taj način u tablici preostaju samo zastoji nastali zbog kvarova što je dobro jer je cilj identificirati strojeve koji su se najviše kvarili i spontano uzrokovali zastoje. Kada je to riješeno, preostaje analizirati strojeve na svakoj liniji posebno, prvo na liniji L2, a zatim i na liniji Q.

Taj bi posao bio iznimno mukotrpan pa čak i neizvediv bez pomoći softverskih alata. Analizu je moguće do kraja provesti u Excelu, no i to nije lak i brz zadatak. Stoga, najveći dio analize neplaniranih zastoja provodi se u R-u, koristeći RStudio. U RStudio, prije svega, treba importirati dotičnu Excel tablicu koja sadržava vremena zastoja zbog kvarova. Ishod je prikazan na [slici 17].

Nalog	Prioritet	Opis funkcijske lokacije	Tip	Kratki tekst operacije	MjesRada	Kadr.br.	Rad	Stv. rad	Najr.poč.	Stat
1	10016006	Zastoj	PAK Q - Segment omatanja boca	ZM01	podešavanje valjka za rezanje najlona	410	217	2.0	2.0	2018-01-02
2	10016007	Zastoj	PAS Q - Pumpe i cjevovod	ZM01	Zamjena mehaničke brtve	410	1456	2.0	2.0	2018-01-03
3	10016008	Zastoj	TRP L3 - Transport paleta L3	ZM01	Izbacila kotrljača prije omatalice.	430	2527	1.0	1.0	2018-01-04
4	10016009	Zastoj	INS L3- Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Ne radi inspekcija test boca, nelispravna	430	2493	3.0	3.0	2018-01-07
5	10016010	Nema efekta	UPA L3 - Upakivač L3	ZM01	Podešavanje ulaza u upakivač te praćenje	410	224	1.0	1.0	2018-01-08
6	10016011	Zastoj	LIF L3 - Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Doljnji prekidač zaštekao, nije se vratio	430	872	1.0	1.0	2018-01-08
7	10016012	Zastoj	INS L3- Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Izmjena fotočelije, kabel nažuljan	430	872	1.0	1.0	2018-01-07
8	10016013	Zastoj	PUN L3 - HD sustav	ZM01	Ne radi hd, zamjena špule HD-a	430	2493	1.0	1.0	2018-01-08
9	10016014	Zastoj	INS L3- Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Izmjena fotočelije zida 4	430	872	0.5	0.5	2018-01-09
10	10016015	Zastoj	INS L3- NOVI INSPEKTOR L3-HEUFT	ZM01	Pukolo zaštitno staklo zida 2 (izlaz ins)	430	2493	1.0	1.0	2018-01-10
11	10016016	Zastoj	TRP L2 - Transport paleta L2	ZM01	Izbacila termička zaštita Q14M5, zapela	430	2527	1.0	1.0	2018-01-11
12	10016017	Nema efekta	ROBOT - bačvarija	ZM01	Resetiranje upravljačkog displeja otpaja	430	265	0.5	0.5	2018-01-15
13	10016018	Zastoj	Proizvodnja - BAČVARIJA	ZM01	Ispao plastični lana sa lančanika zbog s	410	224	1.0	1.0	2018-01-15
14	10016019	Zastoj	ETI L2- NOVA ETIKETIRKA L2	ZM01	stroj je ponovno ostao u mraku, resetira	430	262	1.0	1.0	2018-01-16
15	10016020	Nema efekta	PUN L2 - HD sustav	ZM01	Zamijena brzorastavne spojnice	410	1456	1.0	1.0	2018-01-18
16	10016021	Zastoj	DEP L2 - Senzorika - mjerni instrumenti	ZM01	Zamjena fotočelije na okretaču gajbi, to	430	2493	1.0	1.0	2018-01-19
17	10016022	Zastoj	UPA L3 - Transport sanduka	ZM01	nasjedale košare na sanduke podešavanje	410	740	1.5	1.5	2018-01-22
18	10016023	Zastoj	NOVA ETI L3-Sustav za etiketiranje-agreg	ZM01	vratna etiketa ispadala iz spremnika i n	410	740	1.5	1.5	2018-01-22
19	10016024	Zastoj	PES L3 - Perač sanduka L3	ZM01	Stoji motor okretača, nema signala prema	430	872	1.0	1.0	2018-01-21
20	10016025	Zastoj	NOVA ETI L3-Sustav za etiketiranje-agreg	ZM01	Popravak i podešavanje košare vratna eti	410	224	3.0	3.0	2018-01-22

Slika 17. Excel tablica importirana u RStudio

Na temelju te tablice piše se programski kod koji je dostupan kao [prilog I]. Za rezultat analize zastoja pogodan je grafički prikaz, u ovom slučaju rađen je Pareto grafikom. Ukratko, u Pareto grafikonu stupići će prikazivati koliko je pojedini stroj bio vremenski u zastoju, a svaki stupić označava jedan stroj odabrane linije. Na taj je način praktično usporediti sve strojeve međusobno po zastojima. Dakle, na horizontalnoj osi nalaze se strojevi, a na vertikalnoj stvarno vrijeme zastoja u satima. Nakon izvršenog koda, R kao izlaz izbacuje dva Pareto grafikona, jedan za strojeve na liniji L2 [slika 18], a drugi za strojeve na Q liniji [slika 19].

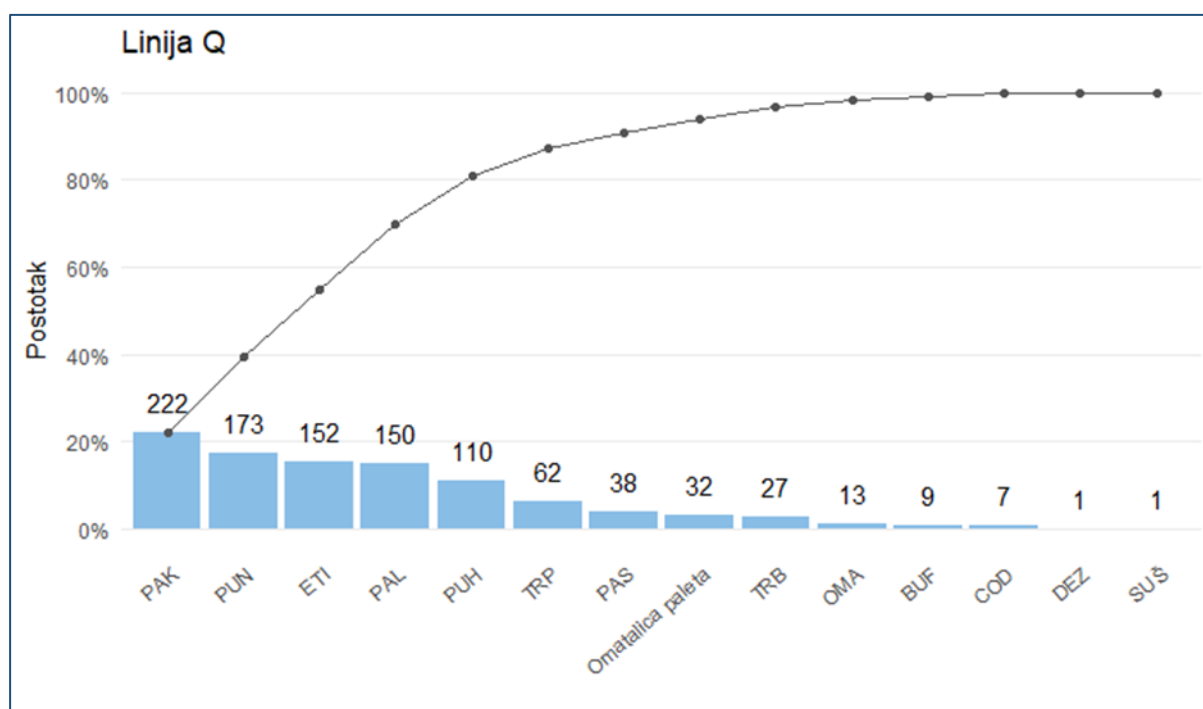


Slika 18. Pareto grafikon - zastoji za L2 liniju

Za početak, valja reći kako je većina strojeva u radnim nalogima, a tako onda i prvotnoj u tablici poznata po skraćenicama. Primjerice, PUN je punjač, ETI je etiketirka, PAL je paletizator itd. Za svrhe ovog rada i razumijevanje analize nije potrebno znati značenje svake skraćenice.

Uglavnom, iz grafikona na [slici 18] vidi se da je najviše sati zastoja uzrokovano kvarovima na punjaču, točnije njih 303. Sljedeći stroj po redu s istim brojem sati jest transporter sanduka, a slijede transporter boca s 286 sati, paletizator sa 195 sati itd. Ono što je vrlo važno za naglasiti da u evidenciji postoji stavka po imenu Puniona boca koja se tretira kao stroj i vidljiva je na grafikonu, no zapravo je riječ o tome da operater koji je izvodio popravak pri ispuni radnog naloga na digitalnom obrascu nije uopće specificirao stroj na kojem je vršio popravak nego je samo označio proizvodnu liniju, u ovom slučaju L2. To predstavlja popriličan problem jer zaposlenici održavanja Zagrebačke pivovare jednostavno ne mogu znati otkuda potječe 130 sati zastoja koji su se očigledno dogodili, ali nisu pripisani konkretno nijednom stroju.

Primarni zaključak koji se može izvući iz ovog grafičkog prikaza jest da je punjač glavni „krivac“ za zastoje u promatranom vremenskom periodu na liniji L2 i trebalo bi detaljnije proučiti zašto je tomu tako.

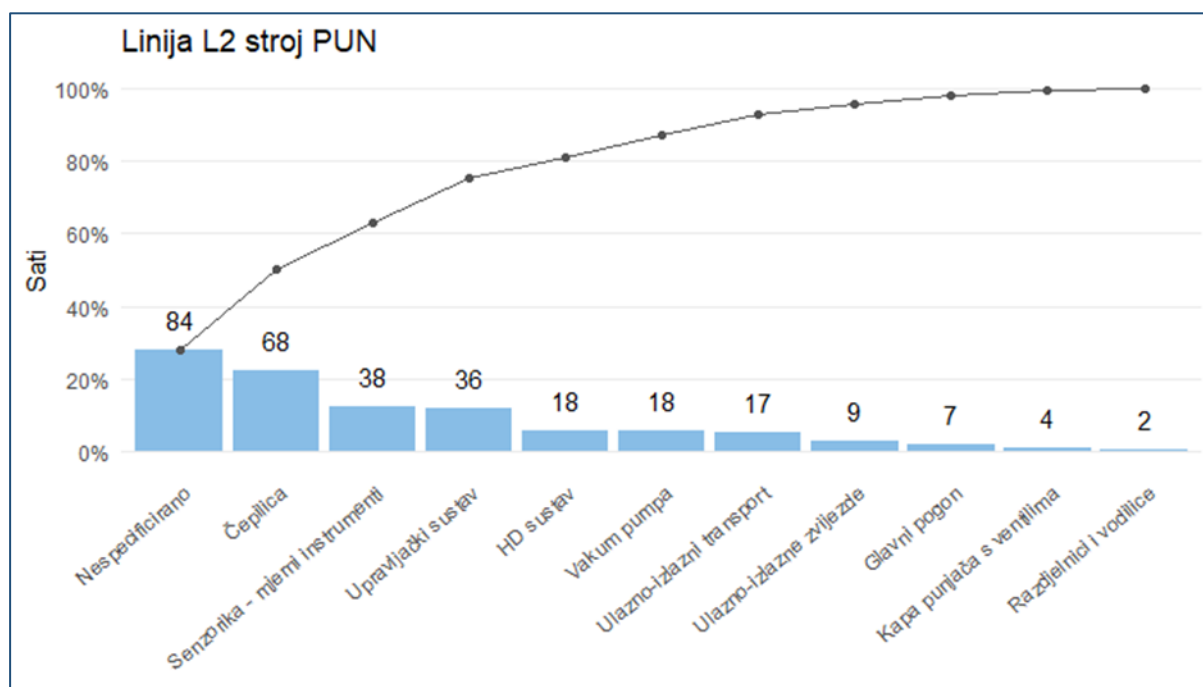


Slika 19. Pareto grafikon – zastoji za Q liniju

[Slika 19] prikazuje Pareto grafikon kao i u prethodnom slučaju, no ovoga puta radi se o drugoj promatranoj liniji, liniji koja služi za punjenje PET boca. Iz tog razloga, strojevi se pomalo razlikuju te ih ima i manje. Bez obzira na to, RStudio je uspješno nacrtao traženi grafikon. Pomoću grafikona je ponovno vrlo jednostavno odrediti koji je stroj svojim kvarovima uzrokovao najviše sati zastoja na Q liniji, a to je stroj za izradu paketa s ukupno 222 sata zastoja. Slijede ga punjač Q linije sa 173 sata, etiketirka sa 152, paletizator sa 150 itd. Logično je da fokus najprije treba usmjeriti na stroj za izradu paketa ako se želi reducirati vrijeme neplaniranih zastoja.

Saznanjima iz prva dva Pareto grafikona uspješno su se detektirali strojevi koji su najviše doprinijeli zastojima na svojim linijama, a tu prednjače punjač na L2 liniji te stroj za izradu paketa na Q liniji. Analiza bi se trebala dalje odvijati u smjeru ta dva stroja te koristeći detalje iz radnih naloga moguće je razbiti ta dva stroja na sklopove i vidjeti koji su se točno dijelovi tog stroja kvarili, tj. koje su dijelovi operateri morali popravljati u najvećoj mjeri. Te podatke potrebno je ponovno izvući iz SAP-a i eksportirati ih u Excel tablicu. Rezultat tog postupka jesu dvije nove Excel tablice koje sadrže samo radne naloge vezane uz jedan stroj. Spomenute tablice su slične prvotnoj tablici koju smo koristili, no obujmom su puno manje jer sadrže samo neplanirane zastoje nastale na točno određenom stroju. U skladu s tim novim ulaznim

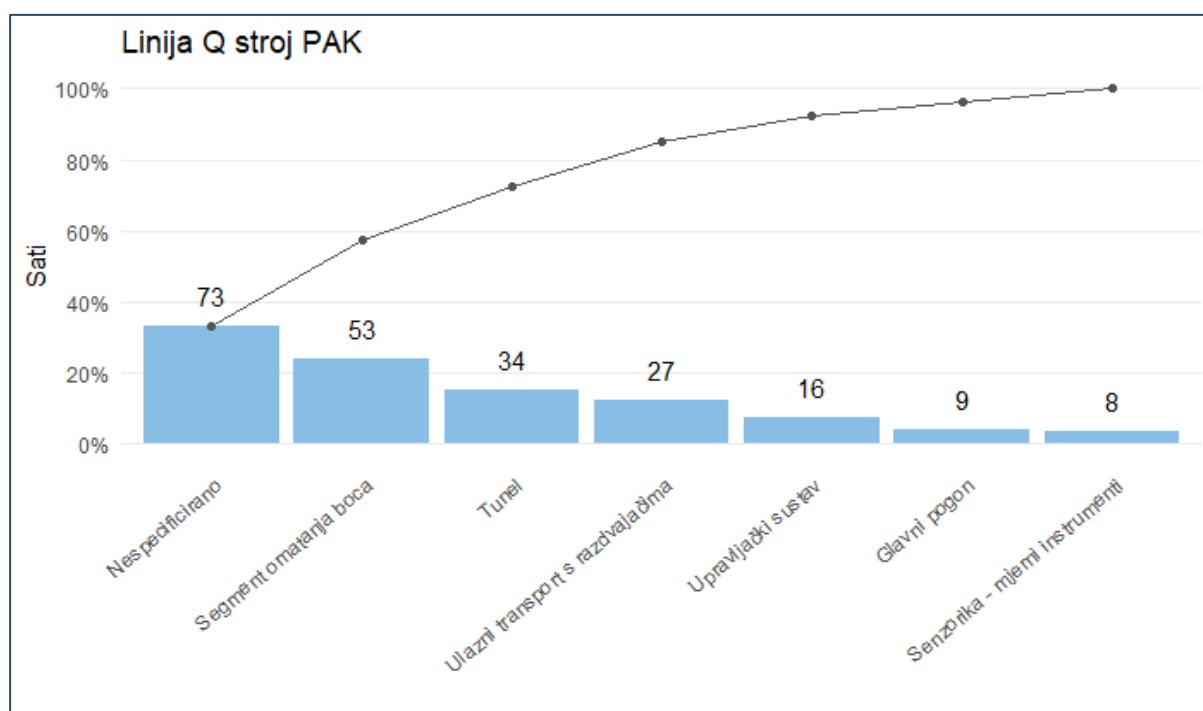
podacima, piše se nastavak programskog koda koji će nacrtati još dva Pareto grafikona, za svaki stroj posebno. Rezultati toga vidljivi su na [slici 20] i [slici 21].



Slika 20. Pareto grafikon – zastoji za punjač na L2 liniji

Punjač L2 linije seciran je na manje dijelove poput vakuum pumpe, čepilice, upravljačkog sustava i ostalih te su ti dijelovi međusobno komparirani po broju sati neplaniranih zastoja. Ono što je odmah vidljivo da je prvi stupić s 84 sata zastoja označen kao nespecificirano iz razloga koji je sličan onome koji je opisan u slučaju s 'Punionom boca' na L2 liniji. Dakle, operater koji je vršio određenu operaciju na punjaču nije u radnom nalogu specificirao koji je dio punjača popravljao već je u sistemu označio samo punjač kao takav. To je zaista problematično jer zaposlenici u održavanju iz podataka nikako ne mogu saznati zbog kojih je dijelova punjača stroj bio u zastoju čitava 84 sata. Ono što se može iščitati iz podataka je činjenica da je 68 sati (od ukupno 303) zastoja na punjaču uzrokovano čepilicom koja se na toj liniji vodi kao sastavni dio punjača.

Identičan postupak proveden je i za stroj za izradu paketa na Q liniji, a ishod je bio sljedeći:



Slika 21. Pareto grafikon – zastoji za stroj za izradu paketa na Q liniji

U ovom je slučaju također najveći broj sati u zastoju ostao nespecificiran iz istog razloga kao i kod punjača L2 linije. Radi se o 73 sata zastoja (od ukupna 222 sata) za koje je nemoguće precizno utvrditi otkuda potječu. Ono što je poznato jest činjenica da je 53 sata zastoja nastalo zbog kvarova na segmentu omatanja boca na dotičnom stroju, a slijedi ga tunnel s 34 sata.

6.3. Zaključak i moguća poboljšanja

Najprije, može se reći kako je analiza zastoja bila uspješna jer je iznjedrila korisne podatke i ukazala na određene probleme koje je moguće riješiti i time poboljšati proces. Važno je istaknuti kako je u ovom primjeru pokazano kako se pomoću softverskog alata, tj. programskog jezika R brzo došlo do rezultata i grafičkih prikaza koji su jednostavni za tumačenje. Osim toga, isti je programski kod primjenjiv i na sve druge linije i strojeve, uz sitne preinake naravno. Izvesti ovakvu analizu koristeći samo SAP nije moguće, a i uz Excel bi bilo puno zahtjevnije i sam proces bi bio dugotrajniji te, što je zaista bitno, podložniji pogreškama i previdima. Uz R, ovaj se problem riješio u cca. 150 linija koda čije je pisanje ipak oduzelo ponešto vremena, no taj kod ostaje zauvijek i ponovno ga se može koristiti u istu svrhu što donosi ogromnu uštedu vremena za buduće analize.

Što se tiče samih rezultata analize, zorno su se prikazali strojevi i njihovi dijelovi koji su se najviše i najteže kvarili u razdoblju od 1. siječnja 2018. do 31. kolovoza 2020. godine. Ti su strojevi svojim zastojsima i neophodnim popravcima proizveli velike troškove za poduzeće i moguće je da kvarovi koji stoje iza njih i nisu toliko slučajni ako se događaju u tolikoj mjeri. Iz tog razloga, trebalo bi detaljnije pregledati te strojeve/dijelove i vidjeti postoji li kakva greška na njima. Nadalje, treba analizirati i troškove i odvagati mogućnost nabave potpuno novog dijela ili čak čitavog stroja koji se više neće toliko kvariti ako će to u konačnici značiti uštedu novaca i vremena. To su odluke koje mora donijeti menadžment u suradnji s odjelom održavanja čiji zaposlenici najbolje razumiju materiju i mogu pružiti najkvalitetnije savjete na tom području.

Analiza je ukazala i na moguće ljudske propuste koji su onemogućili da se dobije kompletna slika uzroka zastoja. Radi se o tome da operateri u svojim radnim nalogima ne specificiraju mjesto kvara nego ostave ta polja prazna, iako bi im to oduzelo vrlo malu količinu vremena. Osim toga, prema podacima iz SAP-a u nekim radnim nalogima nije navedeno stvarno vrijeme zastoja što je uzrokovalo greške u kodu i bilo ih je potrebno korigirati. Nažalost, organizacija je svjesna tih poteškoća, ali treba još raditi na njihovim uklanjanjima. To su ozbiljni problemi koji su lako rješivi i ne iziskuju dodatna novčana ulaganja. Operaterima treba dati jasno do znanja da korektnim ispunjavanjem radnog naloga od početka do kraja pomažu kolegama u održavanju te posljedično i cijelome poduzeću. Zastoji bi se na taj način mogli pratiti još lakše čime bi postalo jasnije u kojim segmentima proizvodnje leže najveći problemi i gdje treba usmjeriti fokus kako bi se ti isti problemi mogli riješiti.

7. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj rad opisani su zastoji u proizvodnji i dobrobit njihova praćenja. Za kraj, bitno je razumjeti temeljnu podjelu zastoja na planirane i neplanirane te shvatiti kako zastoji nisu isključivo negativne pojave u proizvodnji, već mogu biti unaprijed planirani s intencijom sprječavanja upravo onih neplaniranih i neželjenih zastoja.

Praćenje zastoja je samo po sebi posao bez kraja jer koliko god truda bude uloženo u eliminaciju zastoja, nijedno poduzeće orijentirano na proizvodnju neće ih se moći zauvijek riješiti. Zastoji su jednostavno sastavni dio proizvodnje i to je činjenica koju treba što prije prihvatiti i prilagoditi način rada u skladu s time. Stoga, najprije treba razumjeti uzroke zastoja u proizvodnji jer to ujedno pomaže i u njihovoj prevenciji.

Za uspješno praćenje i prevenciju zastoja ključno je imati kvalitetan kadar ljudi zaposlenih u sektoru održavanja jer su upravo stručnjaci za održavanje oni koji vode najveće borbe sa zastojima. Održavanje je u prošlom stoljeću postalo sastavni dio industrije i napreduje iz dana u dan, usporedno s napretkom tehnologije pa je važno biti u toku s najnovijim trendovima i prilagođavati svoj pristup pravovremeno kako bi maksimizirali uštedu ograničenih resursa kojima poduzeća raspolažu. Određivanje optimalne strategije neophodan je zadatak za stručnjake održavanja i proces koji zahtijeva vrijeme, promišljanje i ispravne procjene te stručnost prije svega.

Kada strategija jednom bude određena, ključno je pridržavati se pravila i planirati unaprijed jer u suprotnom dolazi do problema. Manjak brige za opremu u postrojenjima, neodgovorno ponašanje radnika u pogonu, nepridržavanje sigurnosnih protokola te nemar i slab interes menadžmenta za održavanje općenito može rezultirati velikim gubicima za jednu tvrtku, ponajprije novčanim, a u najgorem slučaju može doći i do ljudskih ozljeda te havarija s ozbiljnim posljedicama za prirodu i okoliš.

U današnje vrijeme, praćenje zastoja je nezamislivo bez podrške tehnologije i softverskih alata. Na tržištu postoje mnogi besplatni alati koji mogu biti od velike koristi u ovom području, no važno je znati ih koristiti na pravi način i u pravo vrijeme. Stoga, na tržištu rada sve traženiji postaju podatkovni analitičari čiji je posao da svojim znanjima i vještinama surađuju sa stručnjacima održavanja i menadžmentom i izvršavanjem raznih analiza daju svoj doprinos napretku poduzeća. Za to je primarno potrebna kvalitetna baza podataka u kojoj su sačuvani povijesni podaci o zastojima. Bazu podataka zastoja nužno je konstantno ažurirati i držati ju urednom, smislenom i cjelovitom kako bi se mogla iskoristiti za analizu i tako ubrati plodovi u

obliku zaključaka koji mogu ponukati menadžment na donošenje ispravnih odluka u svrhu dodatnog unaprjeđenja proizvodnje.

Zaključno, praćenje zastoja ni u kojem slučaju nije zaduženje pojedinca već neiscrpan zadatak za jedan cijeli dobro uigrani kolektiv u kojem je ključna kvalitetna suradnja, neprestano sakupljanje iskustava, predanost radu, pravovremena reakcija te mudro planiranje unaprijed.

LITERATURA

- [1] Lisjak D. Održavanje. PPT ver. 8.5.; ak. god. 20./21.
- [2] <https://www.nrx.com/downtime-causes/> 12. 1. 2021.
- [3] <https://blog.pocketstop.com/5-causes-of-manufacturing-downtime> 12. 1. 2021.
- [4] Subramaniam SK, Yusop Y, Hamidon A. Machine efficiency and man power utilization on production lines; 2008.
- [5] https://www.cleanroomtechnology.com/news/article_page/Wash_it_away_Cleaning_and_disinfection_in_the_food_industry/147339 25. 1. 2021
- [6] <https://www.aspentech.com/en/apm-resources/unplanned-downtime> 10. 2. 2021.
- [7] <https://www.maintenanceandengineering.com/2020/06/17/slow-speed-bearing-failure-detected-using-ultrasound/> 11. 2. 2021.
- [8] <https://www.telegram.hr/fotogalerije/zivot/zbog-nove-hbo-ove-serije-svi-pricaju-o-cernobilu-izvukli-smo-nekoliko-rijetkih-fotografija-te-uzasne-katastrofe/> 11. 2. 2021.
- [9] Hegedić M, Tošanović N. Ključni pokazatelji uspješnosti. PPT. Proizvodni menadžment; ak. god. 20./21.
- [10] <https://www.leanproduction.com/oe.html> 14. 2. 2021.
- [11] Fei He, Kang Shen, Lijing Lu, Yifei Tong. Model for improvement of overall equipment effectiveness of beer filling lines; 2017.
- [12] van Leer D. Improving performance of the Star Bottle production line; 2014.
- [13] <https://en.wikipedia.org/> 14. 2. 2021.
- [14] https://orsoft.solutions/sites/default/files/inline-images/MDW_SAP_Integration.png 14. 2. 2021.
- [15] https://support.microsoft.com/hr-hr/office/dostupne-vrste-grafikona-10b5a769-100d-4e41-9b0f-20df0544a683#_toc365991016 15. 2. 2021.
- [16] <https://www.careerexplorer.com/careers/data-analyst/> 15. 2. 2021.
- [17] <https://www.codemonkey.com/blog/7-must-know-programming-languages-for-data-scientist-and-data-analysts/> 15. 2. 2021.
- [18] <https://www.techrepublic.com/article/5-free-alternatives-to-microsoft-excel/> 15. 2. 2021.
- [19] <https://libguides.library.kent.edu/statconsulting/r> 15. 2. 2021.
- [20] <https://rstudio.com/> 15. 2. 2021.

PRILOZI

I. Programski kod u R-u

Prilog I.

Programski kod u R-u:

Instalacija paketa potrebnih za analizu

```
#install.packages("readxl")
#install.packages("data.table")
#install.packages("stringr")
#install.packages("qicharts2")
```

Koristene biblioteke

```
library("readxl")
library("data.table")
library("stringr")
library("qicharts2")
```

Ucitavanje podataka za liniju L2

```
# učitavanje excel datoteke
datStrojevi <- read_excel("Podaci - pivovara.xlsx", sheet = "Strojevi")
# filtriranje podataka za L2
datL2 <- datStrojevi[datStrojevi$`Opis funkcijske lokacije` %like% "L2"&!(datStrojevi$`Opis funkcijske lokacije` %like% "L1"),]
# datL2 <- datStrojevi[datStrojevi$`Opis funkcijske lokacije` %like% "L2",]
datL2$linija = "L2"
posl2 <- str_locate(datL2$`Opis funkcijske lokacije`, "L2")
# kopiranje imena stroja u posebnu kolonu
datL2$stroj = str_sub(datL2$`Opis funkcijske lokacije`, start = 1, end=posl2[,1]-1)
# micanje minus znaka iz kolone stroja
datL2$stroj = str_replace(datL2$stroj, "-", "")
# micanje null vrijednosti
datL2$`Stv. rad`[is.na(datL2$`Stv. rad`)] <- 0
```

Ucitavanje podataka za liniju Q

```
#filtriranje podataka za Q
datQ <- datStrojevi[datStrojevi$`Opis funkcijske lokacije` %like% " Q ",]
datQ$linija = "Q"
posq <- str_locate(datQ$`Opis funkcijske lokacije`, " Q ")
```

```
# kopiranje imena stroja u posebnu kolonu
datQ$stroj = str_sub(datQ$`Opis funkcijske lokacije`,start = 1,end=posq[,1]
-1)

# micanje minus znaka iz kolone stroja
datQ$stroj = str_replace(datQ$stroj, "-", "")

# micanje null vrijednosti
datQ$`Stv. rad`[is.na(datQ$`Stv. rad`)] <- 0
```

Analiza L2 Linije

```
analysisL2 <- aggregate(datL2$`Stv. rad`, by=list(Category=datL2$stroj),FUN
=sum)

analysisL2 <- analysisL2[order(analysisL2$x, decreasing=TRUE), ]

x = analysisL2$Category
y = analysisL2$x

chartL2 <- rep(x,y)
paretochart(chartL2,title = "Linija L2", caption = "",ylab="Sati", xlab="",
x.angle = 40)
```

Analiza Q Linije

```
analysisQ <- aggregate(datQ$`Stv. rad`, by=list(Category=datQ$stroj),FUN=su
m)

analysisQ <- analysisQ[order(analysisQ$x, decreasing=TRUE), ]

Qx = analysisQ$Category
Qy = analysisQ$x

chartQ <- rep(Qx,Qy)
paretochart(chartQ,title = "Linija Q", caption = "",ylab="Postotak", xlab="
",x.angle = 40)
```

Analiza Sklopova

```
datSklopoviL2 <- read_excel("podjela na sklopove.xlsx", sheet = "L2 - PUN")
datSklopoviQ <- read_excel("podjela na sklopove.xlsx", sheet = "Q - PAK")
```

Linija L2 - PUN

```
datSklopoviL2 <- datSklopoviL2[datSklopoviL2$`Opis funkcijske lokacije` %like% "L2"&! (datSklopoviL2$`Opis funkcijske lokacije` %like% "Puniona boca - L2"),]

posl2sk <- str_locate(datSklopoviL2$`Opis funkcijske lokacije`, "L2")
lenl2sk <- str_length(datSklopoviL2$`Opis funkcijske lokacije`)
datSklopoviL2$sklop = str_sub(datSklopoviL2$`Opis funkcijske lokacije`, start = posl2sk[,2]+4, end=lenl2sk)

datSklopoviL2$sklop[datSklopoviL2$sklop %like% "boca linija 2"] <- "Nespecificirano"

datSklopoviL2$`Stv. rad`[is.na(datSklopoviL2$`Stv. rad`)] <- 0

analysisL2sk <- aggregate(datSklopoviL2$`Stv. rad`, by=list(Category=datSklopoviL2$sklop), FUN=sum)

s12x <- analysisL2sk$Category
s12y <- analysisL2sk$x
chartL2sk <- rep(s12x, s12y)

paretochart(chartL2sk, title = "Linija L2 stroj PUN", caption = "", ylab="Sati", xlab="", x.angle = 40)
```

Linija Q - PAK

```
posQsk <- str_locate(datSklopoviQ$`Opis funkcijske lokacije`, " Q ")
lenQsk <- str_length(datSklopoviQ$`Opis funkcijske lokacije`)
datSklopoviQ$sklop = str_sub(datSklopoviQ$`Opis funkcijske lokacije`, start = posQsk[,2]+2, end=lenQsk)

datSklopoviQ$sklop[datSklopoviQ$sklop %like% "Stroj za izradu paketa Q linija"] <- "Nespecificirano"

datSklopoviQ$`Stv. rad`[is.na(datSklopoviQ$`Stv. rad`)] <- 0

analysisQsk <- aggregate(datSklopoviQ$`Stv. rad`, by=list(Category=datSklopoviQ$sklop), FUN=sum)

sQx <- analysisQsk$Category
sQy <- analysisQsk$x
chartQsk <- rep(sQx, sQy)

paretochart(chartQsk, title = "Linija Q stroj PAK", caption = "", ylab="Sati", xlab="", x.angle = 40)
```