

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**ANALIZA PRENOVE PROCESA RAZPOREJANJA PROIZVODNJE
Z UPORABO UMETNE INTELIGENCE**

Ljubljana, julij 2024

KATJA KARLIN

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Katja Karlin, študentka Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, avtorica predloženega dela z naslovom Analiza prenove procesa razporejanja proizvodnje z uporabo umetne inteligence, pripravljenega v sodelovanju s svetovalko red. prof. dr. Mojco Indihar Štemberger

IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravila samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbela, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označila;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi.
11. da sem preverila verodostojnost informacij, ki izhajajo iz zapisov na podlagi uporabe orodij umetne inteligence.

V Ljubljani, dne 04.07.2024

Podpis študentke: Katja Karlin

KAZALO

1	UVOD	1
2	PLANIRANJE V PROIZVODNIH PROCESIH	3
2.1	Opredelitev planiranja	3
2.2	Planiranje v proizvodnih podjetjih	3
2.3	Vrste planiranja	4
2.3.1	Strateško planiranje	5
2.3.2	Taktično (letno) planiranje	5
2.3.3	Operativno planiranje	6
2.3.4	Mikroplaniranje	6
2.4	Razporejanje proizvodnje	6
3	DIGITALIZACIJA IN UMETNA INTELIGENCA	7
3.1	Podatkovna analitika	8
3.1.1	Deskriptivna analitika	9
3.1.2	Diagnostična analitika	9
3.1.3	Napovedovalna analitika	9
3.1.4	Predpisovalna analitika	9
3.2	Umetna inteligenca v poslovni analitiki	9
3.2.1	Vhodi	11
3.2.2	Procesi	11
3.2.3	Shranjevanje podatkov	11
3.2.4	Izhodi	11
3.3	Prednosti in slabosti umetne inteligence	11
3.4	Strojno učenje	12
3.4.1	Delovanje strojnega učenja	12
3.4.2	Metode strojnega učenja	13
3.4.3	Tehnike strojnega učenja	14
4	NAPREDNO NAČRTOVANJE IN RAZPOREJANJE	14
4.1	Struktura APS	15
4.2	Standardno napredno načrtovanje in razporejanje v primerjavi z naprednim načrtovanjem in razporejanjem z vključeno umetno inteligenco	16

4.3	Sistem MES	17
5	KLJUČNI KAZALNIKI USPEHA	18
5.1	Pomembnost ključnih kazalnikov uspeha	20
5.2	Tipični ključni kazalniki uspeha v proizvodnji	20
5.2.1	Stroškovna učinkovitost opreme	21
5.2.2	Čas pretoka	21
5.2.3	Znižanje stroškov priprave proizvodnih planov in posledično skrajšanje dobavnih časov	21
5.2.4	Konkurenčna prednost.....	22
5.2.5	Izkoristek proizvodnih virov in tržnih priložnosti.....	22
5.2.6	Izkoristek proizvodnih kapacitet in povečanje dobavne zanesljivosti	22
5.2.7	Hitrejša odzivnost in prilagodljivost proizvodnje na spremembe	22
6	RAZPOREJANJE PROIZVODNJE V IZBRANEM PODJETJU	22
6.1	Metode raziskovanja	23
6.2	Podjetje Domel Holding, d. d.....	24
6.3	Značilnosti proizvodnega procesa izbrane proizvodne delavnice	25
6.4	Proces planiranja proizvodnje pred vpeljavo nove informacijske rešitve	26
6.5	Pomanjkljivosti sedanjega procesa planiranja proizvodnje.....	28
6.6	Nova informacijska rešitev	30
6.7	Proces planiranja proizvodnje z vpeljavo nove informacijske rešitve	30
6.8	Ciljni ključni kazalniki uspešnosti projekta	35
6.8.1	Analiza KPI optimalnega razporeda	37
7	ANALIZA PROJEKTA	40
7.1	Prednosti uporabe informacijske rešitve.....	41
7.2	Pomanjkljivosti uporabe informacijske rešitve	41
8	UGOTOVITVE IN PREDLOGI ZA NADALJNJO OPTIMIZACIJO PLANIRANJA.....	42
9	SKLEP	46
	LITERATURA IN VIRI	46

KAZALO TABEL

Tabela 1: Primerjava standardnega APS z APS z AI	17
Tabela 2: Prednosti uporabe informacijske rešitve.....	41
Tabela 3: Pomanjkljivosti uporabe informacijske rešitve	42

KAZALO SLIK

Slika 1: Poenostavljen klasični model hierarhičnega planiranja proizvodnje	4
Slika 2: Gartnerjev model zrelosti podatkovne analitike	8
Slika 3: Gradniki ciljev umetne inteligence	10
Slika 4: Struktura sistema APS.....	16
Slika 5: Sedem glavnih stebrov za postavitev ključnih kazalnikov uspešnosti.....	19
Slika 6: Organigram podjetja.....	24
Slika 7: Transakcija za pregled 4-tedenskega plana proizvodnje.....	26
Slika 8: Pregled rasporeda v MES sistemu	27
Slika 9: Raspored proizvodnih nalogov v MES sistemu.....	28
Slika 10: Prikaz potrjenega dela po izmenah na proizvodnem nalogu.....	28
Slika 11: Izbira parametrov v novi informacijski rešitvi.....	31
Slika 12: Prikaz planske table za razporejanje v novi informacijski rešitvi.....	32
Slika 13: Vkllop in izklop izmen	33
Slika 14: Prikaz zalog za vhodne materiale v novi informacijski rešitvi	34
Slika 15: Prikaz zalog vhodnega materiala za posamezen stroj	34
Slika 16: Prikaz potrebnega časa in števila izdelanih kosov na izmeno v novi informacijski rešitvi.....	35
Slika 17: Izbor parametrov in kriterijev	37
Slika 18: Primerjava kazalnikov.....	38
Slika 19: Izbor parametrov in kriterijev	38
Slika 20: Primerjava kazalnikov.....	39
Slika 21: Izbor parametrov in kriterijev	39
Slika 22: Primerjava kazalnikov.....	40
Slika 23: Evalvacija,2023	44

SEZNAM KRATIC

angl. - angleško

AI – (angl. Artificial intelligence); umetna inteligenca

APS – (angl. Advanced Planning and Scheduling); napredno načrtovanje in razporejanje

ATP – (angl. Available to Promise); poslovna funkcija, ki zagotavlja odgovor na poizvedbe po naročilu strank na podlagi razpoložljivih virov

ERP – (angl. Enterprise Resource Planning); proces upravljanja procesov in načrtovanje poslovnih virov

E2E – (angl. End to End); od začetka do konca

JIT – (angl. Just in Time); ob pravem času

KPI – (angl. Key Performance Indicators); ključni kazalniki uspešnosti

LT – (angl. Lead Time); dobavni čas

MAPE – (angl. Mean Absolute Percentage Error); povprečna absolutna odstotna napaka

MES – (angl. Manufacturing execution system); sistem za nadzor programske opreme za upravljanje delovnih procesov v industrijskih situacijah

ML – (angl. Machine Learning); strojno učenje

MTTP – (angl. Flow time); čas pretoka

OEE – (angl. Overall Equipment Effectiveness); splošna učinkovitost opreme

SSRS – (ang. SQL Server Reporting Services); programski sistem za ustvarjanje poročil

VMI – (angl. Vendor managed inventory); upravljanje zalog, pri kateri je dobavitelj blaga, običajno proizvajalec, odgovoren za optimizacijo zalog, ki jih ima distributer

1 UVOD

Trenutno je za poslovno okolje značilna naraščajoča kompleksnost trga in dobavne verige, globalizacija, globalna konkurenca ter pričakovanja strank glede vedno bolj izpopolnjenih izdelkov. Omenjeni izzivi pa so kot spodbuda za večjo učinkovitost proizvodnih sistemov in oblikovanje strategije, ki bi jih lahko uporabili za doseg tega cilja, tudi z uporabo informacijske tehnologije in tehnik vitke proizvodnje (Oluyisola in drugi, 2021).

Pravilno načrtovanje in nadzor proizvodnje podjetjem prinaša koristi, kot so prednost pred konkurenti, zmanjšanje stroškov in spoštovanje rokov dobave. Zato načrtovanje in nadzor proizvodnje s strojnimi učenjem ponuja nove priložnosti za sprejemanje inteligentnih odločitev na podlagi podatkov (Cavidad in drugi, 2019).

Shahin in Mahbod (2007) opredelita, da postavljanje ciljev in povratne informacije izboljšajo produktivnost. Specifični in zahtevni cilji povzročijo višjo uspešnost kot zmerni ali lahko dosegljivi ali celo nedoločeni cilji. V vsaki organizaciji cilji usmerjajo prizadevanja organizacije, podpirajo razporeditev virov in usmerjajo organizacijo k uspehu. Postavljanje ciljev je eden od prvih korakov, ki jih mora opraviti organizacija, saj se ključni kazalniki uspešnosti (angl. Performance Indicator, v nadaljevanju KPI) odražajo in izhajajo iz ciljev organizacije. Cilji morajo biti podrobni in čim bolj specifični. Ohlapni, široki ali nejasni cilji niso zaželeni. Da bi jasno ugotovili, ali so bili cilji doseženi, le-ti ne smejo biti dvoumni, temveč morajo biti jasni in konkretni. Vsak cilj mora biti merljiv. Merilo je lahko kvantitativno ali kvalitativno, vendar mora biti merjenje v nasprotju s standardom uspešnosti in standardom pričakovanj.

Proizvodna podjetja se soočajo s kompleksnejšimi in individualnimi tehničnimi sistemi ter hkrati s krajšimi razvojnimi in načrtovalnimi cikli, vse večjimi zahtevami po kakovosti in potrebno fleksibilnostjo za specifične zahteve kupca (Joppen in drugi, 2019). Planiranje je vedno bolj pomembno za samo konkurenčnost in uspešnost podjetja, saj lahko rečemo, da gre pri planiranju za podporo prodaji, nabavi ter proizvodnji (Ogorevc, 2021). »Večja je rast podjetja in daljši postajajo roki dobav, večja je potreba po orodjih za avtomatsko planiranje proizvodnje« (Petrov, 2021).

Razpored proizvodnje in načrtovanje vzdrževanja sta med najpogostejšimi in pomembnimi težavami, s katerimi se srečuje proizvodna industrija. En stroj lahko odpove in zato lahko popravilo in zamenjava povzročita nerazpoložljivost stroja, kar moti načrtovanje proizvodnje (Liu in drugi, 2018).

Pri kratkoročnem planiranju se je v obravnavanem podjetju pojavljala težava, da je bilo težko in hkrati tudi zamudno upoštevati vse spremembe, ki so se vmes pojavljale pri postavitvi proizvodnega plana. Zato je postalo prilagajanje plana na spremembe, kot so: okvare orodij, okvare stroja, manko materiala, težave pri dobavi surovin ipd., za planerja časovno zelo zamudno in smo si v podjetju želeli izboljšati trenutni proces planiranja. Na vse to pa so

vplivali tudi drugi dejavniki, kot so nepravilnost matičnih tehnoloških podatkov, nestabilnost prodajnih podatkov, nepredvidljivih sprememb v povpraševanju in tudi nezanesljivi vhodi razvojnih testiranj. Načrtovanje proizvodnje je bilo še vedno v večini v človeški domeni, ker pa lahko naloga razporejanja proizvodnih enot postane kar zapletena, so se v podjetju odločili, da v podjetje vpeljejo novo informacijsko rešitev, ki bi pomagala izboljšati to ročno načrtovanje in razporejanje proizvodnje.

Namen magistrskega dela je prispevati k uspešnosti operativnega planiranja z analizo prenove procesa, ustreznosti kazalnikov in podati predloge za morebitne spremembe uporabe. Ob enem pa želimo prispevati tudi k teoretičnemu razumevanju in praktični uporabi umetne inteligence v industrijskem okolju.

Cilji za magistrsko delo so naslednji:

- prikazati in opredeliti teoretična spoznanja o pomembnosti kazalnikov;
- prikazati učinke umetne inteligence glede na teoretična spoznanja;
- prikazati proces planiranja pred uporabo nove informacijske rešitve in proces planiranja z uporabo nove informacijske rešitve;
- narediti pregled manjkajočih ključnih dejavnikov, ki jih podjetje ni vključilo v uporabo te aplikacije;
- prikazati koristi in pomanjkljivosti, ki so se pojavile z uporabo aplikacije;
- postaviti nova pravila planiranja v primeru planiranja polizdelkov;
- predlagati nadaljnje rešitve.

Z magistrskim delom želimo ugotoviti, kako lahko informacijska rešitev z uporabo umetne inteligence v določenem proizvodnem podjetju vpliva na pripravo operativnega proizvodnega plana, ali pride do prihranka časa planerja pri postavitvi tedenskega oz. 14-dnevnega plana ter kako to vpliva na izboljšanje produktivnosti proizvodnje (zmanjšanje št. menjav, manj ur prenavljanja, enakomernejša zasedenost kapacitet ...). Prav tako pa nas zanima, ali prenova procesa proizvodnje z uporabo umetne inteligence vpliva tudi na boljšo prilagodljivost na spremembe in povečanje konkurenčnosti podjetja na trgu.

Magistrsko delo je sestavljeno iz teoretičnega in praktičnega dela, ki jima sledi še sklepna analiza. V prvem delu magistrske naloge predstavljamo izhodišča, vezana na teoretična spoznanja s področja planiranja in razporejanja proizvodnje, kakšne učinke ima umetna inteligenca (angl. Artificial Intelligence, v nadaljevanju AI) na področju planiranja proizvodnje, ter pridobljena teoretična spoznanja o ključnih kazalnikih uspešnosti.

V drugem delu, ki je praktičen, predstavljamo podjetje Domel d. d. in planiranje proizvodnje v tem podjetju pred uporabo nove informacijske rešitve, prikažemo pa tudi proces planiranja z novo informacijsko rešitvijo. Za kar najbolj zanesljive informacije o uporabi in zadovoljstvu smo znotraj podjetja izvedli tudi strukturirane intervjuje, in sicer z direktorjem oskrbovalnih verig, informatikom, ki je v podjetju SAP PP svetovalec in je bil od začetka

prisoten pri vpeljavi informacijske rešitve v podjetje, ter sodelavcem, ki je med avtoričino odsotnostjo prevzel vlogo ključnega uporabnika nove informacijske rešitve in sodeloval pri nadaljnjem razvoju.

Tretji del pa je sestavljen iz razprave oz. analize projekta na podlagi izbranih podatkov, ki smo jih pridobili s testiranjem in z izvedbo intervjujev. Poizkušali smo ugotoviti, katere so prednosti oz. slabosti nove informacijske rešitve, kje so še pomanjkljivosti, prav tako med ugotovitve vključimo tudi predloge za nadaljnjo optimizacijo planiranja.

2 PLANIRANJE V PROIZVODNIH PROCESIH

2.1 Opredelitev planiranja

Pri planiranju gre za proces razmišljanja, ki je zavesten, kjer se razmišlja ter odloča o ciljih z ugotavljanjem, kateri dogodki se bodo zgodili v prihodnosti in kako se bodo zgodili. Zato bi pod cilje planiranja vključili dejstvo, da želimo spoznati dogodke čim bolj točno ter dogodke, ki so čim bolj časovno oddaljeni (Ljubič, 2006, str. 20).

Potrebno se je zavedati, da je nemogoče, predvideti vse dogodke v prihodnosti, še posebno tiste, ki so precej oddaljeni. Pojavljajo se nepredvideni dogodki, ki se v večji meri dogajajo naključno in nanje ni mogoče neposredno vplivati. Vsi taki dogodki pa vseeno vplivajo na planirane dogodke, na delovanje in obnašanje poslovnega sistema, ker ovirajo in nam onemogočajo cilje, ki smo si jih postavili. Pri procesu planiranja je treba računati na nepredvidljive dogodke, ampak nas ne smejo presenetiti, nanje je potrebno biti pripravljen in vedeti, kako reagirati, če se bodo zgodili (Ljubič, 2000, str. 17).

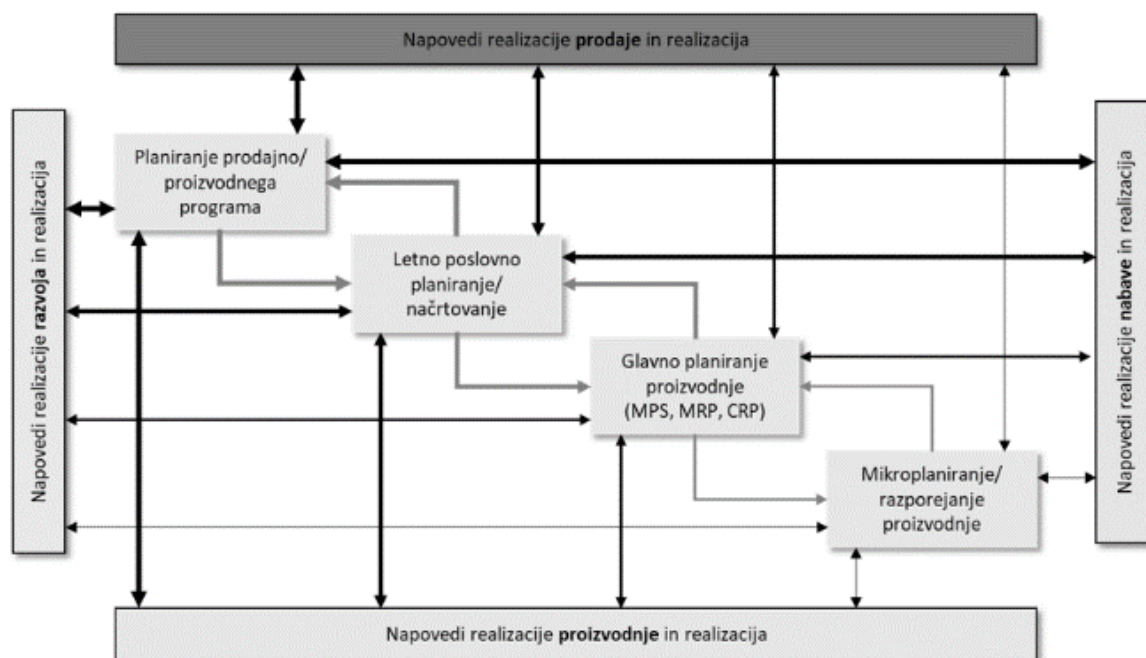
2.2 Planiranje v proizvodnih podjetjih

Funkcija planiranja proizvodnje je pomembna za učinkovitost in usklajeno delovanje oskrbovalnih verig, kjer hkrati vzdržuje neko ravnotežje med proizvodnjo, povpraševanjem in materiali, ki se dobavljajo. Planiranje, v katerem deluje okolje, ima bolj ali manj zanesljive podatke, nastaja pa razlika med dobavnimi roki, ki jih imajo kupci, in so po navadi krajši od potrebnega časa, da se material pretvori v končni izdelek, lahko pa je tudi krajši od časa dobave samega materiala do podjetja. Vsekakor pa je pomemben tudi reakcijski čas, ki je potreben za prilagoditev samih proizvodnih in materialnih virov na spremenjeno povpraševanje (Roblek in drugi, 2022, str. 187).

V klasičnem modelu hierarhičnega planiranja v proizvodnih podjetjih so prikazane različne metode in tehnike, ki pa se razlikujejo tudi od dolžine planskega horizonta in predmeta planiranja. Poenostavljeni klasični model hierarhičnega planiranja proizvodnje omogoča podjetjem boljše upravljanje proizvodnih procesov na različnih ravneh in časovnih obdobjih ter zagotavlja usklajenost med dolgoročnimi strategijami in kratkoročnimi operativnimi cilji.

Na spodnji sliki 1 je razvidno, da se na hierarhičnih nivojih planiranja lahko izrablja različno pridobljene podatke iz preteklosti iz raznih statistik poslovanja, podatke o trenutni situaciji ter podatke o prihodnosti.

Slika 1: Poenostavljen klasični model hierarhičnega planiranja proizvodnje



Vir: prirejeno po Roblek in drugi (2022).

2.3 Vrste planiranja

Poslovni svet se srečuje z več vrstami planiranja. Poznamo planiranje glede na predmet ali vsebino, planiranje glede na obseg objekta planiranja, glede na čas oz. trajanje planskega obdobja ter glede na značilnosti samih procesov planiranja (Ljubič, 2006, str. 21).

Planiranje proizvodnje je razporeditev razpoložljivih virov proizvodnim procesom in dogodkom. Planiranje se uporablja za načrtovanje porabe tovarniške opreme in virov, človeških virov ter za načrtovanje procesov in nabave materiala. Za izdelavo proizvodnega načrta je potrebno načrtovanje. Cilj proizvodnih načrtov je končno izpolniti povpraševanje strank. Cilj proizvodnega načrta je ustvariti čim bolj učinkovit proizvodni načrt (Lutkevich, 2020).

V proizvodnih podjetjih je funkcija planiranja vedno bolj pomembna (Vincent in drugi 2018). Za trenutno proizvodno okolje so značilni visoka kompleksnost, dinamični proizvodni pogoji in nestanovitni trgi. Poleg tega morajo podjetja ponuditi prilagojene izdelke ob nizkih stroških in skrajšati čas do trga, če želijo ostati konkurenčna v globaliziranem svetu (Cadavid in drugi, 2020).

2.3.1 Strateško planiranje

Pri strateških planih gre večinoma za plansko obdobje petih ali več prihodnjih let, čeprav ni nujno, da se dolžino planskega obdobja tudi posebej natančno opredeli. Za strateški plan je značilno, da se izdela dolgo in srednje-ročno strategijo poslovnega sistema. Pri dolgoročnih planih je poudarek na določitvi razvoja samega podjetja, razvoja izdelkov in proizvodnih procesov ter na razvoju organizacije in informatike v podjetju (Ljubič, 2006, str. 28). »V okviru dolgoročnega planiranja izdelave je ključen problem planiranje fiksnih zmogljivosti, saj gre za odločanje o stalnih sredstvih, predvsem zgradbah in opreми« (Rusjan, 2013, str. 159).

Dolgoročni plan je neka osnova oz. izhodišče, da se lahko prične izdelovati tudi srednjeročni plan, ki mora upoštevati omejitve o dolgoročnih odločitvah glede fiksnih zmogljivosti. »Srednjeročno planiranje v izdelavni poslovni funkciji pomeni mesečno planiranje izdelave« (Rusjan, 2013). V tem srednjeročnem procesu planiranja je torej potrebno upoštevati in usklajevati ocene prodaje, ocene izdelave, kaj je možno izdelati, ter hkrati izdelati finančne ocene glede potrebnih sredstev in finančnih rezultatov. Za srednjeročni plan lahko rečemo, da je pomemben za vse poslovne funkcije, ker jim nudi usmeritve in omogoča koordinacijo njihovega delovanja (Rusjan, 2013, str. 159).

V strateškem planiranju pri podjetju se mora ločevati med strateškimi cilji in načrti ter, kako te doseči na ravni podjetja in poslovnih funkcij. Potrebno je zagotoviti upoštevanje procesov planiranja in poslovne funkcije na ravni podjetja, vse to pa se lahko zagotovi z ustrezno obravnavo ciljev in sredstev za njihovo doseganje (Rusjan, 2007).

2.3.2 Taktično (letno) planiranje

Plansko obdobje običajno zajema eno poslovno leto, čeprav to seveda ni nujno. Kjer imajo proizvodne sisteme s precej dolgim, proizvodnim ciklusom, je to lahko potem tudi nekaj let. Ti plani se lahko razdelijo tudi na delna planska obdobja, in sicer na tromesečja in posamezne mesece (Ljubič, 2006, str. 29).

Znotraj osnovnega planiranja imamo predvsem štiri temeljne plane. To so plan proizvodnje, plan prodaje, plan nabave ter finančni plan. Samo iz njih obstaja še kar nekaj ostalih planov. Za samo proizvodnjo pa so lahko zanimivi plan vzdrževanja, plan zaposlenih oz. delovne sile, plan investicij ipd. Te plane lahko dalje strukturiramo po planskih obdobjih (Ljubič, 2006, str. 29).

Pri osnovnem planu se planira izdelavo izdelkov, ki so že razviti in definirani, imamo že poznane postopke in znane materiale, z obstoječimi kapacitetami in z že usposobljenimi delavci. Pri osnovnem planiranju je plansko obdobje kar kratko, zato je verjetnost, da se pojavijo dogodki, ki so nepredvidljivi, manjša. Natančnost takega planiranja pa je zato lahko že kar precejšnja. Vsekakor so možne tudi spremembe osnovnih planov, vendar le v

primerih, ko se med planskim obdobjem ugotovi, da ni nobenih možnosti za realizacijo ciljev, ki smo si jih postavili (Ljubič, 2006, str. 29).

2.3.3 Operativno planiranje

Z operativnim planiranjem se določi zaporedje izvajanja nalog. Tako pri planiranju proizvodnje določimo delovne naloge oz. se določi dela na skupinah ali na posameznih delovnih mestih. Ob tem se pripravi osnove za razdelitev dela, ki se ga je uspelo v celoti pripraviti (Ljubič, 2006, str. 29).

Pri operativnem planiranju gre za kratke časovne enote, kot so teden oz. terminska enota, delovni dan, v določenih primerih pa tudi delovna ura. Ti plani so kar precej točni, zato vmesni zastoji oz. nepredvidljivi dogodki izhajajo predvsem le še zaradi višje sile, izpada energije, okvare strojev, bolezni delavcev, nekakovostnega materiala itd. (Ljubič, 2006, str. 29).

2.3.4 Mikroplaniranje

Mikroplaniranje proizvodnje se nanaša na načrtovanje proizvodnje na mikro ravni, kar pomeni bolj podrobno načrtovanje in nadzor procesov proizvodnje. Ta raven načrtovanja se osredotoča na dnevne, tedenske ali mesečne operativne naloge. Mikroplaniranje proizvodnje vključuje dnevno usklajevanje proizvodnje glede na trenutne razmere. Če se vmes pojavijo kakšni dogodki, kot so okvara stroja, odsotnost delavcev in drugi nepredvidljivi dogodki, se načrti prilagajajo (Józefowska in Zimniak, 2008).

Prav tako se na mikro ravni oblikuje plan proizvodnje za vsak dan ali teden. Ta plan določa, kdaj se proizvajajo posamezni izdelki, koliko se jih proizvede in kdo je odgovoren za izvajanje proizvodnih nalog.

Mikroplaniranje je ključno pri zagotavljanju, da se proizvodnja izvaja učinkovito in brez nepotrebnih zastojev. Prav tako omogoča boljši nadzor nad vsakodnevnimi proizvodnimi dejavnostmi ter prispeva k izboljšanju celotne proizvodne uspešnosti.

2.4 Razporejanje proizvodnje

Planiranje proizvodnje se nanaša na razporeditev virov, operacij in procesov, ki so potrebni za ustvarjanje blaga in storitev. Razporejanje proizvodnje je postalo pomembno za podjetja, ki želijo svoje proizvodne obrate dvigniti na višjo raven (Guzman in drugi, 2022). Podjetja lahko prilagodijo svoj načrt proizvodnje glede na razpoložljivost virov in naročila strank. Razporejanje sovpada z uro in datumom, ko mora biti operacija končana. Gre za bistven in ključen del načrtovanja proizvodnje in postavlja temelje za vse korake v proizvodnem procesu. Obstajale naj bi tri vrste načrtovanja izvajanja procesa: glavni raspored, načrtovanje

proizvodnje ali operacije in razporejanje maloprodajnih operacij. Na splošno je načrtovanje ključnega pomena za nadaljevanje proizvodne operacije (Planettogether, 2020).

Za obvladovanje bolj kot kadar koli zapletenih nalog v procesu načrtovanja in nadzora proizvodnje se podjetja vedno pogosteje zanašajo na pomoč IT sistemov za načrtovanje in razporejanje proizvodnje (angl. Advanced Planning and Scheduling, v nadaljevanju APS). S tem želijo prilagoditi svoj podroben načrt proizvodnje (Finance PR, 2019). Za pravilno uporabo takih sistemov je potrebno zbrati in obdelati veliko število različnih podatkov v kratkem času. Slabi ali nepopolni podatki, ki se bodo vseeno uporabili za prihodnje načrtovanje, lahko privedejo do nerealnega ali celo napačnega načrta proizvodnje in do morebitne kršitve obljubljenih rokov dobave (Schuh in drugi, 2017).

3 DIGITALIZACIJA IN UMETNA INTELIGENCA

Uvedba digitalnih tehnologij je bila sprva videti kot način za povečanje učinkovitosti obstoječih poslovnih modelov in poslovnih procesov z na primer zmanjšanjem stroškov, izboljšanjem kakovosti izdelkov, povečanjem udobja in skrajšanjem dobavnih rokov. Nadalje pa digitalizacija omogoča ustvarjanje kompleksnejših digitalnih ekosistemov. V takšnih ekosistemih se vrednost ustvarja z združevanjem več heterogenih in komplementarnih digitalnih tehnologij. Povečana hitrost digitalizacije vpliva na dinamiko konkurence in konkurenčne rezultate v podjetju (Knudsen in drugi, 2021).

Industrija 4.0 velja za naslednji razvojni korak v proizvodnji in je povezan z veliko potenciala. Ta evolucijski korak v veliki meri temelji na digitalizaciji proizvodnje (Tambare in drugi, 2021). Do danes je bilo identificiranih in s konkretnimi primeri uporabe opisanih veliko možnosti za spremembe. Osnova za vse spremembe je povečana uporaba proizvodnih podatkov. Primera takih potencialov sta boljši nadzor nad kompleksnostjo ter skrajšanje proizvodnih in razvojnih časov. Študije kažejo na do 20 % znižanje stroškov in do 50 % povečanje produktivnosti, a je danes zelo težko narediti spremembe in potenciale do detajlov. Pri nadzoru proizvodnje obstaja množica različnih ključnih števil in sistemov ključnih števil, znanih tudi kot ključni kazalniki uspešnosti (Joppen in drugi, 2019).

Umetno inteligenco bi lahko definirali kot eno izmed tehnologij na področju digitalizacije proizvodnje, s pomočjo katere se lahko nekatere procese v proizvodnji avtomatizira, lahko pa iz pridobivanja proizvodnih podatkov pridobimo nova spoznanja, ki nato podjetjem omogočajo boljše upravljanje proizvodnje (Finance PR, 2022). Umetna inteligenca omogoča avtomatizacijo in optimizacijo proizvodnih procesov z uporabo algoritmov strojnega učenja, ki analizirajo velike količine podatkov in iz njih izluščijo vzorce ter napovedi.

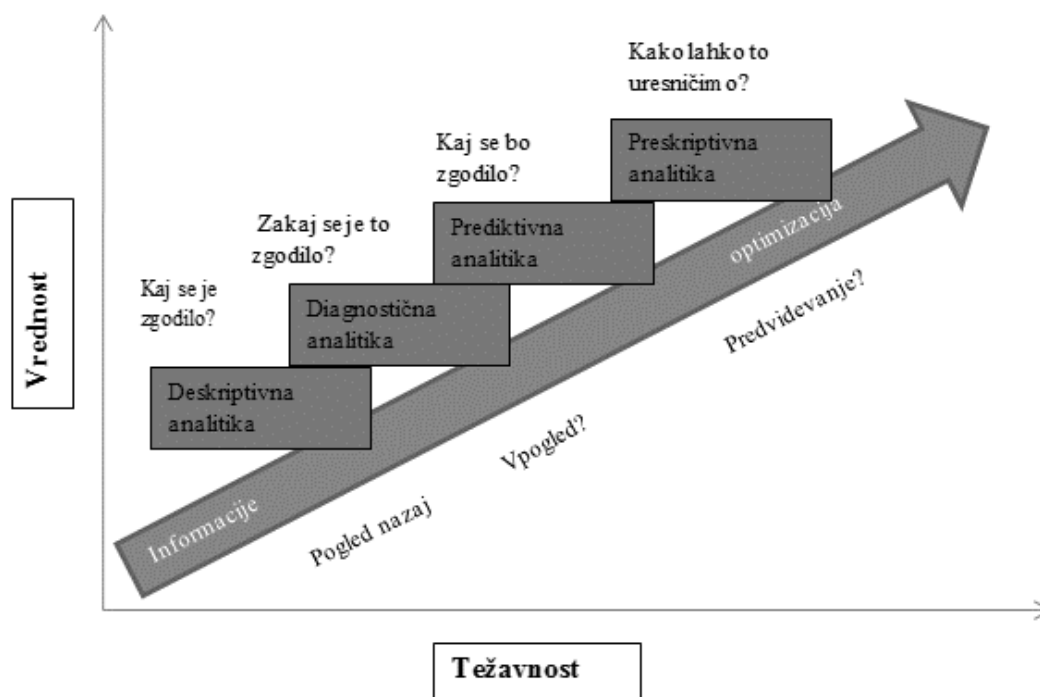
Erjavec in drugi (2018) so v raziskavi preučevali, različne poslovne vidike digitalne preobrazbe – kakšna je digitalna kultura, digitalna zrelost – ter njene organizacijske vidike. S to raziskavo so prispevali k boljšemu poznavanju stanja digitalne preobrazbe v slovenskih velikih in srednjih podjetjih ter boljšemu poznavanju ključnih dejavnikov uspešne digitalne

preobrazbe. Ugotovili so, da se podjetja v Sloveniji zavedajo, da je pri digitalizaciji potrebna tudi poslovna preobrazba in da ta temelji predvsem na poslovni iniciativi. Raziskava je dala vpogled tudi v dejavnike uspešnosti digitalne preobrazbe. Ne glede na to da so ugotavljali, da je v Sloveniji vloga informatikov predvsem tehnološka, pa je v tistih podjetjih, ki so prepoznala poslovno vlogo informatikov, višja tudi digitalna zrelost. Prav tako so ugotovili, da je pomembna ustrezna organizacijska kultura, ker gre za spremembo poslovnih modelov in procesov. Možnost uspeha digitalne preobrazbe se povečuje s prilagodljivostjo, povezanostjo med oddelki in nagnjenostjo k tveganju.

3.1 Podatkovna analitika

Podatkovna analitika je veda o zbiranju, organiziranju in analiziranju nizov podatkov za prepoznavanje vzorcev, ki jih lahko spreminjajo v različne informacije oziroma algoritme. Podatkovna analitika vključuje manipulacijo in računanje velikih količin podatkov, pogosto iz najrazličnejših virov. Manipulacija in računanje se izvajata z veliko hitrostjo, da se identificirajo vzorci, korelacije in druge uporabne informacije. Zmožljivosti podatkovne analitike povečujejo uporabnost množičnih količin podatkov, ki jih je mogoče redno zbirati in posredovati preko dobavne verige. Ne samo da je mogoče informacije destilirati hitreje, ampak je mogoče razviti tudi modele za pomoč pri odločanju na višjih in nižjih ravneh v dobavni verigi (Pagano in Liotine, 2020). Gartnerjev model deli zrelost podatkovne analitike na štiri kategorije, kar je razvidno na sliki 2.

Slika 2: Gartnerjev model zrelosti podatkovne analitike



Vir: prirejeno po Computd (2020).

3.1.1 Deskriptivna analitika

Pri tej vrsti analitike se umetne inteligence ne uporablja, tu gre po navadi za preprostejše kazalnike, npr. kolikšne so proizvedene količine, kakšni so kazalniki učinkovitosti, ter podobne stvari, ki omogočajo vpogled v stanje proizvodnje. Je vrsta podatkovne analitike, ki preoči pretekle podatke, da bi pojasnila, kaj se je zgodilo (Lawton, brez datuma).

3.1.2 Diagnostična analitika

Tudi pri tej vrsti analitike umetna inteligenca nima prav pomembne vloge, saj gre za orodja, s katerimi se lahko ugotavlja vzroke za zastoje, zmanjšanje produktivnosti oz. z njimi ugotavljamo vzroke za spremembe v procesih. Ugotavljanje temeljnih vzrokov trendov in dogodkov je ključnega pomena za poslovni uspeh in diagnostična analitika je zasnovana za doseg tega cilja (Holliday, 2021).

3.1.3 Napovedovalna analitika

Strojno učenje je ena izmed tehnologij, ki se jo lahko uporablja v napovedovalni analitiki. Z drugimi besedami, ne samo da oceni, kaj se je zgodilo, in ekstrapolira splošne trende, temveč naredi tudi individualizirane napovedi, v katerih podrobnosti in nianse določajo prihodnje vedenje. Napredna napovedna analitika se nanaša na izračun trendov in prihodnjih možnosti, napovedovanje možnih rezultatov in dajanje priporočil. To presega poizvedbe in poročila v znanih BI orodjih, kot je programski sistem za ustvarjanje poročil, ki temelji na strežniku (angl. SQL Server Reporting Services–SSRS), do bolj izpopolnjenih metod, kot so statistika, deskriptivno in napovedno rudarjenje podatkov, strojno učenje, simulacija in optimizacija, ki iščejo trende in vzorce v podatkih, kar je pogosto mešanica strukturiranega in nestrukturiranega (Coursera, 2024).

3.1.4 Predpisovalna analitika

Pri predpisovalni analitiki imamo napredne rešitve, ki lahko priporočajo, kakšne naj bodo odločitve ali pa že dejansko rešitve, ki samostojno določajo odločitve in uporabljene aktivnosti v poslovnem procesu. Umetna inteligenca je pri tej analitiki lahko koristna, ker ti algoritmi omogočajo oceniti verjetnost težav na podlagi zgodovinskih podatkov in izdelajo kar precej izvedljiv načrt (Cote, 2021).

3.2 Umetna inteligenca v poslovni analitiki

Umetna inteligenca ima lahko veliko oblik, saj ni dogovorjene enotne definicije, kaj zajema. V širšem smislu jo lahko obravnavamo kot teorijo in razvoj računalniških sistemov, ki lahko opravljajo naloge, ki običajno zahtevajo človeško inteligenco, kot so vizualno zaznavanje, prepoznavanje govora, odločanje in prevajanje med jeziki (LordsLibrary, 2023). Umetna

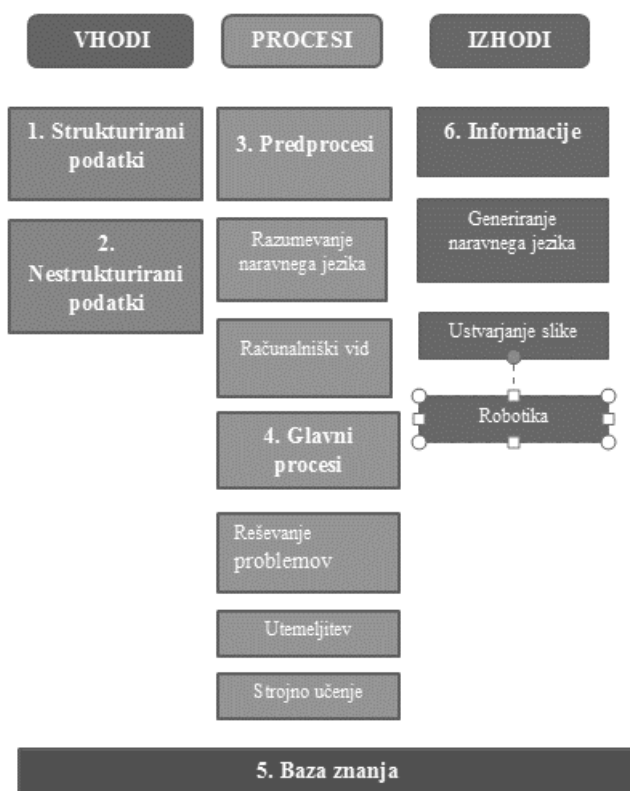
inteligenca je opredeljena kot sposobnost zaznavanja in obdelave podatkov, pretvorbe podatkov v informacije in znanje ter uporabe tega znanja za ciljno usmerjeno vedenje. Učinkovito prilagajanje inteligence temelji na selektivni kombinaciji številnih procesov, vključno z zaznavanjem okolja, reševanjem problemov, razmišljanjem, učenjem, spominom in delovanjem za doseganje ciljev (Paschen in drugi, 2019).

Umetno inteligenco je mogoče doseči s prepoznavanjem vedenja ljudi in uporabo rezultatov za razvoj inteligentnih sistemov. Ti se na primer učijo, sprejemajo odločitve in delujejo v določenih situacijah. Lahko gre za opazovanje ljudi med reševanjem problemov pri preprostih nalogah in uporabo njegovih rezultatov za razvoj inteligentnih sistemov (Paschen in drugi, 2019).

Marko Zadavec, vodja Resultovega programa Production Intelligence, opozarja, da vpeljava umetne inteligence pride na koncu procesa. »Uporaba umetne inteligence je eden izmed razlogov, zakaj sploh povezovati podatke. Šele ko imamo celotno sliko, lahko ustvarimo algoritme, ki bodo napovedovali hitreje in natančneje kot ljudje« (Miković, 2020).

Raziskovalci (Paschen in drugi, 2019) so mnenja, da je umetna inteligenca kot teorija in praksa razvoja sistemov, ki delujejo za doseganje najboljšega pričakovanega rezultata. Sistem umetne inteligence lahko razdelimo na šest gradnikov, kot je prikazano na sliki 3. V nadaljevanju pa razlagamo gradnike sistemov umetne inteligence.

Slika 3: Gradniki ciljev umetne inteligence



Vir: prirejeno po Paschen in drugi (2019).

3.2.1 Vhodi

Vsak informacijski sistem mora imeti sredstvo za povabilo podatkov iz svojega okolja, da napajajo svojo transformacijo vhod–proces–izhod. Za umetno inteligenco so ti vhodi v dveh oblikah (Paschen in drugi, 2019):

- strukturirani podatki
- nestrukturirani podatki.

3.2.2 Procesi

Sistemi umetne inteligence morajo najprej oblikovati in standardizirati nestrukturirane podatke. Dejavnosti predhodne obdelave pretvorijo nestrukturirane podatke v strukturirane podatke, ki jih je nato mogoče manipulirati v glavnih procesih umetne inteligence. Znotraj procesov moramo omeniti gradnika, in sicer predprocesi in glavni procesi (Paschen in drugi, 2019).

3.2.3 Shranjevanje podatkov

Pri intelligentnem vedenju je dejstvo, da izkušnje vplivajo na nadaljnje vedenje, možno le prek spomina, ki shranjuje pretekle podatke, informacije ali znanje za prihodnji dostop. Sistemi umetne inteligence so močno odvisni od učinkovitega shranjevanja in pridobivanja velikih količin podatkov, tako v realnem času kot v repozitorijih podatkov za reševanje težav, sklepanje in učenje iz izkušenj. Gradnik znotraj shranjevanja podatkov je baza znanja (Paschen in drugi, 2019).

3.2.4 Izhodi

Zadnji gradnik vključuje vmesnik za naknadno obdelavo sistema umetne inteligence z njegovim okoljem. Nanaša se na to, kaj se zgodi v resničnem svetu, potem ko sistem umetne inteligence ustvari svoje rezultate. Zato govorimo tu o gradniku informacije (Paschen in drugi, 2019).

3.3 Prednosti in slabosti umetne inteligence

Prednosti umetne inteligence lahko opredelimo kot (Javatpoint, 2021b):

- umetna inteligenca je za začetnike lahko težka, vendar ponuja tudi velike priložnosti za razvoj intelligentnih strojev;
- zmanjševanje človeške napake in z uporabo intelligentnih sistemov opravljanje različnih nalog z večjo učinkovitostjo;
- intelligentni sistemi lahko upravljajo zahtevne naloge, ki so zunaj dosega človeka;

- veliko aplikacij je bilo razvitih z uporabo umetne inteligence;
- s pomočjo tehnologije umetne inteligence je mogoče razviti digitalnega pomočnika, lahko zmanjša število zaposlenih, ti pomočniki lahko opravijo svoje delo z neverjetno učinkovitostjo;
- uporaba umetne inteligence izboljša produktivnost, učinkovitost in natančnost svojih izdelkov.

Kot slabosti umetne inteligence izpostavljam (Javatpoint, 2021b):

- sistemi umetne inteligence lahko nadomestijo ljudi pri opravljanju nalog v smislu produktivnosti, ne morejo pa sprejemati odločitve. Roboti ne morejo odločiti, kaj je prav in kaj narobe;
- Z intelligentnimi sistemi ne boste ustvarjalni z vsakodnevnimi izkušnjami;
- Zamenjava ljudi z intelligentnimi sistemi lahko poveča brezposelnost.

3.4 Strojno učenje

Temeljni koncept raziskav umetne inteligence je preučevanje računalniških algoritmov, ki se na podlagi izkušenj samodejno izboljšujejo. Pri nenadzorovanem učenju gre za zmožnost iskanja vzorcev v toku vnosa. Pri nadzorovanem učenju pa je vključena klasifikacija in numerična regresija. Bolj podrobno se strojnega učenja dotikamo v prihodnjem poglavju.

Strojno učenje (angl. Machine learning, v nadaljevanju ML) v povezavi s pravilnim načrtovanjem in nadzorom proizvodnje na podlagi podatkov ponuja nove priložnosti za sprejemanje intelligentnih odločitev. Gre za vejo umetne inteligence in računalništva, ki se osredotoča na uporabo podatkov in algoritmov za posnemanje načina, na katerega se ljudje učijo s postopnim izboljševanjem njegove natančnosti (IBM, brez datuma a).

Pomembno je izpostaviti, da se globoko učenje in ML običajno uporabljata zamenljivo, vendar imata razlike. ML, globoko učenje in nevronske mreže so vsa podpodročja umetne inteligence, vendar je globoko učenje pravzaprav nekakšno podpolje strojnega učenja, nevronske mreže pa so podpolje globokega učenja (IBM, brez datuma a).

3.4.1 Delovanje strojnega učenja

Učni sistem algoritma strojnega učenja se razdeli na tri glavne dele:

- postopek odločanja,
- funkcija napake,
- proces optimizacije modela.

Pri postopku odločanja gre za to, da se na splošno algoritmi strojnega učenja uporabljajo za napovedovanje in klasifikacijo. Na podlagi nekaterih vhodnih podatkov, ki so lahko označeni ali neoznačeni, bo algoritem izdelal oceno o vzorcu v podatkih. Funkcija napak služi za vrednotenje napovedi modela. Če so primeri znani, lahko funkcija napak opravi primerjavo, da oceni natančnost modela. Pri procesu optimizacije modela pa je tako, da če se model lahko bolje prilega podatkovnim točkam v naboru za usposabljanje, se uteži prilagodijo, da se zmanjša neskladje med znanim primerom in oceno modela. Algoritem bo ponovil ta postopek vrednotenja in optimizacije in samodejno posodabljal uteži, dokler ne bo dosežen prag točnosti (IBM, brez datuma a).

3.4.2 Metode strojnega učenja

Prva kategorija ML je nadzorovano ML, ki je opredeljeno z uporabo označenih podatkovnih nizov za usposabljanje algoritmov za razvrščanje podatkov ali natančno napovedovanje rezultatov. Ko se vhodni podatki vnesejo v model, prilagodijo svoje uteži, dokler model ni ustrezno nameščen. Nadzorovano učenje pomaga organizacijam pri reševanju različnih resničnih težav v velikem obsegu, kot je npr. razvrščanje neželene pošte v ločeno mapo iz mape »prejeto« (IBM, brez datuma a).

Pod drugo kategorijo štejemo nenadzorovano ML, ki uporablja algoritme ML za analizo in združevanje neoznačenih podatkovnih nizov. Ti algoritmi odkrijejo skrite vzorce ali skupine podatkov brez človeškega posredovanja. Zaradi sposobnosti odkrivanja podobnosti in razlik v informacijah je idealna rešitev za raziskovalno analizo podatkov, strategije navzkrižne prodaje, segmentacijo strank, prepoznavanje slik in vzorcev. Drugi algoritmi, ki se uporabljajo pri nenadzorovanem učenju, vključujejo nevronske mreže, združevanje k-sredstev, verjetnostne metode združevanja v gruče in drugo (IBM, brez datuma a).

Kot tretja kategorija pa polnadzorovano učenje ponuja srečen medij med nadzorovanim in nenadzorovanim učenjem. Polnadzorovano učenje lahko reši problem pomanjkanja označenih podatkov (ali nezmožnosti, da bi si privoščili označitev dovolj podatkov), da bi usposobili algoritem nadzorovanega učenja (IBM, brez datuma a).

ML naj bi za operativno planiranje in razporejanje proizvodnje potrebovalo dostop do naslednjih podatkov (Roblek in drugi, 2022):

- informacije iz preteklosti, ki so shranjene v različnih proizvodnih informacijskih sistemih, ti pa vsebujejo informacije glede planiranja proizvodnje, vzdrževanja ter prodaje.
- Podatke o opremi, ti izhajajo iz »interneta stvari« in vsebujejo podatke o delavcih, opremi, strojih, delovnih mestih.
- Uporabniške podatke, ki izhajajo iz informacij uporabnikov izdelkov, ki se lahko pridobijo s pomočjo interneta.

- Podatke produkta, ki izhajajo iz samega produkta ali storitve, prav tako pa tudi iz zahtev kupca.
- Javne podatke, ki jih lahko pridobimo iz javnih odprtih baz.
- Umetne podatke, ki so pridobljeni preko računalnika, ki ima dostop do tehnologij strojnega učenja za planiranje proizvodnje.

3.4.3 Tehnike strojnega učenja

Umetna inteligenca, ki izhaja iz tehnologije strojnega učenja, vključuje uporabo več različnih tehnik umetnih nevronske mreže, agentne sisteme, genetske algoritme, podatkovno rudarjenje in mehko logiko (Toorajipour in drugi, 2021). Umetne nevronske mreže so biološko navdihnjena računalniška omrežja. Gre za računalniški model, ki je sestavljen iz več procesnih elementov, ki sprejemajo vhode in zagotavljajo izhode na podlagi vnaprej določenih aktivacijskih funkcij (Park in Lek, 2008).

Agentni sistemi so avtonomne entitete, ki delujejo na okolje z uporabo senzorjev in aktuatorjev za doseganje svojih ciljev. Poleg tega se lahko inteligentni agenti učijo iz okolja za doseganje teh ciljev (Terra, 2023).

Genetski algoritem je prilagodljiv hevristični iskalni algoritem. Uporablja se za reševanje problemov optimizacije pri strojnem učenju. Je eden od pomembnih algoritmov, saj pomaga pri reševanju zapletenih problemov, katerih rešitev bi trajala dolgo (Javatpoint, 2021a).

Podatkovno rudarjenje je postopek odkrivanja vzorcev in drugih dragocenih informacij iz velikih podatkovnih nizov. Glede na razvoj tehnologije skladiščenja podatkov in rast velikih podatkov se je sprejemanje tehnik podatkovnega rudarjenja v zadnjih nekaj desetletjih hitro pospešilo in podjetjem pomaga pri preoblikovanju njihovih neobdelanih podatkov v uporabno znanje (IBM, brez datuma b).

Mehka logika je tehnika za predstavljanje in manipulacijo negotovih informacij. V bolj tradicionalni propozicionalni logiki mora biti vsako dejstvo ali predlog resničen ali napačen (Scientificamerican, 1999).

4 NAPREDNO NAČRTOVANJE IN RAZPOREJANJE

Rešitev za APS je digitalna rešitev, ki proizvajalcem pomaga upravljati načrtovanje proizvodnje in razporejanje v delavnicah. Programska oprema za APS z uporabo naprednih algoritmov za uravnoteženje povpraševanja in zmogljivosti ter ustvarjanje dosegljivih proizvodnih urnikov omogoča krajše dobavne roke za izpolnjevanje zahtev strank ter lažje in hitrejše odzive na nepričakovane spremembe proizvodnje (Hvolby in Jensen, 2010). Glavna sposobnost APS sistemov sestoji iz iskanja optimalne izbire virov za operacije,

zaporedij operacij, dodeljevanje variabilnih paketov prenosa in razporejanje glede na prilagodljivost tokov, stanje virov, zmogljivosti obratov, prednostnih omejitev in delovne obremenitve (Sousa in drugi, 2014).

Nova generacija APS premaga mnoge omejitve z uporabo algoritmov za optimizacijo namesto fiksne logike, ki lahko nadomesti prednostne naloge in alternative, da se pripravi bolj izvedljiv načrt, ki uravnoteži tako vire kot materialni datum in količine. Programsko opremo za APS je mogoče uporabiti kot samostojen sistem za upravljanje načrtovanja in razporejanja, lahko pa jo je tudi integrirati s procesom upravljanja procesov in načrtovanjem poslovnih virov (angl. Enterprise resource planning, v nadaljevanju ERP), sistemom za izvajanje proizvodnje (angl. Manufacturing execution system, v nadaljevanju MES) in drugimi programskimi rešitvami (Scheduling Solutions, 2024).

Dve primarni komponenti naprednega načrtovanja in razporejanja sta strateško načrtovanje in podrobno načrtovanje, ki pomagata proizvajalcem predvideti potrebe po proizvodnih virih, predvideti učinkovito uporabo materiala, ljudi in strojev. Napredno načrtovanje in razporejanje se lahko uporablja za dolgoročno strateško načrtovanje, ki zajema meseca in leta in srednjeročno taktično načrtovanje z nekajtedenskim obzorjem načrtovanja ter podrobno zaporedje in razporejanje (Siemens, brez datuma).

Napredna matematika pri rešitvi APS proizvajalcem omogoča hitro analizo in izračun dosegljivih proizvodnih načrtov ob upoštevanju številnih omejitev in poslovnih pravil. Načrtovalci lahko ustvarijo in ovrednotijo »kaj, če« scenarije, da dosežejo najboljše rezultate (Siemens, brez datuma).

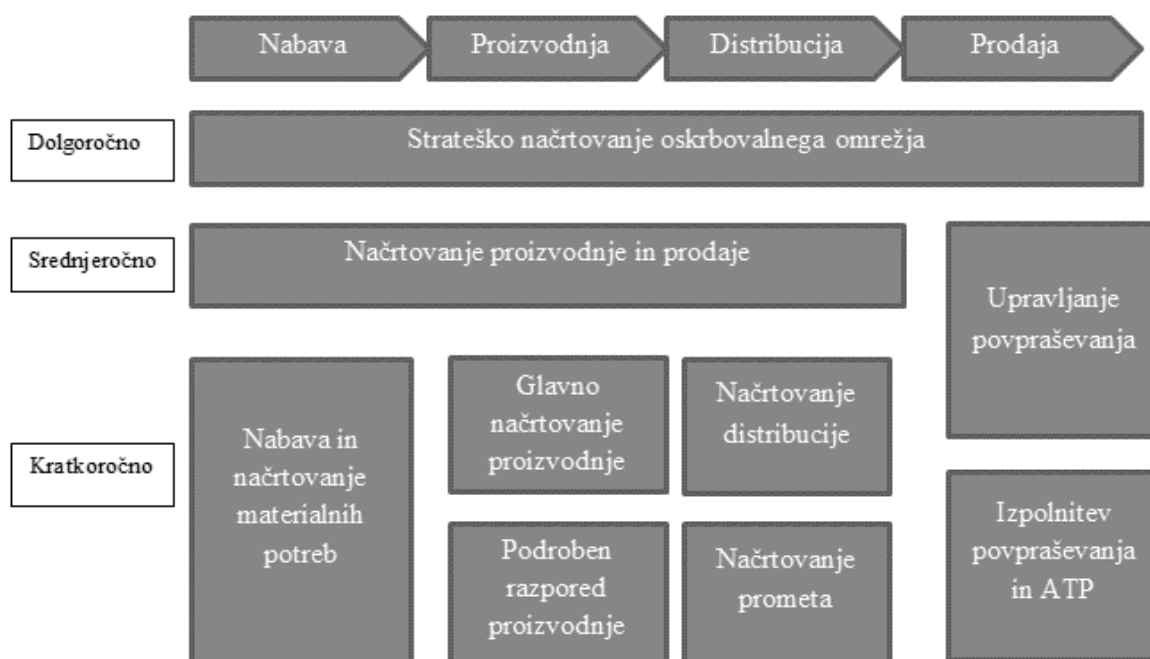
APS so neodvisno lansirala različna podjetja za programsko opremo ob različnih časovnih obdobjih. Kljub temu je mogoče prepoznati skupno strukturo, na kateri temelji večina APS. APS je običajno sestavljen iz več programskih modulov, od katerih vsak pokriva določen obseg nalog načrtovanj (Meyr in drugi, 2014).

APS sistemi predstavljajo uspešne aplikacije za upravljanje dobavne verige in so povezane s podpornimi dejavnostmi in odločanjem na strateški, taktični in operativni ravni. S sistemi APS lahko podjetja optimizirajo svoje dobavne verige, zmanjšajo stroške in ravni zalog, izboljšajo marže izdelkov in povečajo industrijske donose (de Sousa in drugi, 2014).

4.1 Struktura APS

Glavni sestavni moduli APS sistemov v treh nivojih dobavne verige so prikazani na sliki 4. Kot menijo Neumann in drugi (2002), sistemi APS ponujajo podporo na vseh ravneh načrtovanja vzdolž dobavne verige ob opazovanju virov omejitev.

Slika 4: Struktura sistema APS



Vir: prirejeno po de Sousa in drugi (2014).

Strateško načrtovanje oskrbovalnega omrežja določa strukturo omrežja dobavne verige v času načrtovanja, vključno z lokacijami tovarn in distribucijo, ter upošteva dolgoročno desetletno načrtovanje. Upravljanje povpraševanja usklajuje zahteve strank z zmogljivostjo dobavne verige. Načrtovanje proizvodnje in prodaje je namenjeno učinkoviti uporabi zmogljivosti podjetja in realizaciji predvidenih potreb v srednjeročnem planskem obzorju, hkrati pa tudi načrtovanju funkcij proizvodnje, nabave in distribucije. Glavno načrtovanje proizvodnje določa končne postavke, količino, ki jo je treba dokončati v vsakem tednu kratkoročnega obdobja načrtovanja, občasno posodabljanje načrtov po zbiranju in prepoznavanju najnovejših informacij. Podroben razpored proizvodnje se ustvari ob upoštevanju razpoložljivosti materialov in zmogljivosti. Načrtovanje distribucije predstavlja eno najpomembnejših dejavnosti v oskrbi upravljanja verige ter upošteva razpoložljivost zalog in prevozov za ustvarjanje razporeda dobav. Izpolnitev povpraševanja (angl. available to promise, v nadaljevanju ATP) želi stranki zagotoviti posebne zahteve v obljubljenem roku dostave glede na dostopnost zahtevanih izdelkov (de Sousa in drugi, 2014).

4.2 Standardno napredno načrtovanje in razporejanje v primerjavi z naprednim načrtovanjem in razporejanjem z vključeno umetno inteligenco

Področje mikroplaniranja je na trgu pokrito z informacijskimi rešitvami APS. Ključne razlike v funkcionalnosti lahko razberemo iz tabele 1.

Tabela 1: Primerjava standardnega APS z APS z AI

Standardni APS		APS z AI	
1.	Avtomatizacija optimalnega razporejanja	1.	Avtomatizacija napovedi proizvodnje
	- sistem predlaga optimalno rešitev proizvodnega načrta, ne prve možne rešitve.		- sistem upošteva negotovosti v podatkih pri napovedovanju realnih načrtov proizvodnje.
2.	Avtomatizacija rutinskih kontrol	2.	Avtomatizacija optimalnega razporejanja
	- Sistem avtomatsko preverja materialno pokritost, roke kupcev, ko razvija različne kombinacije proizvodnega plana.		- sistem predlaga optimalno rešitev proizvodnega plana, ne prve možne rešitve.
		3.	Avtomatizacija rutinskih kontrol
			- sistem avtomatsko preverja materialno pokritost, roke kupcev, ko razvija različne kombinacije proizvodnega plana.

Vir: prirejeno po Domel (2022).

4.3 Sistem MES

Koncept sistema MES se je pojavil sredi devetdesetih let 20. stoletja, da bi obravnaval nezadostnost delovanja pri opravljanju operacij v delavnici v realnem času. ERP vključuje modele za načrtovanje proizvodnje, nadzor zalog, napovedovanje povpraševanja, stroškovno računovodstvo in trženje za proizvodna podjetja. Ker ERP dnevno, tedensko ali mesečno zbira in integrira informacije, potrebne za izvajanje teh modulov iz delavnice in drugih organizacijskih funkcij, nima hitrosti in podrobnosti, ki sta ključnega pomena za takojšen odziv na vsako izvedeno transakcijo. Da bi rešili to težavo in pridobili povezavo med delavnico in ERP sistemom, je bil razvit koncept MES (Shojaeinasab in drugi, 2022).

Glavne funkcionalnosti MES so pridobivanje in abstrakcija podatkov, podrobno načrtovanje operacij, dodeljevanje in nadzor virov, razpošiljanje proizvodnje strojem in delavcem, nadzor kakovosti izdelkov ter upravljanje vzdrževanja opreme in orodij. Implementacija MES v proizvodnih podjetjih izboljša ključne kazalnike uspešnosti podjetja s skrajšanim časom in stroški, dvigne kakovost ter nudi preglednost proizvodnje in večjo učinkovitost (Shojaeinasab in drugi, 2022).

Sistemi MES v zelo dinamičnih organizacijah, kjer so potrebne prilagodljive izvedbene strategije za obnavljanje dobavne verige ob dinamičnem odzivanju na nepredvidene spremembe, še vedno ne zmorejo dodajati zmogljivosti za orodja za odločanje. Količina informacij, zbranih iz nadzorovanih sistemov, se izjemno poveča s stopnjo povečane avtomatizacije v delavnici. To pomeni, da so MES potrebni za obdelavo več informacij (Ugarte in drugi, 2009).

Zaradi zahteve po kompleksnejših procesih za izpolnjevanje potreb ter zahteve po večji funkcionalnosti izdelkov proizvodni sistemi rastejo. Cilj koncepta MES je optimizacija proizvodnih procesov in virov. MES je močno povezan s proizvodnimi procesi, je najboljšo orodje za merjenje indikatorjev uspešnosti, kot so uporaba materialov, produktivnost glede na serije in okvara stroja, v realnem času.

Omrežna tehnologija uvaja nove možnosti, kot so arhitektura odjemalec–strežnik, vzporedno, porazdeljeno ali sočasno delo. Omrežne aplikacije se trenutno razvijajo na vseh ravneh proizvodnega inženiringa in ustvarjajo nove koncepte, kot so agilna proizvodnja, virtualna podjetja in virtualne tovarne. Tehnologija več agentov, ki se uporablja za proizvodne sisteme, je bila deležna posebne pozornosti zaradi svoje porazdeljene organiziranosti, visoke modularnosti in enostavnosti izvedbe. Agenti lahko predstavljajo posamezne vire, kot so delovna celica, stroj, orodje, tudi delavce, ki sodelujejo v procesu, ter celo izdelke, stranke in ponudnike. Vsi skupaj izvajajo posamezne naloge za izpolnjevanje proizvodnih funkcij, kot so planiranje, nabava, dodeljevanje nalog, terminsko načrtovanje, kontrola, hkrati pa delujejo med seboj (Ugarte in drugi, 2009).

Večagentne arhitekture običajno uporabljajo hierarhične in heterarhične strukture. V hierarhični arhitekturi obstaja več ravni odnosov tipa glavni–podrejeni agent, medtem ko v heterarhični arhitekturi agenti komunicirajo kot enakovredni, brez vnaprej določenega razmerja med glavnim in podrejenim. Prednosti, ki se pričakujejo od heterarhičnih struktur, so njihova zmanjšana kompleksnost, izboljšana modularnost in razširljivost ter njihova intrinzična robustnost in odpornost na napake. Odločitve se sprejemajo lokalno, le kadar je to potrebno. Ker je baza podatkov jedro informacijskega sistema, prizadevanja za moduliranje niso osredotočena le na arhitekturni vidik. Ključni koraki pri načrtovanju, gradnji in izvajanju stroškovno učinkovitega, integriranega MES za potrebe obrata, so ocena trenutnega stanja integracije in razpoložljivost infrastrukture ter načrtovanje informacijskih potreb vseh operativnih plasti. Na podlagi tega je treba bazo podatkov MES oblikovati za pogoje, specifične za obrat (Ugarte in drugi, 2009).

5 KLJUČNI KAZALNIKI USPEHA

Nov življenjski cikel izdelkov, širok izbor delov za proizvodnjo in vedno bolj dinamični trgi povzročajo visoko kompleksnost proizvodnje. Kljub tem izzivom mora proizvodni sistem dobro delovati v vseh okoliščinah. Da bi to zagotovili, je treba uspešnost pravilno izmeriti. Razumevanje produktivnosti posplošenega proizvodnega sistema postavlja temelje za karakterizacijo njegovega delovanja, pa tudi njegovih vidikov, splošno trajnost, kot je učinkovitost materialov in virov (Stricker in drugi, 2017).

KPI opredeljuje merjenje pomembnega in uporabnega podatka o uspešnosti programa, izraženega kot odstotek, stopnja, indeks ali druga primerjava, ki se spremlja v rednih intervalih in se primerja z eno ali več kriteriji. Pomembno je, da kazalniki uspešnosti

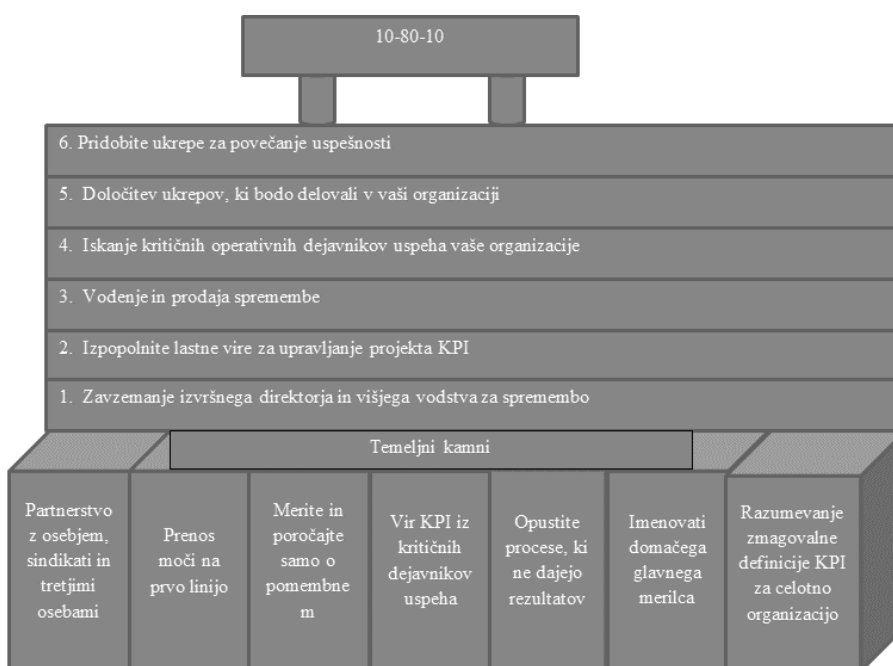
omogočajo merjenje napredka in identifikacijo morebitnih izboljšav v procesu razporejanja proizvodnje (Jovan in Zorzut, 2006).

Medtem ko neposredno merimo produktivnost sistema, če je to možno, je določanje temeljnih vzrokov in razmerij med variabilnostjo proizvodnje zapleteno in vključuje parametre, ki jih je težko ali neizvedljivo izmeriti. KPI se uporabljajo kot približek, ker so merljivi, saj so želeni za analizo. Nabor dobro izbranih ključnih kazalnikov uspešnosti je lahko tesno povezan s pomembnimi sistemskimi količinami, zato je mogoče KPI obravnavati kot analitične spremenljivke. Razumevanje odnosov, ki jih ima ključni kazalnik sistema s sistemskimi količinami, je vsekakor pomembno, vendar je tudi pomembno identificirati in opisati povezave in soodvisnosti med dvema KPI. Cilj tega dela je vzpostaviti razmerja med več temeljnimi kazalniki (Stricker in drugi, 2017).

Številne organizacije, ki so jih uporabljale s ključnimi kazalniki uspešnosti, so ugotovile, da so KPI prinesli malo ali nič razlike v uspešnosti. V mnogih primerih je bila to posledica temeljnega nerazumevanja vprašanj. Organizacije pogosto začnejo razvijati sistem KPI, tako da takoj poskušajo izbrati KPI brez priprave, ki je navedena v šeststopenjskem izvedbenem načrtu. Ko organizacija razume vključen proces in tudi ceni namen uvedbe KPI, se lahko začne gradnja oz. zasnova le-teh (Parmenter, 2019).

Iz literature lahko razberemo, da obstaja sedem temeljnih stebrov, ki jih je treba postaviti, preden lahko uspešno razvijemo in uporabimo ključne kazalnike uspešnosti na delovnem mestu. Bili naj bi tako pomembni, da bi podjetje ali druga organizacija brez njih imela omejen uspeh. Teh sedem glavnih stebrov je prikazanih na sliki 5.

Slika 5: Sedem glavnih stebrov za postavitev ključnih kazalnikov uspešnosti



Vir: prirejeno po Parmenter (2019).

5.1 Pomembnost ključnih kazalnikov uspeha

KPI povečajo natančnost napovedi teorije logističnih operativnih krivulj in podpirajo izbiro ustreznih izboljšav. Namen kazalnikov uspešnosti je zagotoviti informacije, ki so potrebne za analizo uspešnosti proizvodnih operacij (MIT, 2014).

Intralogistika spada v disciplino operativnega managementa zato so KPI povezani s proizvodnimi operacijami, primernimi tudi za proizvodno intralogistiko, kot je opredeljeno v družini standardov ISO 22400. Ta standard razvršča KPI glede na njihov namen uporabe, tj. zmožljivost, ki jo je mogoče izmeriti v smislu stroškov, časa kakovosti prilagodljivosti in trajnosti. Kazalniki uspešnosti nam ne samo kažejo, kaj se je zgodilo, ampak tudi nakazujejo, kaj se bo zgodilo, saj bodo nosilci odločanja sprejeli odzivne ukrepe za boj proti morebitnim pomanjkljivostim, predstavljenim v KPI (Golova in drugi, 2021).

KPI uporabljamo za uspešno merjenje celotnega ali samo enega dela organizacije (stroškovno mesto, projekt ...), pri čemer morajo biti povezani s strateškim ciljem podjetja. En poslovni proces se namreč ne konča v okviru ene funkcije, ampak aktivnosti prehajajo iz ene poslovne funkcije v drugo. Tako smo srečali kazalnike na različnih področjih vodstva, nabave, financ, logistike in proizvodnje, ki so med sabo povezani, oziroma izkoriščajo iste podatke. V osnovi mora biti vsak kazalnik čim bolj razumljiv in čim bližje posameznim osebam oziroma področjem. Cilji, ki se spremljajo, naj bodo jasni vsem, zato je pri določanju dobro, da sodelujejo na različnih ravneh vodenja pa tudi operativno (MIT, 2014).

Nove KPI je mogoče razviti na podlagi obstoječih, skupnih ključnih številk proizvodnje in upoštevanih sprememb in digitalizirane produkcije. To je namenjeno posnemanju vsake spremembe in vseh potencialov na najboljši možni način. Razvit teoretični koncept je mogoče uporabiti za različne aplikacije. Prvi korak je snemanje ustreznega procesa podjetja, na podlagi tega procesa pa je nato mogoče identificirati potenciale optimizacije. S primerjavo spremembe in potenciali predstavljenega koncepta lahko ustrezni KPI pripišemo identificiranemu potencialom. To temelji na razmerjih med ključnimi osebami in spremembami (Joppen in drugi, 2019). Poudarek bi moral biti na izbiri robustnega nabora kazalnikov dodane vrednosti, ki služijo kot začetek bogate razprave o uspešnosti, osredotočene na izvedbo strategije podjetja.

5.2 Tipični ključni kazalniki uspeha v proizvodnji

Najbolj znani kazalniki vključujejo na primer splošno učinkovitost opreme (angl. Overall Equipment Effectiveness, v nadaljevanju OEE), pretočni čas, stopnjo ostanka in izkoriščenost prostora. Vendar ti običajni KPI ne zajamejo dovolj sprememb v proizvodnji zaradi digitalizacije. Koncept za ključne kazalnike uspešnosti v proizvodnji prihodnosti mora upoštevati spremembe v proizvodnji okolja in s tem digitalizacijo procesov (Joppen in drugi, 2019).

Trenutni sistemi KPI so pogosto osredotočeni samo na kakovost izdelka, čas pretoka ali splošno učinkovitost. Po drugi strani pa procesov upravljanja s podatki ali informacij o stopnji preglednosti in digitalnega povezovanja v produkciji ni mogoče zabeležiti. Vendar so ti dejavniki zelo pomembni v kontekstu industrije 4.0 (Joppen in drugi, 2019).

Zaradi funkcije KPI kot inštrumenta za upravljanje imajo splošni sistemi KPI običajno finančni ali strateški fokus. Med najbolj znanimi finančnimi KPI sistemi so DuPont System of Financial Control in Sistem KPI ZVEI ali sistem KPI dobičkonosnost–likvidnost. Uravnotežena kartica kazalnikov zagotavlja okvir za strukturiranje ključnih oseb glede na vizijo podjetja in strategijo (Joppen in drugi, 2019).

5.2.1 Stroškovna učinkovitost opreme

OEE je namenjen kot kazalnik sredstev za strateške, taktične in operativne namene. OEE meri izgube časa v proizvodnji v smislu šestih izgub, ki vključujejo okvaro stroja, čakanje, manjše zastoje, zmanjšano hitrost, ostanke in predelavo. Pomembno je vključiti KPI, ki je vodilne narave, in meriti proces vzdrževanja namesto izida vzdrževanja. OEE integrira številne temeljne spremenljivke. Temeljne spremenljivke so združene v KPI v višje ravni, ki se nadalje združijo v druge KPI. Te korake združevanja je treba večkrat ponoviti, preden se zgradi OEE (Rødseth in drugi, 2015).

5.2.2 Čas pretoka

Za načrtovanje in nadzor proizvodnje je pomemben čas pretoka (angl. Flow time – MTTP). Raziskovalca Olhager in Seldin, ki merita uspešnost hitrosti v proizvodnji, podpirata tudi čas pretoka, saj menita, da sta tako proizvodni tok kot nedokončano delo področji znotraj poslovanja odličnosti. Razlog za potrditev pretočnega časa kot bistvenega KPI pri načrtovanju in nadzorovanju proizvodnje temelji na ocenjevanju perspektive pretoka izdelkov v proizvodnji (Rødseth in drugi, 2015).

5.2.3 Znižanje stroškov priprave proizvodnih planov in posledično skrajšanje dobavnih časov

V raziskavi združenja APQC (Brown, 2020) so prišli do ugotovitev, da, kjer imajo podjetja v procesu planiranja implementirano napredno analitiko in napovedne algoritme, dosežejo v povprečju za 9 % krajše dobavne čase do kupcev, v primerjavi s podjetji, kjer plan postavlja človek sam in priprava plana temelji le na lastnih izkušnjah, ter 5,5 % krajše od tistih podjetij, kjer se za pripravo planov uporablja klasično statistično analizo preteklih odločitev in posledic (Roblek in drugi, 2022).

5.2.4 Konkurenčna prednost

Združenje ASCM (James, 2021) je med 10 ključnimi trendi za izboljšanje konkurenčnosti oskrbovalnih verig za leto 2022 uvrstilo eno na področje napredne analitike. Drugo pa potem na področje avtomatizacije procesov v oskrbovalnih verigah in tretjo na področje industrije 5.0, ki vključuje sodelovanje med roboti in ljudmi v tehnologiji ML (Roblek in drugi, 2022).

5.2.5 Izkoristek proizvodnih virov in tržnih priložnosti

Podjetja vse bolj raziskujejo AI in ostale nove digitalne tehnologije, s katerimi bi lahko reševali izzive na glavnih ključnih področjih, kjer imajo probleme in ti vplivajo na kakovost planiranja proizvodnje. Če se uporabi matematične algoritme, se skuša čas priprave optimalnih proizvodnih planov skrajšati in hkrati zajeti tudi čim več razpoložljivih podatkov, s tem pa izboljšati odzivnost proizvodnje na trenutne in prihajajoče spremembe (Roblek in drugi, 2022).

5.2.6 Izkoristek proizvodnih kapacitet in povečanje dobavne zanesljivosti

Raziskovalci so prišli do spoznanja, da z uporabo ML pri operativnem planiranju hkrati odkrivamo in napovedujemo napake na izdelkih, ki so lahko posledica proizvodjanja. Istočasno se lahko napoveduje tudi prekinitve ali zastoje pri proizvodnih kapacitetah. Določiti naj bi se dalo tudi kar najbolj optimalne nastavitve proizvodnih linij za proizvodnjo kvalitetnih izdelkov in s tem zmanjšati izgube proizvodnih kapacitet. S tem, ko lahko vnaprej predvidimo okvare, lahko v podjetju preventivno izvedemo vzdrževalne posege takrat, ko je najmanj škodljivo za uspešno realizacijo proizvodnega plana (Roblek in drugi, 2022).

5.2.7 Hitrejša odzivnost in prilagodljivost proizvodnje na spremembe

Kjer je proizvodnja avtomatizirana in robotizirana, ima ML v tej fazi operativnega planiranja, ko se lansira proizvodne naloge za izvedbo, tudi dovoljenje, da lahko spremeni vrstni red izvajanja razporeda. Z uvedbo ML v operativno planiranje posega tudi v delo planerja ter delo mojstra v proizvodnem oddelku. Zavedati se je treba izziva, kako doseči, da človek ne bi namerno ustavljal tega procesa (Roblek in drugi, 2022).

6 RAZPOREJANJE PROIZVODNJE V IZBRANEM PODJETJU

Na trgu se nepričakovano dogajajo spremembe, ki se zgodijo hitro in jih podjetje mogoče na kratek rok niti ne pričakuje. Želje kupca so vedno bolj pomembne. Kupci si želijo čim krajše dobavne roke, ter čim krajšo odzivnost, na drugi strani pa so dobavitelji, pri katerih se dobavni roki materiala podaljšujejo, vnaprej je potrebno napovedati, si zagotoviti dovolj surovin ter obenem skrbeti, da se zaloga materiala oz. surovin v podjetju ne povečuje

nekontrolirano. Pomembno je, da proizvodno podjetje ustrezno planira in uspešno organizira proizvodnjo, veliko pozornosti pa podjetja nenehno namenjajo tudi možnosti spremljanja ključnih kazalnikov uspešnosti. Obravnavano podjetje je zaznalo pomembnost teh dejavnikov in dejstvo, da so vsi ti nenehno spreminjajoči se pogoji in nepredvideni dogodki razlog, zakaj je treba načrtovanje proizvodnje posodobiti.

6.1 Metode raziskovanja

Za magistrsko delo sem uporabila metodo zbiranja internega gradiva podjetja, v katerem sem zaposlena, prav tako sem v sklopu magistrske naloge izvedla tri intervjuje. Za magistrsko delo sem raziskala in opisala proces planiranja pred uporabo nove informacijske rešitve in proces planiranja po uporabi nove informacijske rešitve, vpliv digitalizacije, umetne inteligence in strojnega učenja na podjetje ter s tem opredelila ključne kazalnike uspeha, pridobljene na podlagi literature. Med pripravo magistrskega dela pa sem se glede na vpeljavo in uporabo nove informacijske rešitve ves čas ukvarjala z vprašanji, kako vse to vpliva na sam proces planiranja, na samo podjetje, kakšne so prednosti, pomanjkljivosti informacijske rešitve, kakšni so izzivi in tveganja ter na koncu podala ugotovitve in predloge za izboljšanje.

Za eno od raziskovalnih metod sem izbrala intervju, in sicer sem opravila tri intervjuje: z direktorjem oskrbovalnih verig, s SAP PP svetovalcem v oddelku IT in sodelavcem, ki je med mojo odsotnostjo prevzel funkcijo ključnega uporabnika nove informacijske rešitve. Prva dva intervjuja sta potekala v začetku julija 2022. Z njima sem hotela pridobiti strokovno mnenje intervjuvancev, pogled na novo informacijsko rešitev ter koristne in pomembne informacije za pripravo zaključka magistrskega dela. Tretji intervju s sodelavcem pa je potekal v aprilu 2023. Želela sem pridobiti podatke o dodatnih izvedenih aktivnostih pri vpeljavi in uporabi nove informacijske rešitve ter njene glavne funkcionalnosti, saj se je njena uporaba sproti še dodatno posodabljala in nadgrajevala.

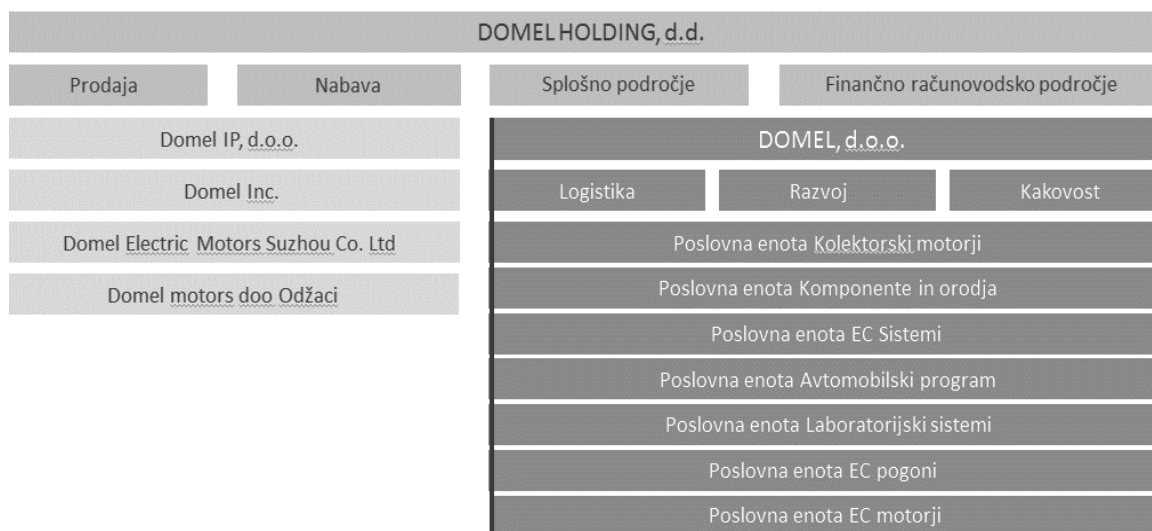
Novo informacijsko rešitev sem avtorica magistrskega dela testirala in uporabljala že od samega začetka, še celo iz faze vpeljevanja v podjetje, zato je bilo potrebno testirati in preverjati tudi pravilnost njenega delovanja. Predvsem v začetni fazi je bilo potrebno spremljati, ali je informacijska rešitev zajela pravilne podatke oz. so algoritmi pravilno delovali. Samo testiranje in razvoj informacijske tehnologije je bil dokaj agilen, saj smo se kot projektna skupina dobivali najmanj dvakrat tedensko, kjer smo šli skozi morebitna vprašanja. Med vpeljavo smo naleteli tudi na nekaj težav in napak, ki so jih nato razvijalci uporabljene informacijske tehnologije tudi odpravili. Med uporabo smo v podjetju sproti ugotavljali, kaj bi bilo pri informacijski rešitvi potrebno še nadgraditi oz. kaj bi še potrebovali za čim bolj nemoteno delo planerja ter kaj bi orodje še potrebovalo za čim bolj prijazno uporabo. Razvijalcem smo predali naše želje oz. zahteve, ki so jih upoštevali. Potrebno se je zavedati, da se ta informacijska rešitev še vedno razvija in izpopolnjuje, tako da čisto končnega stanja v magistrski nalogi ne moremo prikazati, smo se pa osredotočili na

izbrano prvo proizvodno delavnico, kjer smo se lotili uporabe nove informacijske rešitve in novega načina planiranja.

6.2 Podjetje Domel Holding, d. d.

Podjetje Domel Holding, d. d. (v nadaljevanju Domel), je svetovni razvojni dobavitelj elektromotorjev, sesalnih enot, puhal in komponent, ki deluje na mednarodnih trgih. Podjetje ima sedež v Sloveniji, natančneje v kraju Železniki. Proizvodne obrate ima podjetje v Železnikih, kjer sta dva proizvodna obrata, ter dva obrata v bližnji okolici Škofje Loke. Proizvodni obrat pa ima podjetje tudi na Kitajskem in v Srbiji. Organigram podjetja Domel je prikazan na sliki 6.

Slika 6: Organigram podjetja



Vir: Domel (2022).

Matično podjetje ima dejavnost določeno pod električni stroji in naprave. Podjetje ponuja več izdelkov:

- univerzalni komutatorski motorji,
- enosmerni motorji s trajnimi magneti,
- elektronsko komutirani motorji in puhal,
- komponente,
- laboratorijska oprema.

Domelovi motorji poganjajo več kot 300 milijonov naprav po vsem svetu. Kakovost končnih izdelkov se odraža v dolgi življenjski dobi, nizki stopnji hrupa in visokem izkoristku, ki zmanjšuje porabo električne energije (Domel, 2022).

Največji delež prihodkov od prodaje podjetje Domel ustvari na evropskih trgih. Na domačem trgu so v letu 2020 prodali za 11 mio EUR izdelkov, kar predstavlja 8 % prihodkov od prodaje. 73,5 % prihodkov od prodaje oziroma za 103 mio EUR izdelkov je bilo prodanih v preostale države EU, 18,5 % pa na tuje trge zunaj držav EU. Nemčija z 20 % deležem v prihodkih od prodaje ostaja najpomembnejši trg. Največji trg zunaj EU predstavlja Kitajska, kamor je bilo prodanih za 8 mio EUR izdelkov, skupno za 10 mio izdelkov pa je bilo prodanih na trge Severne Amerike (ZDA in Kanada).

Iz letnega poročila lahko razberemo, da se je v letu 2020 v podjetju realiziralo 147,8 mio EUR prihodkov, kar je 11,1 % več kot v preteklem letu. Podjetje Domel je v Sloveniji konec leta 2020 zaposlovalo 1.330 ljudi, leto prej pa 1.292. V podjetju se zavedajo, da so zaposleni ključni dejavnik za uspeh podjetja, zato skrbijo za varne, zdrave pogoje dela, spodbujajo in nagrajujejo inovativnost (Domel, 2021).

6.3 Značilnosti proizvodnega procesa izbrane proizvodne delavnice

Osredotočila sem se na prikaz procesa planiranja izbrane proizvodne delavnice, imenovane brizganje termoplastov (v nadaljevanju BST), ki je bila predvidena tudi kot prva delavnica za uvajanje in implementacijo nove informacijske rešitve. Tu se izdelujejo polizdelki, ki vstopajo v izdelke na lokacijah Otoki (Železniki), Reteče, na Plavžu (Železniki) ter Srbiji, prav tako pa se izdeluje tudi končne izdelke za kupce, predvsem za avtomobilsko industrijo. Za ERP sistem se uporablja SAP, kot MES sistem pa Kiner. Na tej lokaciji se je do tedaj planiralo preko transakcije ALV v SAP-u, in sicer za pregled 4-tedenskega plana.

Za planiranje v proizvodni delavnici BST se je plansko tablo lahko uporabljalo samo na dveh delovnih mestih, ker se na teh dveh strojih izdelujejo vedno isti izdelki. Možnosti menjave na druga delovna mesta zato ni. Za ostalih 13 strojev pa se planske table za planiranje ni uporabljalo, zato je bilo natančno terminiranje oteženo oz. časovno zamudnejše.

V obstoječem sistemu SAP je bil modul za detaljno razporejanje kapacitet in operacij že zastrel in nepraktičen za uporabo, zato tudi ni bilo želene učinkovitosti. V oddelku plan prav tako v ERP sistemu ne dobimo nekega razvidnega podatka o tem, koliko časa in kdaj je v proizvodnji predvideno vzdrževanje strojev, orodij ali kalibriranje raznih merilnih naprav, zato med planerjem in menedžmentom proizvodnje poteka veliko koordinacije.

Pri kratkoročnem in srednjeročnem planiranju je upoštevanje sprememb v napovedih (količine, roki) težavno in zamudno. V Domelu se že v veliki večini dela s terminskimi sporazumi, pri katerih lahko stranka preko SAP-a spremeni podatke. Spremembe so vidne v MRP-ju. Težko pa je njihov vpliv upoštevati, oceniti sprejemljivost sprememb in uskladiti z obstoječim kratkoročnim planom. Prihaja do šibke systemske povezave med planom in razporejanjem, obstaja velika odvisnost od neintegriranih Excel preglednic, namenjenih podpori tedenskemu razporejanju.

Razporeditev plana poteka tako da imamo ročno optimiziran raspored v SAP-u in prenos v MES, za tem pa se izvede še ročni raspored v MES sistemu Kiner. Z novo informacijsko rešitvijo pa smo pridobili realistično predvidevanje trajanja proizvodnje (strojno učenje) in optimalni raspored, ki se pridobi z genetskimi algoritmi in kombinatoriko.

Značilnosti proizvodnega procesa, ki vplivajo na planiranje proizvodnje (Domel, 2022):

- nestabilen proizvodni proces; okvare orodij, strojev
- nestabilen prodajni proces; povprečna absolutna napaka (angl. Mean Absolute Percentage Error– MAPE > 100 %), dobavni čas (angl. Lead time, v nadaljevanju LT) kupca << LT materiala
- vhodni materiali so logistično zahtevni
- nestabilen nabavni proces
- nezanesljivi vhodi razvojnih testiranj
- alternativni stroji imajo različno izmensko/dnevno zmogljivost
- matični tehnološki podatki (proizvodni postopki in normativi)
- sekundarne omejitve
- pogosto spreminjanje že določenih terminov in razporedov na delovnih nalogih.

6.4 Proces planiranja proizvodnje pred vpeljavo nove informacijske rešitve

Za predstavitev procesa planiranja proizvodnje brez uporabe nove informacijske rešitve opisujem, kako je potekala postavitve tedenskega oz. 14-dnevnega plana proizvodnje. Ko se je planer odločil za postavitev tedenskega ali 14-dnevnega plana proizvodnje v ERP sistemu SAP, je uporabil transakcijo za pregled 4-tedenskega plana, ki je vidna na sliki 7.

Slika 7: Transakcija za pregled 4-tedenskega plana proizvodnje

Program /DOMEL/PLAN4T_ALV1																			
 Pregled 4-tedenskega plana; 29.07.2022																			
Material	Kratki tekst materiala	Zapozn	P 25.07.	T 26.07.	S 27.07.	C 28.07.	P 29.07.	S 30.07.	I P 01.08.	T 02.08.	S 03.08.	C 04.08.	P 05.08.	S 06.08.	3Teden	4Teden	Σ	Suma	Obrat
461518	PAKET ROTORSKI Z MAGNETI 720.2.220-402		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.400	5.000		16.400	3800
		1.050	0	15.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	323		16.373	
461518																			
461520	PAKET ROTORSKI Z MAGNETI 720.2.220-502		3.016	9.677	9.677	9.677	9.677	9.677	9.677	9.677	9.677	9.677	9.677	9.677	9.677	9.677		0	3800
			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	
		6.661	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		6.661	
461520																			
461522	PAKET ROTORSKI ZALIT 720.2.221-2		0	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	11.400	5.000		0	3800
		212	188	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.000	2.000	0	7.000	5.000		16.400
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.400	5.000		16.400	
461522																			
406381	PAKET STATORSKI ZALIT 721.2.710		10.080	10.080	10.080	10.080	10.080	10.080	10.080	10.080	10.080	10.080	10.080	10.080	10.080	2.016	4.032		0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.096	12.096		24.192
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.144	10.080		28.224	
406381																			
368857	PAKET ZALIT 725.2.322		1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	230	0		0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.170		1.170	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	
368857																			
288429	PAKET ZALIT 725.2.411		0	0	0	0	0	0	0	168	168	93	93	93	745	745		0	3800
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	261	0	0	652	0		913	
		0	0	0	0	0	0	0	168	0	0	0	0	0	0	0		168	

Vir: Domel (2022).

Zbrani so bili vsi materiali, za katere so se pokazale potrebe za obdobje štirih tednov. Hkrati so bile razvidne potrebe v količinah, dobili pa smo tudi podatke o tem, ali je trenutno kaj kosov že na zalogi, ter ali smo kje v zamudi. Iz tega pregleda pa je bilo težko razbrati, kateri izdelek se lahko izdeluje na določenem stroju, saj ni bilo podatka o času izvajanja posamezne količine kosov. Zato je bilo potrebno za vsak izdelek dodatno iti najprej v drugo transakcijo, tj. MD04, iz katere je potem planer lahko planski nalog terminiral ali pa tudi že odprl in lansiral na izbrani stroj glede na izbrano proizvodno verzijo.

Kot vidimo na sliki 8, se je nalog, ko je bil lansiran prenesel tudi v MES sistem Kiner, kjer pa se je nalog na določenem stroju vedno pojavil na zadnjem mestu. Če je planer dejansko želel, da se določen delovni nalog izdela prej in ne kot zadnji v vrsti, ga je moral potem še ročno v MES sistemu prilagoditi in pripraviti pravilen razpored plana proizvodnje.

Slika 8: Pregled razporeda v MES sistemu

Stroj BST-05 - STR. ZA BRIZ. TERMOPLASTOV KM1125/520C2+ [ČAKA]													✕	
Trenutno stanje			Operacije na stroju		Zgodovina dela		Stroj zaseden še: 53,46						NTU: 96,92	
#	▲	DN - OP	Izdelek	Naziv izdelka	Kol.	Real. kol.	Tren. kol.	Prev. na skl.	Še ur	Del.	Plan. zač.	Plan. kon.		
1	A	1136639 - 200/1	351660	PAKET ZALIT 725.2.622	2.800	239	0	0	20,33	2	08.08.2022	09.08.2022		
2	P	1136653 - 200/1	270833	PAKET ZALIT 725.2.611	1.400	0	0	0	7,49	2	11.08.2022	11.08.2022		
3	U	1136277 - 200/1	421577	PAKET ZALIT 725.2.650	4.200	2.601	0	2.520	12,69	2	02.08.2022	03.08.2022		
4	V	1136620 - 200/1	421577	PAKET ZALIT 725.2.650	7.000	0	0	0	55,56	2	03.08.2022	05.08.2022		
5	U	1135889 - 200/1	351660	PAKET ZALIT 725.2.622	4.200	4.200	0	4.200	0,00	2	01.08.2022	02.08.2022		
6	U	1136276 - 200/1	270833	PAKET ZALIT 725.2.611	1.400	1.400	0	1.400	0,00	2	09.08.2022	09.08.2022		
7	U	1136278 - 200/1	288429	PAKET ZALIT 725.2.411	2.800	2.638	0	2.632	0,87	2	01.08.2022	01.08.2022		

Vir: Domel (2022).

Če je planer prejel informacije o zahtevani spremembi, da bo prišlo do zamude pri dobavi določenega vhodnega materiala, ki bi po podatkih v SAP-u moral biti dobavljen, je moral istočasno preverjati proizvodna naročila v dveh sistemih. Trajanje proizvodnega naloga je bilo izračunano iz podatkov v SAP-u, lahko pa se je zgodilo, da v resnici ni bilo težav in je bila težava le v napačnem normativu, ter se je še sešlo s kasnejšo dobavo materiala. Planer je hkrati preverjal tudi zaporedje naslednjih proizvodnih nalogov na tem stroju v MES, in skušal preveriti, ali je vsaj naslednji nalog pokrit z materialom, da bi lahko na stroju pričeli z izdelavo naslednjega proizvodnega naloga. Za točen pregled je ponovno gledal v ERP sistem SAP.

Če je planer ugotovil, da je ta rešitev izvedljiva, je preostale proizvodne naloge na stroju prerazporedil optimalno glede na svoje znanje, npr. da je skrajšal čas nastavitve ter ponovno preveril materialno pokritost v SAP-u in nato ponovno uredil pravo zaporedje proizvodnih nalogov v MES sistemu.

V MES sistemu na sliki 9 lahko vidimo, koliko časa je predvidenega za izdelavo določenih proizvodnih nalogov, ki so razporejeni po vrstnem redu, vendar pa planer ni mogel dobiti hitrega podatka o tem, koliko kosov bo v določeni izmeni izdelanih. To je bilo predvsem pomembno, kadar so nastale zamude pri izdelavi kosov in se je z izdelavo že zamujalo.

Slika 9: Razpored proizvodnih nalogov v MES sistemu

Stroj BST-06 - STR. ZA BRIZG. TERMOPL. KM130/380CK [DELUJE]													
Trenutno stanje			Operacije na stroju			Zgodovina dela			Stroj zaseden še: 54,36				
#	▲	Tip	DN - OP	Izdelek	Naziv izdelka	Kol.	Real. kol.	Tren. kol.	Prev. na skl.	Še ur	Del.	Plan. zač.	Plan. kon.
1	A	D22	1276224 - 200/1	461525	PAKET ROTORSKI ZALIT 720.2.223-2	5.408	0	0	0	21,44	2	19.04.2024	20.04.2024
2	B	D22	1276554 - 200/1	461525	PAKET ROTORSKI ZALIT 720.2.223-2	5.408	0	0	0	21,44	2	20.04.2024	22.04.2024
3	C	D22	1278062 - 200/1	433086	PAKET STATORSKI IZOLIRAN JOMA 727.2.234	1.063	0	0	0	5,19	2	26.04.2024	26.04.2024
4	D	D13	1273890 - 200/1	461988	OBROČ STATORSKI ZALIT 720.2.416	400	0	0	0	3,66	2	25.03.2024	25.04.2024
5	E	D22	1275049 - 200/1	461522	PAKET ROTORSKI ZALIT 720.2.221-2	5.408	5.408	0	5.408	0,00	2	11.04.2024	12.04.2024
6	F	D22	1278750 - 200/1	467373	ROTOR 830.2.050	4.620	0	0	0	25,55	2	25.04.2024	26.04.2024

Vir: Domel (2022).

Planer je imel možnost sam preračunati število izdelanih kosov v posamezni izmeni. Lahko je šel v ERP sistem in preveril normativ v tehnološkem postopku ali pa v MES sistemu kliknil na proizvodni nalog in pod delo preveril, po koliko kosov so izdelali npr. v prejšnjih izmenah, da je lahko dobil neko povprečno količino kosov, ki bi bila izdelana. To prikazuje slika 10. Je pa bilo pri tem še vedno nekaj pomanjkljivosti, saj ni nujno, da je bila realizacija res taka. Tu bi izpostavili težave oz. slabosti, ki so se pojavljale pri obstoječem načinu planiranja: nerealno trajanje PO (nepravilni normativi), ročno preverjanje v dveh različnih informacijskih sistemih ter postavitev »optimalnega« zaporedja plana na podlagi subjektivnosti oz. izkušenj planerja.

Slika 10: Prikaz potrjenega dela po izmenah na proizvodnem nalogu

[1136620 - 200/1 - Nabrizgavanje plastične izolacije] [421577 - PAKET ZALIT 725.2.650]													
AKTIVNA			Razporedi			Natisni			Spremeni			Sporočilo	
UM	BR	RB	US	AK	ZA	PO	Predhodne operacije			Premik materiala			Prioriteta
Status			Operacija			Plan			Kakovost			Nadz. proc.	
												SPC	
Operacija	Dodatno	Kosovnica	Pripomočki	Stroj	Dokumentacija	Spremembe	Delo		Sporočila		Kakovost		Vse OP
Prijava	▲	Odjava	OŠ	Delavec	Stroj	Vrsta prijave	Kol.	Izm.	Dod.	NU	EU	ID	Mot.
10.08.2022 06:00		06:36	5298	Mohorič Nina	BST-05	Priprava stroja	0	0	0	2,50	0,60	416,67 %	0
10.08.2022 06:36		14:00	5298	Mohorič Nina	BST-05	Delo na OP	910	12	0	7,22	6,90	104,67 %	0
10.08.2022 14:00		22:00	8619	Debeljak S...	BST-05	Delo na OP	926	0	0	7,35	7,50	97,99 %	0
10.08.2022 22:00		06:00	13085	Segdar Du...	BST-05	Delo na OP	949	3	0	7,53	7,50	100,42 %	0
11.08.2022 06:08		09:44	5587	Aljaž Monika	BST-05	Delo na OP	435	0	0	3,45	3,10	111,37 %	0
11.08.2022 09:52		14:00	4607	Kalan Darja	BST-05	Delo na OP	390	20	0	3,10	4,13	74,89 %	0
11.08.2022 14:00		22:00	8619	Debeljak S...	BST-05	Delo na OP	730	23	0	5,79	7,50	77,25 %	0
11.08.2022 22:00		06:50	8616	Bizjak Pete...	BST-05	Delo na OP	672	0	0	5,33	8,33	64,00 %	0
12.08.2022 06:53			5342	Ikovič Ves...	BST-05	Delo na OP	0			0,00	0,00	0,00 %	0
Potrjevanje in pregled dela							5.012	58		42,28	45,57	87,30 %	
Zapri													

Vir: Domel (2022).

6.5 Pomanjkljivosti sedanjega procesa planiranja proizvodnje

Za podjetje je funkcija planiranja oskrbovalnih verig zelo pomembna. Osnovne naloge so priprava proizvodnih planov, krmiljenje in spremljanje izdelave izdelkov, potrjevanje izvedljivosti prodajnih naročil in planiranje dobav materialov in kreiranje nabavnih

zahtevkov. Plani so dinamični, zaradi lažje opredelitve in primerjalnih analiz pa te proizvodne plane delimo glede na planski horizont: 4- oz. 6-mesečne plane ter 4-tedenske plane (Domel, 2022).

Za grobo planiranje (srednjeročno, dolgoročno planiranje) se lahko uporablja SAP transakcijo, ampak je pri kratkoročnem planiranju upoštevanje sprememb v napovedih (količine, roki) težavno in zamudno. Predvsem pri nepričakovanih spremembah je vrednotenje vpliva na kratkoročni in srednjeročni plan ter morebitno prilagajanje časovno zelo zamudno. Tu se pojavlja pomanjkljivost, za katero bi podjetje želelo imeti orodje za fino planiranje (tedenski, 14-dnevni proizvodni plan). Ta pomanjkljivost je bila ugotovljena že med opravljanjem dela na delovnem mestu in po pogovoru z nadrejenimi.

Izdelki in polizdelki se lahko izdelujejo na več različnih strojih, zato je toliko bolj pomembno, da glede na zasedenost kapacitet čim bolj enakomerno obremenimo vse stroje. Pojavljajo se težave še z vmesnimi zastoji – okvare orodij, okvare strojev, manko materiala, nedoseganje normativov ipd., kar pa je tudi potrebno upoštevati pri kratkoročnem planiranju in zasedenosti kapacitet.

Podjetje je tako želelo pridobiti informacijsko rešitev, s katero bi lahko izboljšali trenutni proces planiranja, predvsem pa da bi se lahko hitro odzvali na boljše zaporedje izvajanja delovnih operacij in posledično pridobili večjo izkoriščenost delovnih kapacitet, saj v podjetju ugotavljamo, da imamo mnogo raznovrstnih sprememb, ter da se nam plan spreminja precej dinamično. Najprej se je rešitev uvedla na proizvodno lokacijo Trata, in sicer natančneje na oddelek BST, kjer poteka zabrizgavanje lameliranih jeder, magnetov, vložkov.

Če pogledamo, kaj so bili glavni operativni razlogi za vpeljavo nove informacijske rešitve z vidika operativnega planiranja, lahko izhajamo iz dveh scenarijev. Scenarij 1: vložiti trud v izboljšanje nezanesljivosti, pri čemer gre predvsem za standardizacijo procesov, da bi prišli do boljše kvalitete podatkov, bolj uporabnega optimuma in s tem boljših rezultatov, ter scenarij 2: sprejeti nezanesljivost, pri čemer želimo predvideti in se pripraviti na učinke, da posledično izberemo optimalni scenarij, s čimer bi dosegli boljši rezultat in se tako naučiti in izboljšati model.

Če se osredotočimo na oddelek za planiranje v izbranem podjetju, lahko rečemo, da na sam proces planiranja vplivajo tudi različni oddelki, in sicer razvoj, tehnologija, nabava, proizvodnja in prodaja. Glede razvoja in tehnologije moramo izpostaviti težavo glede razvojne tehnološke nezanesljivosti, ki vpliva na samo planiranje. Pomembno je, ali imamo realne tehnološke postopke v t.i. ramp-upu, kakšna je točnost pri preizkusih in vzorčenjih, kakšna je skrb projektnih vodij za svoje delovne naloge.

V oddelku za nabavo težavo predstavlja dobavna nezanesljivost. Težko pridemo do točnosti dobave na želeni datum, realnih dobavnih rokov, različne politike oskrbe – dobavitelji blizu bi bili »brez zalog« in dobava ob pravem času (angl. Just in Time – JIT) ali upravljanje

zalog, pri kateri je dobavitelj blaga običajno proizvajalec, odgovoren za optimizacijo zalog, ki jih ima distributer (angl. Vendor managed inventory – VMI). Glede proizvodnje bi izpostavili proizvodno nezanesljivost. Izzive predstavlja sprotno zaključevanje delovnih nalogov v proizvodnji (tehnično) in nespreminjanje vrstnega reda delovnih nalogov v MES sistemu. Preprečiti je potrebno manko količin pri medobratnem poslovanju, ukiniti retrogradno porabo, kjer je velika variabilnost izmeta. Pri prodaji pa se srečamo s prodajno nezanesljivostjo. Izzivi so obvladovanje kupčeve variabilnosti, zavezanost k dogovorjenim pogojem, nadzor terminskih sporazumov od kupcev, pred vstopom v sam plan.

Potrebno je izpostaviti tudi samo načrtovanje, saj obstaja tudi planska nezanesljivost, kjer se pojavljajo izzivi glede pravil združevanja potreb, pravil določanja varnostnih zalog, razlike med podatkovno in dejansko zmogljivostjo kapacitet. Prav tako je ob spremembah potrebno preveriti, kaj je optimalno za proizvodnjo in ali je predviden planski načrt proizvodnje pokrit z materialom.

6.6 Nova informacijska rešitev

Podjetje se je tako odločilo za uporabo informacijske rešitve, rešitve naprednega načrtovanja in razporejanja z vključenim strojnim učenjem, ki je sposobna obojega – predikcije oz. razporejanja in metode optimiranja v realnem času. Pri tej informacijski rešitvi gre za stalno prilagajanje algoritma, stalno učenje, brez poseganja v prilagoditve. Da se je v podjetju vrhovni management odločil za izbrano informacijsko rešitev, sta bili odločilni predvsem funkciji avtomatizacija predvidevanja proizvodnje in avtomatizacija optimalnega razporeda.

V podjetju so se odločili, da je ERP še vedno prepoznan kot vodilni sistem in je APS napredna tehnološka nadgradnja. Tako je ERP sistem še vedno glavni, na drugem mestu pa je potem APS in z zadnjim korakom se podatki iz APS prenesejo v ERP in MES.

Arhitektura informacijske rešitve je sestavljena iz učenja, digitalnega dvojčka, vpogledov, napovedi, vpogledov in opozoril. Zajema proizvodni proces v realnem času, predvideva prihodnost tudi glede na zbrane zgodovinske in fiksne podatke, vključuje podatkovni tok v realnem času in proži akcije.

Nova informacijska rešitev tako zajema umetno inteligenco, digitalnega dvojčka, s katerim napovedujejo pomanjkanje materiala, zakasnelo dokončanje proizvedenih naročil, kompetenc. Omogoča tudi obveščanje odgovornih zaposlenih, da se odpravi vzrok prihajajočih dogodkov, še preden se bi zgodili (Qlector, 2020).

6.7 Proces planiranja proizvodnje z vpeljavo nove informacijske rešitve

Osredotočiti se moramo še na nov način planiranja z razporejanjem v novi informacijski rešitvi, ko planer skuša postaviti tedenski oz. 14-dnevni proizvodni plan. Informacijska rešitev bere podatke, ki so zapisani v ERP in MES sistemu. To branje oz. osveževanje se

izvaja na pet minut, vendar vseh podatkov ne prebere ob vsakem osveževanju predvsem zato, da sistem ni preobremenjen.

Koliko časa se bo nek proizvodni nalog izvajal, nova informacijska rešitev najprej računa po tehnološkem času. Če se je posamezen izdelek že nekajkrat izdeloval, se je program iz zgodovine naučil, koliko časa bo predvidoma potrebnega, da se bo proizvodni nalog končal.

Funkcija te informacijske rešitve pride najbolj do izraza, kadar želimo ustvariti spremembe, saj nam omogoča, da se proizvodne naloge spreminja terminsko, planske naloge pa tudi količinsko. Tako lahko postavimo proizvodni plan, ki je realen za proizvodnjo. Ključno je, da ko je plan urejen, ga tudi zapišemo in s tem shranimo v SAP. Tako bo nova osvežena slika v obeh programih enaka.

Planer si glede na sliko 11 lahko določi, katere kriterije in parametre naj informacijska rešitev uporabi pri postavitvi plana. V APS si izberemo določene parametre, ki so razvidni na sliki 11, potem pa tu informacijska rešitev samodejno ustvari nova možna zaporedja proizvodnih nalogov in predlaga matematično optimalno razporeditev glede na kriterije funkcije. Informacijska rešitev hkrati preverja tudi morebiten vpliv trajanja prihodnjih proizvodnih nalogov in napove realno novo trajanje proizvodnih nalogov, hkrati tudi samodejno preverja in upošteva razpoložljivost materialov.

Slika 11: Izbira parametrov v novi informacijski rešitvi

Parametri in kriteriji razvrščanja

Parametri

Upoštevanje pokritost z vhodnim materialom	☒
Dovoli porabo varnostne zaloge	☒
Upoštevanje planske naloge	☒
Upoštevanje nerazvrščene naloge	☒
Zamrznjene delovne naloge	☒
Zamrznjene začetne izmene	0
Planski horizont (Teden)	2

Kriteriji

Zamude	5 ▾
Menjave orodij	0 ▾

Vir: Domel (2022).

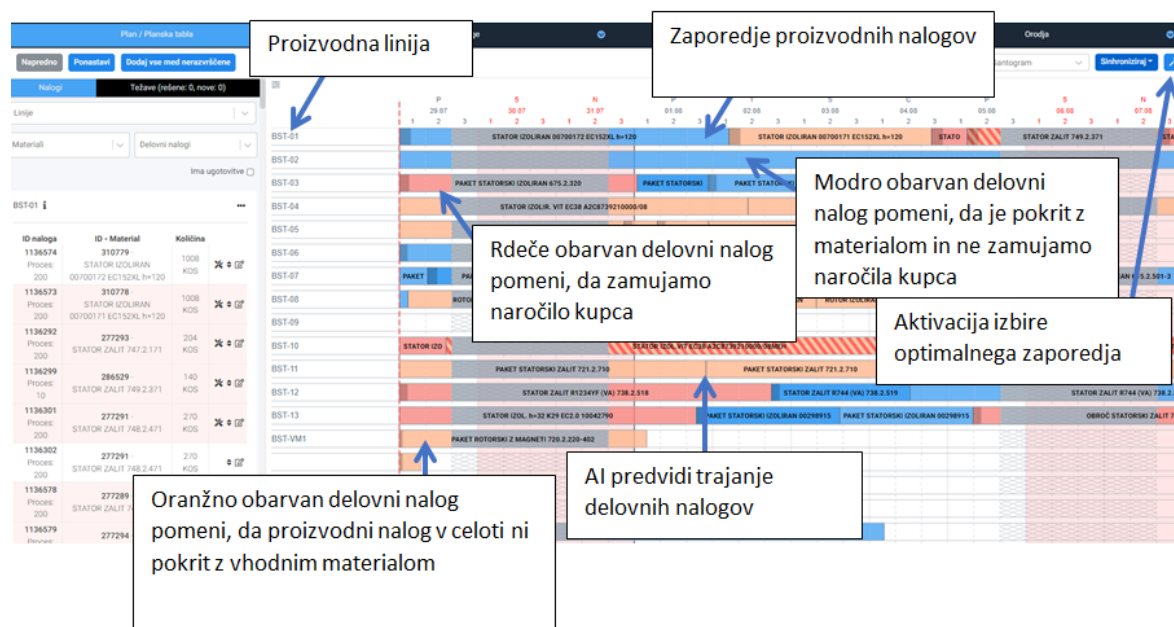
Naloge se v planski tabli deli na tri skupine:

- proizvodni nalogi – ti imajo največjo težo in so vedno na prvih mestih razporeditve na planski tabli, vrstni red je enak vrstnemu redu v kinerju.

- Razvrščeni planski nalogi – to so nalogi, ki smo jih že splanirali na stroj, s tem pa dobijo ustrezno barvo, termin in v SAP-u dobijo dve zvezdici (**).
- Nerazvrščeni planski nalogi – to so nalogi, ki čakajo, da jih bomo razvrstili na ustrezen stroj. Niso obarvani, nahajajo pa se v spodnjem delu planske table in imajo nek začetek in konec, kot je le-ta določen v SAP-u.

Na sliki 12 so prikazani pomembni dejavniki za uporabo planske table. Planer lahko nato potrdi nov raspored proizvodnega plana proizvodnje, lahko pa se v primeru neizvedljive rešitve osredotoči na spreminjanje vhodnih podatkov: npr. prestavi datume dobav z oddelkom prodaje, spremeni število proizvodnih izmen, preveri za dobavo drugega vhodnega materiala v nabavnem oddelku itd.

Slika 12: Prikaz planske table za razporejanje v novi informacijski rešitvi



Vir: prirejeno po Domel (2022).

Če planer prejme informacijo o zahtevani spremembi, da bo na primer prišlo do zamude pri dobavi določenega vhodnega materiala, pripravi nov raspored v APS z AI. Planer v APS AI izbere določeni proizvodni nalog in ga označi kot nerazporejenega, zato ta nalog izgine iz razporeda stroja.

Slika 13 nam prikazuje, da obstaja možnost, da znotraj planske table urejamo ali preverjamo, kako se spremeni rasporeditev plana, če dodajamo ali odstranjujemo število izmen. Planer lahko hitro preveri možnost, ali je potrebno vključiti dodatno izmeno za delo med vikendom ali ne, saj s to simulacijo potem tehnologija pripravi posodobljen raspored proizvodnega plana, prav tako se tudi s časovnega vidika hitro vidi, kdaj bo določen proizvodni nalog izdelan.

Slika 13: Vkllop in izklop izmen

Izmene - BST-05 ✕

	Pon 08.08.	Tor 09.08.	Sre 10.08.	Čet 11.08.	Pet 12.08.	Sob 13.08.	Ned 14.08.
1	✓	✓	✓	✓	✓	✕	✕
2	✓	✓	✓	✓	✓	✕	✕
3	✓	✓	✓	✓	✕	✕	✕

	Pon 15.08.	Tor 16.08.	Sre 17.08.	Čet 18.08.	Pet 19.08.	Sob 20.08.	Ned 21.08.
1	✕	✓	✓	✓	✓	✕	✕
2	✕	✓	✓	✓	✓	✕	✕
3	✓	✓	✓	✓	✕	✕	✓

	Pon 22.08.	Tor 23.08.	Sre 24.08.	Čet 25.08.	Pet 26.08.	Sob 27.08.	Ned 28.08.
1	✓	✓	✓	✓	✓	✕	✕
2	✓	✓	✓	✓	✓	✕	✕
3	✓	✓	✓	✓	✕	✕	✓

	Pon 29.08.	Tor 30.08.	Sre 31.08.	Čet 01.09.	Pet 02.09.	Sob 03.09.	Ned 04.09.
1	✓	✓	✓	✓	✓	✕	✕
2	✓	✓	✓	✓	✓	✕	✕
3	✓	✓	✓	✓	✕	✕	✓

Vir: Domel (2022).

Ko se planer odloči za potrditev trenutnega proizvodnega plana proizvodnje, to izvede kar v novi informacijski rešitvi, potem pa se osveženo stanje terminiranih planskih nalogov in razporeditev proizvodnih nalogov avtomatsko prenese tako v ERP sistem kot tudi MES sistem. S tem imamo v ERP sistemu osveženo stanje. Če je kje pri določenih nalogih prišlo do zamud izdelave, se nam posledično stanje posodobi in je realna slika v ERP sistemu vidna tudi za ostale planerje, ki npr. pokrivajo planiranje proizvodnje na višjih nivojih in potrebujejo vhodne materiale. S tem se jim prikaže realna pokritost z materialom.

Kot dodatno funkcionalnost znotraj nove informacijske rešitve izpostavljamo tudi zavihek za pregled zalog, saj je le-ta poleg planske table najpomembnejše orodje za postavljanje plana, kot prikazuje slika 14. Pod tem zavihkom lahko za celotno delavnico izberemo pregled zalog gibanja proizvedenih izdelkov ali pa vhodnih materialov, kjer se glede na razpored plana prikaže, kako se bo gibala zaloga materiala. Če se nam prikaže rdeče barva, pomeni, da ali nam zmanjka vhodnega material, ali pa s trenutno razporejenim proizvodnim nalogom ne pokrijemo odpoklicev (naročil kupca). Trenutno viden horizont po dnevih je 27 delovnih dni.

Slika 14: Prikaz zalog za vhodne materiale v novi informacijski rešitvi

Material	Stanje zalog	Varnostna zaloga	29.07.2022 Ponedjeljak			30.07.2022 Sobota			31.07.2022 Nedelja			01.08.2022 Ponedjeljak			02.08.2022
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
BARVA TEKNOLOGIA AQUA 2934-10 RAL7035 (338037)	210	150	210	205								205	205	205	198
FOLIA STRETCH K8 POWER (371885)	541	737	541	540								538	538	537	537
GENERATOR NAVIT 676.2.322-3 (385402)	0	0	1.538												
GENERATOR Z VODNIKOM 675.2.321 (260648)	28	0	61												-17
GENERATOR Z VODNIKOM 675.2.330 (309618)	0	0	39									2.539			
GREO PwWP 25 10KVS KTS 1.201-2 (349731)	4.183	0	1.854	147								-1.559	-2.597		
GREO PwWP 32 10KVS KTS 1.201-3 (349729)	3.566	0	4.021												
GREO PwWP 45 10KVS KTS 1.201-4 (349732)	822	0										787	-1.254	-1.299	-5.778
GRILON TSG-30/4 BLACK EMS (393380)	259	50	241	223								205	181	164	163
LIST STATORSKI 749.1.201 (271137)	3.296	0	-107.464									-207.464			
LIST STATORSKI 746.1.201-2 (304253)	357.022	0													
LIST STATORSKI 747.1.201-2 (287926)	30.448	0												55.967	89.909
LIST STATORSKI 748.1.201-2 (287927)	8.070	0	23.666	39.326								94.979	130.625	155.071	
LIST STATORSKI EC-MK152 (306413)	414.990	0	397.277	365.786								334.306	302.811	271.322	239.833
LIST STATORSKI EC-MK152 4x0.1 (330782)	57.614	0	56.512	54.554								52.594	50.634	48.671	46.715

Vir: Domel (2022).

Hkrati se lahko planer odloči, da hoče npr. preveriti samo vhodne materiale za točno določen stroj. Prikaže se mu ožji pogled gibanja zalog. Kot lahko vidimo na sliki 15, lahko tu planer znotraj enega orodja preverja pokritost z materialom in ni potrebno dodatno preverjati pokritosti z materialom v ERP sistemu ter hkrati preverjati pokritosti z materialom pri naslednjih razporejenih nalogih v MES sistemu.

Slika 15: Prikaz zalog vhodnega materiala za posamezen stroj

Material: Vhodni materiali x		Linija: BST-05 x																	Izbrano	Dan	Teden
Material			Stanje zalog	Varnostna zaloga	29.07.2022 Poned			30.07.2022 Sobota			31.07.2022 Nedelja			01.08.2022 Ponedeljek			02.08.2022 Torek				
					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
PA66 ULTRAMID A3K 0m BASF (338564)			3.262	500	3.243	3.227					3.211		3.202	3.184	3.165	3.147	3.129	3.111			
PA66 ULTRAMID A3W66 CR BASF (240154)			6.800	200	6.794	6.785					6.773	6.736	6.727	6.724							
PA66 ULTRAMID A3K205 NA V-0 BASF (110857)			2.681	500											2.666	2.652	2.637	2.622			
PAKET STATORSKI 721.2.700 (406382)			0	0	-1.407	-2.814					-4.221	-5.628	-7.035	-8.439	-9.835	-11.231	-12.554	-10.991			
PAKET STATORSKI 725.2.410 (288428)			241	0																	
PAKET STATORSKI 725.2.610 (270832)			1.468	0	476	517					-1.239	-2.533	-3.831	-4.315	-5.298	-6.281	-7.263	-8.246			
PPS-GF40 FORTIRON 1140 LA CR CELANESE (328886)			10.564	500	10.473	10.389					10.305	10.228	10.133	10.031	9.935	9.851	9.772	9.682			
SILICA GEL (60g) (238594)			1.830	1.000	1.797	1.791								1.790	1.788	1.786	1.785	1.771			
SUŠILNIK-PROPANEK 1/800 NFH 71g cl B (438677)			6.329	5.000	6.256	6.182					6.101	6.012	5.930	5.846	5.764	5.682	5.621	5.539			
			33.175,19	7.700	30.564,52	27.964,2	27.964,2	27.964,2	27.964,2	27.964,2	27.964,2	25.648,27	22.744,47	20.336,38	17.747,35	15.151,56	12.577,72	10.090,18			

Vir: Domel (2022).

Prav tako lahko z uporabo nove informacijske rešitve pod zavihkom mikroplan preverimo oz. pridobimo hitro informacije, koliko kosov posameznega izdelka se predvideva, da bo izdelanih v določeni izmeni. Planer lahko to preveri za vse stroje, lahko pa se odloči in izbere samo določeni stroj, kot je razvidno na sliki 16, kjer se grafično prikaže razpored proizvodnih nalogov na stroju BST-05, pod njim pa so še opisno prikazani podatki za določen nalog – koliko kosov predvidevajo, da bo izdelanih v določeni izmeni, in koliko ur je za samo izdelavo proizvodnega naloga še potrebnih.

Pod spodaj zapisanim potreben čas (ure) na sliki 16 vidimo, da je npr. pri prvem proizvodnem nalogu zapisano, da je potrebnih še 16,4+/- 0,7 ure. Tu informacijska rešitev že predvideva čas izdelave glede na upoštevanje zgodovinskih podatkov in sposobnost

predikcije. Ni torej upoštevan normativ, ki je bil določen v ERP sistemu s strani tehnologije. To je za planerja zelo koristno, saj v primerih, ko je npr. na stroju ozko grlo, ali pa so bile prej kakšne težave na stroju in se z določenimi kosi zelo mudi ter se mora preverjati, ali bodo pravočasno na voljo za drugo operacijo ali za naročilo kupca, lahko hitro vidi, koliko kosov in kdaj bodo lahko na voljo. Kadar gre za urgentne situacije, lahko to sporoči tudi naprej ali drugemu planerju, ki npr. planira naslednje operacije, kjer se te kose potrebuje kot vhodni material, ali pa v oddelek prodaje, če se gre za naročilo kupca.

Prav tako lahko planer že iz grafične slike prebere, kdaj bo določen proizvodni nalog izdelan in kdaj časovno bo sledila izdelava naslednjega proizvodnega naloga. Tudi tu opazi, ali določen proizvodni nalog že zamuja oz. kje prihaja do pomanjkanja vhodnega materiala.

Slika 16: Prikaz potrebnega časa in števila izdelanih kosov na izmeno v novi informacijski rešitvi



Vir: Domel (2022).

Pri postavitvi proizvodnega plana je pomembno, da ko se planer odloči izbrati aktivacijo izbire optimalnega zaporedja, avtomatika sama poskuša postaviti proizvodni plan. Pomembno je, da so v novi informacijski rešitvi urejene izmene – tako med tednom kot tudi za vikend. Potrebno je izbrati še gumb poravnaj operacije, ki poskrbi za usklajenost hkratnih operacij, ki potekajo pri izdelavi enega izdelka. Če bi namreč planiral prvo operacijo terminsko različno, bi bil nepravilno sterminiran celoten planski nalog, prav tako pa se bi napake pojavile tudi pri naslednjih razporejenih nalogih.

6.8 Ciljni ključni kazalniki uspešnosti projekta

V podjetju smo si zastavili ciljne KPI projekta, ki bi jih z novo informacijsko rešitvijo želeli preverjati:

- KPI projektne uspešnosti projekta
(avtomatska konfiguracija sistema: integracija v A mes)
- KPI organizacijske uspešnosti projekta
(ocena prihranka planerjev)
- KPI umetne inteligence

(točnost predvidevanja proizvodnih časov, točnost predvidevanja prostih kapacitet, točnost predvidevanja zastojev, točnost predvidevanja vmesnih zalog)

- KPI optimalnega razporeda
(razpored z manj zamudami naročil, razpored z višjo zasedenostjo strojev, razpored z dnevno enakomernejšo zasedenostjo strojev, razpored z manj menjalnimi časi, razpored z nižjimi zalogami polizdelkov/izdelkov).

Z uporabo informacijske rešitve lahko dobimo ob vsakem novem razporejanju tudi kazalnike: število prenavljanja, prenavljanja v urah, število nepokritih nalogov, število nalogov v zaostanku ter zasedenost kapacitet v odstotkih. Vse to lahko merimo in tudi primerjamo po tednih.

Z uporabo te informacijske rešitve, ki uporablja umetno inteligenco, smo želeli planerjem v podjetju prihraniti čas pri postavitvi tedenskega oz. 14-dnevnega proizvodnega plana. Da imajo orodje, ki namesto njih reši kočljive situacije, npr. če se pojavi manko materiala ali pride do okvare orodja ali stroja. V takem primeru torej informacijska rešitev ponudi rešitev. Ko planer ugotavlja, kaj narediti v določeni situaciji, je teh rešitev dejansko lahko več, kot pa tista, ki jo najde planer. Le-ta po navadi uporabi prvo možno rešitev, ki pa ni nujno vedno optimalna. Zaradi kompleksnosti in lastnosti virov, ki jih imamo, v podjetju ugotavljamo, da s klasičnimi postopki planer porabi veliko časa oz. ga izgublja, preden najde optimalno rešitev.

Funkcionalne rešitve, ki omogočajo prihranke oz. izboljšave pri delu planerja, bi morale po oceni podjetja biti:

- “kaj, če” analiza na posamezni liniji in primerjava planov;
- točna napoved porabe materialov;
- točna napoved proizvodnega časa;
- enostavno dostopne informacije in napovedi gibanja zalog na enem mestu;
- pokritost z vhodnim materialom;
- potrebe po materialih;
- pokritost odpoklicev;
- pregled po lokacijah (nivo obrata, proizvodnja);
- uporaba avtomatike (optimizacijski parametri in kriteriji).

Vse ocene so vir podjetja Domel, ter podjetja, ki razvija uporabljeno novo informacijsko rešitev. Ocene so bile zbrane skupaj na podlagi možnih rešitev, ki jih izbrana informacijska rešitev ponuja.

Znotraj magistrskega dela smo torej na nivoju planiranja ene proizvodne delavnice v izbranem podjetju preverjali, ali so se načrtovane koristi dejansko tudi uresničile. In kot je bilo predstavljeno že v predhodnem poglavju, kjer je opisan nov način planiranja s

informacijsko rešitvijo, vidimo, da so se prihranki oz. izboljšave pokazale kot ustrezne pri bolj točni napovedi porabe materialov, natančnejši napovedi proizvodnega časa, enostavno dostopnih informacij in napovedi gibanja zalog na enem mestu, potreb po materialih, pokritosti odpoklicev.

Glede kazalnikov smo se osredotočili predvsem na analizo KPI organizacijske uspešnosti projekta, saj je tu glede uporabe tehnologije v tem času možno pridobiti kar največ informacij, hkrati pa spremljati, kako se je spremenilo delo planerja z uporabo nove tehnologije, ter KPI optimalnega razporeda, ki je bolj podrobno predstavljen v naslednjem podpoglavju.

Ostale KPI smo predstavili bolj na kratko, saj je za uspešne kvalitativne analize potrebnega več časa uporabe nove informacijske rešitve. Najmanj enoletna redna uporaba je potrebna, da lahko dobimo čim bolj natančne in kvalitativne podatke.

6.8.1 Analiza KPI optimalnega razporeda

Pod KPI optimalnega razporeda smo želeli preveriti in prikazati funkcionalnost nove informacijske rešitve, ki planerju omogoča, da pridobi čim boljši optimalni razpored glede na izbrane parametre, ki si jih zastavi oz. jih želi uporabiti. Prvotno je bil postavljen določen proizvodni plan s strani planerja.

Želeli smo prikazati, kako spreminjanje določenih kriterijev pri izbranih parametrih vpliva na kazalnike, ki jih predstavi nova informacijska rešitev. Kot je prikazano na sliki 17 smo najprej izbrali kriterij za zamude 5 in menjave 0, da se dejansko informacijska rešitev osredotoči samo na pokritje dejanskih potreb in ne optimizira menjav.

Slika 17: Izbor parametrov in kriterijev

Parametri in kriteriji razvrščanja

Parametri	
Upoštevaj pokritost z vhodnim materialom	☒
Dovoli porabo varnostne zaloge	☒
Upoštevaj planske naloge	☒
Upoštevaj nerazvrščene naloge	☒
Zamrzni delovne naloge	☒
Zamrzni začetne izmene	0
Planski horizont (Teden)	2
Kriteriji	
Zamude	5
Menjave orodij	0

Vir: Domel (2022).

Kot pa lahko vidimo na sliki 18, je levi odebeljeni del podatkov izračunan iz trenutne verzije, ko smo uporabili kriterije 5 in 0. Podatki, označeni z rdečo, predstavljajo, da informacijska rešitev ni povsod našla boljše možnosti pri izbranih parametrih glede na prvotno postavljen plan s strani planerja. Kot vidimo je nova tehnologija pri teh parametrih najbolj uspela optimizirati zasedenost kapacitet v %, in sicer jih je izboljšala za sledeče tedne KT 32, KT 33 in KT 34. Zanimivo, da pa s tem ni našla boljše optimizacije pri številu prenavljanja orodij in posledično ur ter pri nepokritih nalogih in nalogih, ki so v zaostanku.

Slika 18: Primerjava kazalnikov

Prikazane ugotovitve (6)					
Kazalniki					
Sinhroniziraj					
Trenutna verzija (A) / Prvotna verzija					
Teden	Prenastavljanja [#]	Prenastavljanja [ure]	Nepokriti nalogi [#]	Nalogi v zaostanku [#]	Zasedenost [%]
32	46 / 41 (112.2%)	114.3 / 105.8 (108%)	19 / 16 (118.8%)	20 / 19 (105.3%)	79.4 / 77.8
33	32 / 18 (177.8%)	76 / 42.5 (178.8%)	20 / 8 (250%)	17 / 11 (154.5%)	62.1 / 39.2
34	6 / 2 (300%)	16.5 / 5 (330%)	5 / 1 (500%)	4 / 1 (400%)	20 / 8.5
Skupaj	84 / 61 (137.7%)	206.8 / 153.3 (134.9%)	44 / 25 (176%)	41 / 31 (132.3%)	52 / 39.3

Vir: Domel (2022).

To pa vsekakor ni zadnja možnost, zato smo izbrali še dodaten primer kriterijev, kot se vidi na sliki 19. Odločili smo se, da nastavimo zamude na 3 in menjave na 2. Pričakovali smo, da bo v tem primeru informacijska rešitev dala uteži na oba kriterija, vendar porazdeljeno.

Slika 19: Izbor parametrov in kriterijev

Parametri in kriteriji razvrščanja

Parametri

Upoštevaj pokritost z vhodnim materialom ☒

Dovoli porabo varnostne zaloge ☒

Upoštevaj planske naloge ☒

Upoštevaj nerazvrščene naloge ☒

Zamrzni delovne naloge ☒

Zamrzni začetne izmene

Planski horizont (Teden)

Kriteriji

Zamude

Menjave orodij

Vir: Domel (2022).

Želeli smo spremljati, kakšna sprememba se pri optimizaciji kvalitetnejšega razporeda zgodi glede na prejšnji primer izbranih kriterijev. Tu je iz slike 20 razvidno, da po novem izboru

kriterijev (3 zamude in 2 menjavi orodij), dobimo v KT 32 predvsem boljše kazalnike pri prenavljanju, v KT 34 pa poleg teh tudi pri nepokritih nalogih in nalogih v zaostanku.

Slika 20: Primerjava kazalnikov

Teden	Prenastavljanja [#]	Prenastavljanja [ure]	Nepokriti nalogi [#]	Nalogi v zaostanku [#]	Zasedenost [%]
32	45 / 46 (97.8%)	110.3 / 114.3 (96.5%)	21 / 19 (110.5%)	20 / 20 (100%)	79.4 / 79.4
33	34 / 32 (106.3%)	81 / 76 (106.6%)	21 / 20 (105%)	17 / 17 (100%)	61.8 / 62.1
34	5 / 6 (83.3%)	14 / 16.5 (84.8%)	4 / 5 (80%)	3 / 4 (75%)	18.2 / 20
Skupaj	84 / 84 (100%)	205.3 / 206.8 (99.3%)	46 / 44 (104.5%)	40 / 41 (97.6%)	51.3 / 52

Vir: Domel (2022).

Zanimala nas je še tretja možnost, glede na izbrane parametre na sliki 21, in sicer rezultati pri obratni izbiri kriterijev, tj. 2 zamudi in 3 menjave. Kot lahko vidimo na sliki 22, je nova rešitev glede na kazalnike pripravila boljši raspored proizvodnje, saj imamo glede na prejšnji izbor parametrov sedaj boljše vrednosti pri številih prenavljanj, ur prenavljanj ter nepokritih nalogih, v KT 34 pa tudi pri nalogih, ki so v zaostanku.

Slika 21: Izbor parametrov in kriterijev

Parametri in kriteriji razvrščanja

Parametri

Upoštevaj pokritost z vhodnim materialom	☒
Dovoli porabo varnostne zaloge	☒
Upoštevaj planske naloge	☒
Upoštevaj nerazvrščene naloge	☒
Zamrznj delovne naloge	☒
Zamrznj začetne izmene	0
Planski horizont (Teden)	2

Kriteriji

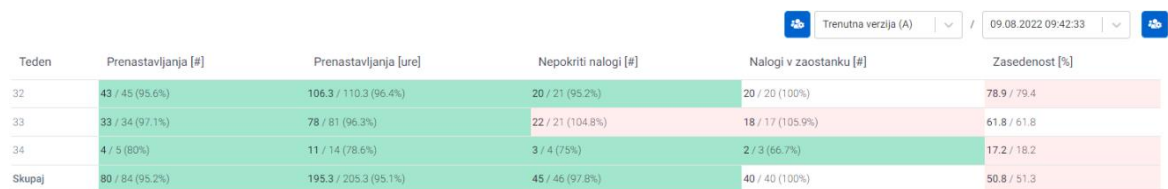
Zamude	2
Menjave orodij	3

Vir: Domel (2022).

Nova informacijska rešitev na sliki 22 ne dobi boljše vrednosti le pri zasedenosti kapacitet, saj informacijska rešitev, ko skuša optimizirati oz. pridobiti najboljši plan glede na izbrane parametre pri vseh kazalnikih, ne dobi le boljše vrednosti, ampak lahko posledično pride do presoje samega planerja, za kaj se bo odločil – ali bo izbral neko srednjo možnost, kjer je izbira teh parametrov boljša za proizvodnjo, ker je manj prenavljanj orodij in za prodajo,

ker se število nepokritih nalogov in nalogov v zaostanku tudi izboljša, ali pa se bo planer raje odločil za pokritje zasedenosti kapacitet v določenem tednu.

Slika 22: Primerjava kazalnikov



Teden	Prenastavljanja [#]	Prenastavljanja [ure]	Nepokriti nalogi [#]	Nalogi v zaostanku [#]	Zasedenost [%]
32	43 / 45 (95.6%)	106.3 / 110.3 (96.4%)	20 / 21 (95.2%)	20 / 20 (100%)	78.9 / 79.4
33	33 / 34 (97.1%)	78 / 81 (96.3%)	22 / 21 (104.8%)	18 / 17 (105.9%)	61.8 / 61.8
34	4 / 5 (80%)	11 / 14 (78.6%)	3 / 4 (75%)	2 / 3 (66.7%)	17.2 / 18.2
Skupaj	80 / 84 (95.2%)	195.3 / 205.3 (95.1%)	45 / 46 (97.8%)	40 / 40 (100%)	50.8 / 51.3

Vir: Domel (2022).

Zagotovo je koristno, da lahko testiramo različne scenarije razporejanja za postavitev proizvodnega plana glede na izbrane kriterije in da lahko hitro dobimo tudi podatke o tem, kolikšne so vrednosti pri posameznih kazalnikih. Vendar pa še vedno obstaja tudi pomanjkljivost. Kadar vidimo, da je določen scenarij boljši od prejšnjih, bi morala ta nova informacijska rešitev ponuditi izbiro klika na scenarij, za katerega smo se odločili, in nato osvežiti postavljen proizvodni plan v izbrani proizvodni delavnici. Trenutno pa je tako, da lahko vrtimo različne scenarije ob različnih izbranih kriterijih, vendar pri preverjanju kazalnikov ne vemo več točno, kako je bil določen proizvodni plan videti, na primer tri scenarije nazaj. In tu je vsekakor prisotna želja po nadgradnji in izboljšanju te funkcije, ki jo ponuja informacijska rešitev.

7 ANALIZA PROJEKTA

V podjetju smo se pri implementaciji izbrane informacijske rešitve soočili tako s strateškimi, tehnološkimi in organizacijskimi izzivi, ki smo jih med implementacijo identificirali in razrešili. Med implementacijo smo v podjetju znotraj projektne skupine odkrili in rešili tudi funkcionalne izzive pri simulaciji optimalnih razporedov, kot na primer:

- dodalo se je pregled stanja zalog materiala po izvedeni simulaciji;
- dodala se je možnost prikaza upoštevanja varnostnih zalog pri simulaciji;
- izračun kvalitete simulacij razporeda preko določenih KPI ter prikaz primerjave trenutno obstoječega scenarija z različno izvedenimi simulacijami;
- omejevanje simulacije: omogočeno izključevanje razporejenih delovnih nalogov na izbranem delovnem mestu;
- izbira upoštevanja že izdanih nalogov in tistih, ki se še niso pričeli izdelovati.

Glede pridobitve in analize pridobljenih podatkov smo se v podjetju morali zavedati, da z uporabo nove informacijske rešitve in prenosa na produkcijo obstajajo tudi tveganja. Kot možna tveganja je potrebo izpostaviti:

1. Tveganja z naslova skritih tehničnih in programskih napak:

- nepopoln prenos podatkov iz APS v ERP in obratno;
 - izpad povezave med ERP, APS in MES.
2. Tveganja z naslova človeških napak:
- planer pomotoma prerazporedi vse proizvodne naloge in shrani v ERP;
 - planer v APS prerazporedi naloge za celotno delavnico za predolgo obdobje in vse naloge pošlje v ERP;
 - človeško zaupanje v nove tehnike.
3. Možnost pojava konfliktnih situacij znotraj APS, ERP in MES zaradi sočasnih sprememb:
- izziv sočasnega razporejanja v APS.

7.1 Prednosti uporabe informacijske rešitve

V tabeli 2 so prikazane prednosti uporabe informacijske rešitve z vidika planerja ter z vidika managementa. Prednosti z vidika planerja izpostavljam, ker smo do njih prišli med delom s to informacijsko rešitvijo in tudi po pogovoru s planerko, ki je pričela z uporabo informacijske rešitve. Do prednosti z vidika managementa smo prišli preko intervjujev z nadrejenimi.

Tabela 2: Prednosti uporabe informacijske rešitve

VIDIK PLANERJA	VIDIK MANAGEMENTA
Prihranek časa in energije s poravnavo plana, terminiranjem in razporejanjem nalogov.	Vpliv na proces planiranja in organizacijo dela.
Boljši pregled na trenutno situacijo v proizvodnji.	Horizontalno in vertikalno obvladovanje kapacitet.
Možnost preveriti in primerjati več različnih scenarijev v kratkem času.	Novi skriti funkcionalni izzivi (kaj je še odprto, katere zadeve je še treba urediti).
Točne potrditve za interne in eksterne kupce.	Človeški izziv: fokus, natančnost, izguba znanja o razporejanju in terminiranju.
	Stalno učenje .

Vir: lastno delo.

7.2 Pomanjkljivosti uporabe informacijske rešitve

V tabeli 3 pa so prikazane pomanjkljivosti uporabe informacijske rešitve, ki jih je navedel planer, in opažanja, do katerih smo prišli med lastnim delom z aktivno uporabo informacijske rešitve.

Tabela 3: Pomanjkljivosti uporabe informacijske rešitve

VIDIK PLANERJA
Čakanje na izvedbo razporeda.
Čakanje na prepis v ERP sistem.
Čakanje na osveževanje iz ERP v APS→ uporabnika dekoncentrira, lahko izgubi nit, kaj je točno delal.
Preverjanje, ali so podatki prenosa iz APS v sistem ERP točni.
Začetne težave pri zapisu proizvodnih verzij na nalogih iz APS v ERP
Pogrešamo nekatere funkcionalnosti, kot so planiranje ozkih grl, optimiziranje uporabe kapacitet po različnih strategijah.
Informacijska rešitev ima nekaj težav z deljenjem operacij in s prekrivanjem operacij→ ampak se še vseeno sproti rešuje in razvija, da bi odpravili tudi to pomanjkljivost.

Vir: prirejeno po Domel (2022).

8 UGOTOVITVE IN PREDLOGI ZA NADALJNJO OPTIMIZACIJO PLANIRANJA

Med opravljanjem intervjujev, smo se osredotočili na nekaj ključnih vprašanj, ki so predstavljena v nadaljevanju.

Na vprašanje, katere koristi uporabe nove informacijske rešitve bo imelo podjetje oz. planski oddelek, je SAP PP svetovalec, ki je bil prisoten pri vpeljavi in implementaciji od začetka samega projekta, odgovoril, da je to predvsem poenostavitev dela planerjev, boljša usklajenost plana med oddelki, hitrejša zavzemanje odstopanj od planov, hitrejša odzivanje na različne motnje v proizvodnji, nabavi, ali nepričakovane spremembe v naročilih.

Zanimalo nas je tudi, kaj bi bila po njegovem ključna prednost oz. katere funkcionalnosti bi najbolj izpostavili pri orodjih APS. Na to vprašanje je odgovoril, da je bistveno strojno učenje in da je posledično potrebnega manj napora pri pripravi in vzdrževanju matičnih podatkov, ki so potrebni za planiranje.

Vsekakor so se pri vpeljavi nove informacijske rešitve pojavljali tudi izzivi, zato nas je zanimalo, katere bi izpostavil kot glavne. Izpostavil je integracijo s SAP-om, integracijo z MES sistemom Kiner in usklajenost delovanja SAP–nova tehnologija–Kiner. Kot enega od glavnih virov težav je izpostavil tudi, da nova tehnologija ne izvaja razporejanja proizvodnih nalogov na osnovi planiranja kapacitet, ampak deloma izvaja funkcije MRP, pri čemer je logika MRP pri tej novi tehnologiji malo drugačna kot v SAP-u. To je potem povzročilo težave pri integraciji obeh sistemov. Hkrati pa je opozoril tudi na izziv usposabljanja uporabnikov, saj bodo morali osvojiti novo orodje in s tem novo logiko planiranja, za to pa

je potrebno nekaj časa. Ker gre za relativno novo tehnologijo, na kateri temelji produkt, je uporaba izziv tako za izvajalce kot usvajanje tehnologije pri nas v podjetju.

Hkrati smo želeli pridobiti pogled na novo informacijsko rešitev tudi s strani managementa, in sicer od direktorja oskrbovalnih verig, ki je bil tudi ključen za vpeljavo nove tehnologije v podjetje in je imel nadzor nad izvajanjem ter potekom implementacije. Na vprašanje, od kje odločitev oz. kaj je bil povod za odločitev, da v podjetje pripeljemo tehnologijo za avtomatsko planiranje proizvodnje, je odgovoril, da je proces načrtovanja proizvodnje eden ključnih procesov v dobavni verigi, saj se ukvarja s številnimi parametri negotovosti. Zato je bila želja, da damo poudarek na mikroplaniranje in načrtovanje proizvodnje, da vodi proizvodnjo s proizvodnim načrtom: za doseganje zahtev strank, ki ima izvedljivo trajanje proizvodnih naročil, ki je prekrito tudi z zahtevanim materialom, z zaporedjem dela, ki je optimalno za doseganje maksimalne učinkovitosti proizvodnje in učinkovitosti celotne notranje verige (majhne zaloge, malo zamud), saj je trenutno pred vpeljavo nove informacijske rešitve že ena »majhna« sprememba pomenila preigravanje n-možnih variant za ustvarjanje novega, izvedljivega, materialno pokritega in optimalnega urnika proizvodnje, in vse to delo so opravljali planerji.

Z novo informacijsko rešitvijo pa bi del preigravanja in iskanja optimalnega plana proizvodnje prevzela informacijska rešitev sama. Da pa so začeli razmišljati in potem tudi potrdili odločitev za vpeljavo nove informacijske rešitve, pa je bilo odločilno, da so v podjetju pričeli s posodobitvijo srednjeročne poslovne strategije za daljše obdobje (2020–2025), kjer je podjetje digitalizacijo procesov opredelilo kot strateško dejavnost, preslikavo ključnih procesov in medsebojnih odnosov za vse procese, od začetka do konca (angl. end to end– E2E).

Na vprašanje, katere so glavne koristi in cilji, ki jih kot direktor oskrbovalnih verig pričakuje od nove informacijske rešitve ter kakšne izzive pričakuje ob tem, je izpostavil, da je še vedno preteklo premalo časa od uvedbe informacijske rešitve. Omeni, da iz interpretacije meritev ne moremo izključiti učinkov prehoda na nov proces načrtovanja, vendar je pričakovan vsekakor (dolgoročen) vpliv dobre prakse za podjetje, saj bodo planerji osvobojeni rutinskega dela in se bodo osredotočili na izzive, ki zahtevajo veliko znanja in jih umetna inteligenca ne more rešiti. Do leta 2025 pa pričakuje, da naj bi se delo načrtovalcev zmanjšalo za 50 %. Izpostavljeno je bilo tudi, da je AI že pripravljena za uporabo pri načrtovanju proizvodnje, a ker je umetna inteligenca nova informacijska rešitev, je treba tveganja uspeha enakomerno porazdeliti med stranko in razvijalcem, uporabnike, tj. planerje, pa je treba čim prej vključiti v projekt izvedbe.

Med testiranjem in uporabo nove informacijske rešitve smo ugotovili, da je zelo pomembno, da se uredi podatke v sistemu tudi na strani našega podjetja, saj lahko na podlagi tega podjetju še dodatno omogočimo, da s pomočjo nove informacijske rešitve pripravi boljši plan. Prav tako smo ugotovili, da je potrebno pred pričetkom projekta in tudi v nadaljevanju implementacije implementatorju nove informacijske rešitve natančno predstaviti celoten

proces planiranja, predstaviti posebnosti procesov izbrane proizvodnje oz. podjetja, predstaviti trenutno kakovost podatkov ter način zajemanja podatkov iz proizvodnega procesa.

Ko smo testirali in uporabljali novo informacijsko rešitev, smo preverjali njeno pravilno delovanje in sproti tudi ugotovili nekatere nepravilnosti, za katere se je izkazalo, da je posledica težav na strani Domela. Glavne točke, ki so potrebne za ureditev na strani Domela in so se še bolj izpostavile med uporabo informacijske rešitve, so:

- odprava starih fiksiranih terminskih sporazumov pri medobratnem poslovanju;
- odprava in ureditev ostajanja AviPot pri določenih vhodnih materialih, saj posledično kaže nepravilno zalogo vhodnega materiala;
- ureditev in dogovor o čim hitrejšem zapiranju končanih nalogov, da ne ostajajo v sistemu kot nezaključeni;
- doslednost prodaje pri kreiranju dobavnic in zapiranju obstoječih naročil;
- odpraviti nedoslednost pri zaključevanju nalogov, potrjevanju količin, da nimamo netočnih rezervacij za materiale na nalogih.

Za čim bolj realno vnaprejšnjo uporabo te informacijske rešitve so potrebna še dopolnila same funkcionalnosti, prav tako se še vedno lahko pojavljajo izzivi s človeškimi navadami, ki izhajajo še iz njihovega obstoječega načina planiranja. Z intervjuvanjem sodelavca smo želeli izvedeti, kolikšna je točnost postavljenega proizvodnega plana v določenem obdobju planiranja po novem načinu, in sicer če lahko na kakšen dokaj hiter način pridobimo informacijo s strani informacijske rešitve. Odgovoril je, da je v sami aplikaciji dodan zavihek evalvacija, kjer lahko na hitro preverijo, ali je bil proizvodni plan, ki je bil postavljen v prejšnjem tednu, tudi v realnosti časovno tako izveden. Na sliki 23 imamo definiran obrat in skupino linij, kar predstavlja izbrano proizvodno delavnico in točnost. V tem primeru pomeni točnost 100 x 26, da je bil postavljen proizvodni plan iz prejšnjega tedna tudi izveden v takem času.

Slika 23: Evalvacija, 2023

Plan / Evalvacija		Zaloge		Ljudje			
		1		2		3	
Line	Material	Napoved	Proizvedeni	Napoved	Proizvedeni	Napoved	Proizvedeni
BST01	STATOR IZOLIRAN 00700172 EC152XL h=120	164	173	164	175	164	161

Vir: Domel (2023).

S tretjim intervjujem smo skušali izvedeti še, kako koristna oz. uporabna je funkcija avtomatskega razporejanja. Dobili smo odgovor, da so dodali dva možna scenarija, ki pa trenutno še ne delujeta, tako kot bi si želeli, saj se je v času uporabe ugotovilo, da planer prav od te funkcije še ni pridobil velike koristi, saj so se pojavljale nekatere napake oz. je prihajalo do nelogičnega razporeda postavitve proizvodnega plana. Pomembno, bi torej bilo,

da podjetje, ki razvija to informacijsko rešitev, da še večji poudarek na razvoju funkcije avtomatskega razvrščanja.

Omenjene pomanjkljivosti in glavne odprte točke, ki jih je potrebno urediti znotraj podjetja in nekaj tudi pri samem razvijalcu informacijske rešitve, pa nas niso ustavile, da ne bi te nove informacijske rešitve skušali uporabljati tudi v nadaljnje ter z njo prešli še na ostale proizvodne delavnice znotraj podjetja Domel. Kot je povedal g. Matjaž Roblek, direktor oskrbovalnih verig, so ne samo načrtovanje, ampak tudi napovedi, neprekinjeno prilagajanje algoritmov in agilen pristop te tehnologije ter razumevanje naših potreb funkcije, zaradi katerih se izbrana aplikacija ujema z Domelovim načrtovanjem proizvodnje.

Glede na pridobljene podatke so v nadaljevanju zapisani še avtoričini predlogi, kako izboljšati funkcionalnost informacijske rešitve in jo kar najbolj izkoristiti:

- poročilo za tehnologe; orodje iz zgodovine in dejanske izdelave nalogov pridobi podatke, kje normativi niso točni, kje prihaja do velikih odstopanj in bi tako lahko na vsako določeno dogovorjeno obdobje pripravilo poročilo, ki ga bi lahko dobili tehnologi, da uredijo tehnološke normative in tehnološke podatke;
- spreminjanje proizvodnih nalogov; tu bi lahko določen proizvodni nalog na primer količinsko popravil že kar v tej novi tehnologiji in bi s tem lahko hitreje izvedel simulacijo za proizvodni plan, hkrati pa bi se ob shranitvi tega plana sprememba takoj sinhronizirala tudi v SAP. S tem se bi izognili popravljanju oz. spreminjanju proizvodnih nalogov v SAP-u ter bi si prihranili čas čakanja, da nova informacijska rešitev pridobi posodobljene spremenjene podatke iz SAP-a za nadaljnjo razporeditev proizvodnega plana ali pa za izvedene simulacije čim bolj optimalne postavitev proizvodnega plana;
- dodatno vključiti in izboljšati funkcionalnost statusa orodij; informacijska rešitev vključuje podatke o orodjih, ki morajo biti najprej pravilno definirana v SAP-u, da bi lahko informacijska rešitev sledila stanju posameznih orodij, in sicer bi s tem lahko že pri sami postavitvi proizvodnega plana upoštevali, ali je orodje za določen izdelek na voljo za uporabo ali je v popravilu in zato posameznega izdelka v tem trenutku sploh ni mogoče izdelovati;
- dodatno vključiti in izboljšati funkcionalnost statusa ljudje; tu bi potem imeli vključene podatke o stanju zaposlenih po posameznih izmenah. Dobro bi bilo imeti vzpostavljeno neke vrste povezavo s statusom prihoda na delo, da bi informacijska rešitev tako zaznala število posameznih delavcev, ki so na voljo za delo v določeni izmeni. Ko bi planer pripravljajl proizvodni plan, bi hkrati upošteval tudi, koliko je delavcev oz. ali so stroji pokriti z delovno silo. Tako se potem tudi lažje postavi prioritete, na katerem stroju je nujno potrebno delo glede na potrebe kupca, in če so kje kakšne zamude posameznega izdelka;

- izboljšanje funkcije avtomatskega razvrščanja; saj je ta funkcija pri tem orodju ključna oz. zelo pomembna za delo planerja in podjetje, ki se je odločilo za implementacijo nove informacijske rešitve. Od funkcije se pričakuje čim več koristi in prihranka časa pri delu planerja in njegovi postavitvi proizvodnega plana oz. pri nenehnih spremembah, ki se pojavijo.

9 SKLEP

Proizvodna podjetja se soočajo s precejšnjim izzivom pri načrtovanju proizvodnega plana in obvladovanju nepredvidenih motenj med vsakodnevnim delovanjem. Tudi nihanja v povpraševanju predstavljajo veliko tveganje in so lahko velik vzrok za nestabilnost in negotovost v sistemu. Zato je za reševanje teh izzivov ključnega pomena uporaba prilagodljivega informacijskega sistema za ublažitev negotovosti (Sáez in drugi, 2023). Hkrati je tudi za planerja prijazna informacijska rešitev, ki olajša delo pri postavitvi in načrtovanju proizvodnega plana. Podjetja se vedno bolj digitalizirajo in v svoje delo vključujejo uporabo umetne inteligence ter si s tem gradijo tudi konkurenčnost.

V magistrskem delu predstavljamo, kako z novo informacijsko rešitvijo poteka postavitve tedenskega oz. 14-dnevnega proizvodnega plana v planskem oddelku podjetja Domel, na primeru izbrane proizvodne delavnice BST. Predstavljene so tudi glavne prednosti uporabe sedanje informacijske rešitve glede na predhodni proces planiranja. Glede na izvedene tri intervjuje in zbrane podatke testiranja in delovanja informacijske rešitve so v magistrski nalogi predstavljene tudi pomanjkljivosti informacijske rešitve, slabosti ter predlogi za nadaljnjo optimizacijo informacijske rešitve.

Omejitev, ki jo bi izpostavili glede izdelave magistrske naloge, je premajhno število zbranih intervjujev. Dobro bi bilo pridobiti še kakšno dodatno informacijo planerke, ki dnevno planira izbrano proizvodno delavnico, in vodje planskega oddelka, s čimer bi lahko predpostavili še kakšne pomembne funkcionalnosti ali pomanjkljivosti. Izpostavili bi tudi avtoričino porodniško odsotnost z dela v glavni fazi uporabe ter v največjem zagonu nove informacijske rešitve, zato so bile določene priložnosti za izboljšavo obstoječe magistrske naloge žal zamujene. V podjetju še naprej uporabljajo izbrano informacijsko rešitev in jo postopoma vpeljujejo v ostale proizvodne delavnice, hkrati pa se informacijska rešitev še posodablja oziroma nadgrajuje glede na posebnosti posamezne proizvodne delavnice in zaznanih ugotovitev med njeno redno uporabo.

LITERATURA IN VIRI

1. Cavidad, U. J. P., Lamouri, S., Grabot, B. in Fortin, A. (2019). Machine Learning in Production Planning and Control: A review of Empirical Literature. *IFAC PapersOnLine*, 52(13), 385–390.

2. Computd. (2020). *The 4 levels of data maturity that you should absolutely know about* [objava na blogu]. <https://www.computd.nl/demystification/4-levels-of-data-maturity/>.
3. Coursera. (2024, 26. februar). *What is predictive analytics? Benefits, Examples, and more.* https://www.coursera.org/articles/predictive-analytics?utm_medium=sem&utm_source=gg&utm_campaign=B2C_EMEA__coursera_FTcoF_career-academy_pmax-multiple-audiences-country-multi&campaignid=20858198824&adgroupid=&device=c&keyword=&matchtype=&network=x&devicemodel=&adposition=&creativeid=&hide_mobile_promo&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwxeyxBhC7ARIsAC7dS38uTS8houazSXar1MhAcfTqGheGAmS2oEK8zwtoMJXndczb2IaghkYaAkh-EALw_wcB.
4. Cote, C. (2021, 2. november). *What is prescriptive analytics? 6 examples.* [objava na blogu]. <https://online.hbs.edu/blog/post/prescriptive-analytics>.
5. Delo. (2022, 20. junij). *Kaj se zgodi, ko umetna inteligenca prevzame vaje v proizvodnji?* <https://www.delo.si/gospodarstvo/novice/kaj-se-zgodi-ko-umetna-inteligenca-prevzame-vaje-v-proizvodnji/>.
6. de Sousa, T. B., Camparotti, C. E. S., Guerrini, F. M., de Silva, A. L. in Junior, W. A. (2014). An Overview of the advanced planning and scheduling systems. *Independent Journal of Management & Production*, 5(4), 1032–1049.
7. Domel. (2022). *O podjetju Domel.* <https://www.domel.com/sl/podjetje>.
8. Erjavec, J., Manfreda, A., Jaklič, J. in Indihar Štemberger, M. (2018). Stanje in trendi digitalne preobrazbe v Sloveniji. *Economic and business review*, 20(4), 109–128.
9. Finance PR. (2019, 29. avgust). *Kako z digitalizacijo planiranja proizvodnje do konkurenčne prednosti?* <https://ikt.finance.si/8951888/Kako-z-digitalizacijo-planiranja-proizvodnje-do-konkurencne-prednosti>.
10. Finance PR. (2022, 15. marec). *Kaj se zgodi, ko planiranje proizvodnje prevzame umetna inteligenca?* <https://tovarna.finance.si/8988247/Kaj-se-zgodi-ko-planiranje-proizvodnje-prevzame-umetna-inteligenca>.
11. Golova, J., Mahmood, K. in Raamets, T. (2021). *Simulation based performance analysis of production intralogistics.* <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1140/1/012026/pdf>.
12. Guzman, E., Andres, B. in Poler, R. (2021). Models and algorithms for production planning, scheduling and sequencing problems: A holistic framework and systematic review. *Journal of Industrial Information Integration*, 27, 100287.
13. Holliday, M. (2021, 9. december). *What is diagnostics Analytics? How it works and examples.* <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/data-warehouse/diagnostic-analytics.shtml>.
14. Hvolby, H. H. in Jensen, K. S. (2010). Technical and industrial issues of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems. *Computers in Industry*, 61(9), 845–851.
15. IBM. (brez datuma a). *What is machine learning?* <https://www.ibm.com/topics/machine-learning>.
16. IBM. (brez datuma b). *What is data mining?* <https://www.ibm.com/topics/data-mining>.

17. Javatpoint. (2021a). *Genetic Algorithm in Machine Learning*. <https://www.javatpoint.com/genetic-algorithm-in-machine-learning>.
18. Javatpoint. (2021b). *Goals of Artificial Intelligence*. <https://www.javatpoint.com/goals-of-artificial-intelligence>.
19. Joppen, R., von Enzberg, S., Gundlach, J., Kühn, A. in Dumitrescu, R. (2019). Key performance indicators in the production of the future. *Procedia CIRP* 81, 759–764.
20. Jovan, V. in Zorzut, S. (2006). Use of Key Performance Indicators in Production Management. V 2006 *IEE conference on cybernetics and intelligent systems* (str. 1–6). IEEE.
21. Józefowska, J. in Zimniak, A. (2008). Optimization tool for short-term production planning and scheduling. *International Journal of production economics*, 112(1), 109–120.
22. Kjellsdotter Ivert, L. in Jonsson, P. (2011). Problems in the onward and upward phase of APS system implementation. Why do they occur? *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(4), 343–363.
23. Knudsen, E. S., Lien, L. B., Trimmermans, B., Belik, I. in Pandey, S. (2021). Stability in turbulent times? The effect of digitalization on the sustainability of competitive advantage. *Journal of Business Research*, 128, 360–369.
24. Lawton, G. (brez datuma). *Definition descriptive analytics*. <https://www.techtarget.com/whatis/definition/descriptive-analytics>.
25. Liu, Q., Dong, M., Chen, F. F., Lv, W., in Ye, C. (2019). Single-machine-based joint optimization of predictive maintenance planning and production scheduling. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 55, 173–182.
26. Ljubič, T. (2006). *Operativni management proizvodnje*. Moderna organizacija.
27. LordsLibrary. (2023, 18. avgust). *Artificial Intelligence: Development, risks and regulation*. <https://lordslibrary.parliament.uk/artificial-intelligence-development-risks-and-regulation/>.
28. Lutkevich, B. (brez datuma). *Production Planning*. <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/production-planning>.
29. Miković, M. (2020, 24. avgust). *Slovenska umetna inteligenca uspešno prestala test doma in gre v širitev po svetu*. <https://izvozniki.finance.si/8964905/Slovenska-umetna-inteligenca-uspesno-prestala-test-doma-in-gre-v-siritev-po-svetu>.
30. MIT. (brez datuma). *Kako veste, da ste uspešni?* <https://mit-ing.si/kpi-key-performance-indicators/>.
31. Ogorevc, A. (2021, 14. november). *Umetna inteligenca nadgrajuje digitalizacijo proizvodnje in še povečuje produktivnost*. <https://tovarna.finance.si/8982118/%28intervju%29-Umetna-inteligenca-nadgrajuje-digitalizacijo-proizvodnje-in-se-povecuje-produktivnost>.
32. Oluyisola, O. E., Bhalla, S., Sgarbossa, F. in Strandhagen, J. O. (2022). Designing and developing smart production planning and control systems in the industry 4.0. era: a methodology and case study. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 33(1), 311–332.

33. Pagano, A. M. in Liotine, M. (2020). Technologies in supply chain management and logistics. *Current Practise and Future Applications*, 7–35.
34. Park, Y. S. in Lek, S. (2016). Artificial Neural Networks: Multilayer Perceptron for Ecological Modeling. *Developments in Environmental Modelling*, 28, 123–140.
35. Parmenter, D. (2015). *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs*. John Wiley in Sons.
36. Paschen, J., Kietzmann, J. in Kietzman, T. C. (2019). Artificial intelligence (AI) and its implications for market knowledge in B2B marketing. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 34(7), 1410–1419.
37. Petrov, S. (2021, 9. september). Z avtomatskim planiranjem odpravite konkretne izzive, ki pestijo vašo proizvodnjo. <https://tovarna.finance.si/8979328/%28intervju%29-Z-avtomatskim-planiranjem-odpravite-konkretne-izzive-ki-pestijo-vaso-proizvodnjo>.
38. Planettogether. (2020). *5 Components of Production Scheduling in Manufacturing*. [objava na blogu]. <https://www.planettogether.com/blog/4-components-of-production-scheduling-in-manufacturing>.
39. Roblek, M., Georgievski, A. in Zajec, M. (2022). Izzivi uporabe umetne inteligence na področju operativnega planiranja in razporejanja proizvodnje. V M. Maletič in B. Urh (ur.), *Sodobni pristopi inženiringa poslovnih sistemov* (str. 181–216). Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba.
40. Rusjan, B. (2007, januar). Problemi in pomanjkljivosti proučevanja strateškega planiranja proizvodnje kot razlog njegovega neuveljavljanja v praksi. *Organizacija*, 40(1), 25–33.
41. Rødseth, H., Strandhagen, J. O. in Schjølberg, P. (2015, 1. januar). *Key Performance Indicators for Integrating Maintenance Manegement and Manufacturing Planning and Control*. https://link-springer-com.nukweb.nuk.uni-lj.si/chapter/10.1007/978-3-319-22756-6_9#Tab2.
42. Sáez, P., Herrera, C. in Parada, V. (2023). Reducing Nervousness in Master Production Planning: A systematics Approach Incorporating Product-Driven Strategies. *Algorithms*, 16(8), 386.
43. Scheduling Solutions. (2024, 21. februar). *10 Tips for Optimizing Advanced Planning and Scheduling Software*. <https://medium.com/@schedulingolutionsnet/10-tips-for-optimizing-advanced-planning-scheduling-software-00e3203ed517>.
44. Schuh, G., Reuter, C., Prote, J. P., Brambring, F. in Ays J. (2017). Increasing data integrity for improving decision making in production planning and control. *CIRP Annals*, 66(1), 425–428.
45. Scientificamerican. (1999, 21. oktober). *What is 'fuzzy logic'? Are there computers that are inherently fuzzy and do not apply the usual binary logic?* <https://www.scientificamerican.com/article/what-is-fuzzy-logic-are-t/>.
46. Shahin, A. in Mahbod, M. A. (2007). Prioritization of key performance indicators: An integration of analytical hierarchy process and goal setting. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 56(3), 226–240.

47. Shojaeinasab, A., Charter, T., Jalayer, M., Khadivi, M., Ogunfowora, O., Raiyani, N., Yaghoubi, M. in Najjaran, H. (2022). Intelligent manufacturing execution systems: A systematic review. *Journal of manufacturing systems*, 62, 503–522.
48. Siemens. (brez datuma). *Advanced Planning and Scheduling (APS)*. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/advanced-planning-scheduling/64111>.
49. Stricker, N., Micali, M., Dornfeld, D. in Lanza, G. (2017). Considering Interdependencies of KPIs-Possible Resource Efficiency and Effectiveness Improvements. *Procedia Manufacturing*, 8, 300–307.
50. Tambare, P., Meshram, C., Lee, C. C., Ramteke, R. J., in Imoize, A. L. (2021). Performance Measurement System and Quality Management in Data-Driven Industry 4.0.: A Review. *Sensors*, 22(1), 224.
51. Terra, J. (2023, 10. avgust). *Exploring Intelligent Agents in Artificial Intelligence*. <https://www.simplilearn.com/what-is-intelligent-agent-in-ai-types-function-article>.
52. Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P. in Fischl, M. (2021). Artificial Intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517.
53. Ugarte, B. S., Artiba, A. in Pellerin, R. (2009). *Manufacturing execution system – a literature review*. <https://www.tandfonline-com.nukweb.nuk.uni-lj.si/doi/full/10.1080/09537280902938613>.
54. Qlector. (brez datuma). *Qlector Software development*. <https://si.linkedin.com/company/qlector>.