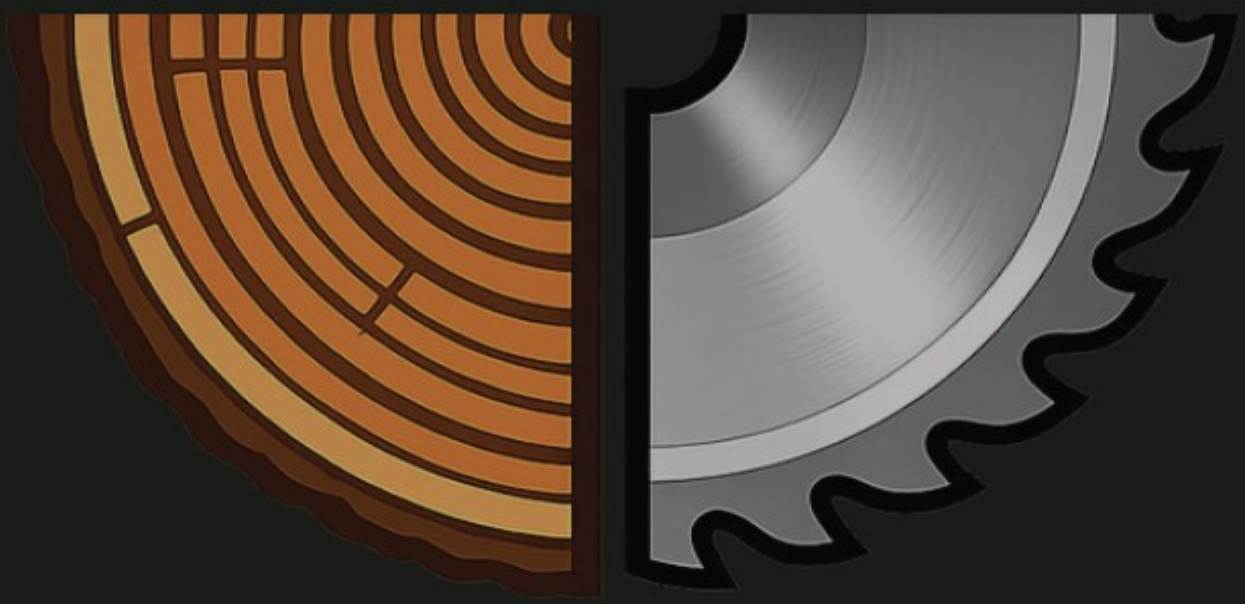
UNIVERZITET U BIHAĆU
TEHNIČKI FAKULTET

PROJEKTOVANJE DRVNOINDUSTRIJSKIH POGONA



Redžo Hasanagić
Aida Kopljar
Aldin Bjelić
Selma Mujanić

Redžo Hasanagić
Aida Kopljar
Aldin Bjelić
Selma Mujanić

PROJEKTOVANJE DRVNOINDUSTRIJSKIH POGONA

Bihać, 2026.

Projektovanje drvnoindustrijskih pogona

Autori: Van. prof. dr. **Redžo Hasanagić**
Doc.dr. **Aida Kopljar**
Doc.dr. **Aldin Bjelić**
Selma Mujanić, MA

Recenzenti:
Prof. dr. **Atif Hodžić** , Univerzitet u Bihaću
Prof. dr. **Nebojša Todorović**, Univerzitet u Beogradu

Izdavač: **Univerzitet u Bihaću**

Godina izdavanja: 2026.

Tehnički urednik: Van.prof.dr. **Redžo Hasanagić**

Dizajn korica: **Mirza Š. Kovačević**

Lektura: **Safeta Todorovac**, prof. bosanskog jezika

Štampa: **Grafis** d.o.o.

Tiraž: 100 primjeraka

Odlukom Senata Univerziteta u Bihaću, broj 06-4788/2026, od 01.10.2026. godine, knjiga je odobrena za upotrebu u nastavi na Univerzitetu u Bihaću.

Izdavanje ove knjige finansijski je podržalo ***Ministarstvo obrazovanja, nauke, kulture i sporta Unsko-sanskog kantona.***

ISBN 978-9926-508-34-0

CIP zapis dostupan u COBISS sistemu Nacionalne i univerzitetske biblioteke BiH pod ID brojem 71250182

© Copyright:

Kopiranje i elektronsko umnožavanje ove knjige nije dozvoljeno bez saglasnosti autora.

SADRŽAJ

PREDGOVOR XI

1. UVOD 1

2. VAŽNOST PLANIRANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA U PROJEKTOVANJU POGONA 6

2.1. Osnovni elementi i značaj tehnološke pripreme proizvodnje 7

2.2. Proizvodni proces 18

2.3. Tehnološki proces 19

2.4. Obradni sistem 20

2.5. Proizvodni sistem (PS) 21

2.6. Modeli PS-a 21

2.6.1. Jednopredmetni linijski sistem (JLS) 22
2.6.2. Višepredmetni linijski sistemi (VLS) 23
2.6.3. Proizvodni sistem prema vrsti opreme (PSV) 23
2.6.4. Proizvodne linije (PL) 24
2.6.5. Proizvodni sistem sličnog redoslijeda korištenja (PSS PS) 24
2.6.6. Fleksibilni proizvodni sistem (FPS) 25

3.PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKOG I PROIZVODNOG PROCESA 28

3.1. Tehnološki proces 28

3.2. Proizvodni proces 30

3.3. Određivanje grubih (krojnih) dimenzija materijala 31

3.4. Određivanje broja i redoslijeda radnih postupaka 33

3.4.1. Definicije osnovnih radnih postupaka 34
3.4.2. Tehnološka karta i redoslijed operacija 35
3.4.3. Utjecaj tipa proizvodnje 35

3.5. Određivanje radnog mjesta, načina i režima rada 36

3.6. Ekonomska analiza tehnološkog procesa 37

4. ZADATAK PROJEKTIRANJA 39

4.1. Projektni elaborat tehnološkog procesa 41

4.1.1. Projektni zadatak 42
4.1.2. Predprojekt 43
4.1.3. Idejni projekt 43
4.1.4. Investicioni program 43
4.1.5. Glavni ili izvedbeni projekt 45
4.1.6. Elaborat o izvedenim radovima 46

5. KRITERIJI ZA PROVOĐENJE TEHNOLOŠKE ANALIZE I IZBOR TEHNOLOGIJE 47
5.1. Analitička osnova 48
5.1.1. Hijerarhijska analiza tehnološkog sistema 49
5.1.2. Klasifikacija procesa prema vrsti obrade 50
5.1.3. Klasifikacija prema razvojnom stepenu tehnologije 51
5.2. Prethodna analiza 52
5.2.1. Značaj tehnološke analize u procesu projektovanja 52
5.2.2 . Konstruktivni kriteriji 52
5.2.3. Eksploatacijski kriteriji 54
5.2.4. Kvaliteta obrade 54
5.2.5. Pouzdanost tehnološke opreme 55
5.2.6. Reference i reputacija dobavljača 56
5.3. Dvofazna analiza izbora tehnologije 57
5.3.1. Tehničko-tehnološka evaluacija 57
5.3.2. Ekonomska evaluacija 61
5.3.3. Metodologija odlučivanja za izbor tehnologije 62
5.4. Fleksibilni tehnološki sistemi (FTS) 63
5.4.1. Osnovne karakteristike fleksibilnih tehnoloških sistema 63
5.4.2. Elementi FTS sistema 64
5.4.3. Prednosti FTS-a 65
5.4.4. Primjena FTS-a u drvnoj industriji 65
5.4.5. Primjena FTS-a u proizvodnji stolice (sažeti primjer) 66
5.5. Konačni izbor tehnologije 66
5.5.1 Definicija problema i alternativa 67
5.5.2 Hijerarhijska struktura kriterija 67
5.5.3. AHP analiza – matrica parnih usporedbi kriterija 68
5.5.4 Izračun konzistentnosti (CR – Consistency Ratio) 69

6. IZBOR RADNIH STROJEVA I UREĐAJA NA BAZI NJIHOVE PROIZVODNOSTI 71
6.1. Uloga izbora strojeva i opreme u tehnološkom sistemu 71
6.1.1. Odnos tehnologije i stroja 71
6.1.2. Stroj kao tehnička, ekonomska i organizacijska jedinica 72
6.2. Ključna pitanja pri nabavi strojeva i opreme za obradu drveta 73
6.2.1. Kada je nabava stroja opravdana 73
6.2.2. Koji se problem rješava nabavom 73
6.2.3. Tehničke, ekonomske i organizacijske implikacije 74
6.3. Tehnički kriteriji pri izboru strojeva i opreme 74
6.3.1 Tehnološke sposobnosti stroja 74
6.3.2. Fleksibilnost i prilagodljivost 78
6.3.3. Pouzdanost i trajnost stroja (MTBF / MTTR) 78
6.4. Energetski i eksploatacijski kriteriji 80
6.4.1. Potrošnja energije kao komponenta životnog ciklusa 80
6.4.2. Zahtjevi za održavanje 81
6.5. Ekonomski kriteriji izbora strojeva 87
6.5.1. Analiza troškova životnog ciklusa – LCC 88

6.5.2. Ukupni trošak vlasništva – TCO ... 89
6.5.3. Povrat investicije – ROI ... 90
6.6. Organizacijski, sigurnosni i ekološki kriteriji ... 93
6.6.1. Organizacijski kriteriji ... 94
6.6.2. Sigurnost i ergonomija ... 95
6.6.3. Ekološki kriteriji ... 96
6.7. Višekriterijski izbor strojeva – AHP metodologija ... 99
6.7.1 Definicija cilja odlučivanja ... 99
6.7.2 Definicija kriterija ... 99
6.7.3. Saatyjeva skala relativne važnosti ... 100
6.7.4. Matrica parnih usporedbi kriterija ... 100
6.7.5. Normalizacija matrice ... 101
6.7.6. Izračun vektora prioriteta ... 101
6.7.7. Izračun najveće vlastite vrijednosti (λ_{max}) ... 102
6.7.8. Indeks konzistentnosti (CI) ... 102
6.7.9. Omjer konzistentnosti (CR) ... 102
6.7.10. Interpretacija rezultata višekriterijske analize ... 103
6.7.11. Povezivanje AHP rezultata s LCC, TCO i ROI analizom ... 104
6.8. Procedura nabave strojeva i opreme ... 105
6.8.1. Analiza potreba i definiranje tehničke specifikacije ... 105
6.8.2. Istraživanje tržišta i odabir dobavljača ... 106
6.8.3. Pregovori i ugovaranje ... 107
6.8.4. Instalacija i puštanje u rad ... 107
6.8.5 Evaluacija rada stroja nakon implementacije ... 107

7. IZBOR OPTIMALNOG TEHNOLOŠKOG POSTUPKA S OBZIROM NA VELIČINU SERIJE I UKUPNE TROŠKOVE ... 111
7.1. Svrha i opseg ... 112
7.1.1. Definiranje kriterija za izbor strojeva i uređaja ... 112
7.1.2. Povezanost tehnološkog postupka s veličinom serije i ukupnim troškovima ... 113
7.2. Mjerne metrike i ključne formule ... 117
7.2.1. Ciklusno vrijeme ... 117
7.2.2. OEE - Ukupna efikasnost opreme (Overall Equipment Effectiveness) ... 119
7.2.3. Efektivni izlaz ... 121
7.2.4. Potreban broj strojeva ... 123
7.2.5. Uvjet usklađenosti s taktom ... 125
7.2.6. Dostupnost iz MTBF/MTTR (veza pouzdanosti i takta u realnom pogonu) ... 128
7.2.7. MTBF i MTTR – operativne definicije i prikupljanje podataka ... 130
7.2.8. Pretvorba feed-a u ciklus ... 134
7.3. Ulazni podaci za dimenzioniranje ... 136
7.3.1. Proizvodni program ... 136
7.3.2. Veličina serije ... 137
7.3.3. Trajanje smjene i radni režim ... 138
7.3.4. Planirani gubici i održavanje ... 138
7.3.5. Sažetak ulaznih podataka ... 139
7.4. Ključni pokazatelji produktivnosti ... 139

7.4.1. Standardizirane formule za takt vrijeme 140
7.4.2. Brzi proračun kapaciteta i učinkovitosti 140
7.4.3. OEE – Ukupna efikasnost opreme (Overall Equipment Effectiveness) 141
7.5. Pretvorba kataloških brzina u stvarni kapacitet 141
7.5.1. Kantirka 141
7.5.2. CNC obradni centar (nesting/bušenje/glodanje) – logika ciklusa 142
7.6. Kriteriji za izbor strojeva i uređaja (operativna interpretacija) 143
7.7. Faze projektiranja i implementacije (operativni pogled) 144
7.8. Didaktički i računski primjeri 145
7.8.1. Brzi proračun kapaciteta i broja strojeva 145
7.8.2. Analiza uskih grla i korekcija takta 146
7.9. Povezanost s ekonomskom i višekriterijskom analizom 149

8. KLASIFIKACIJA I IZBOR MAŠINA ZA OBRADU DRVETA 151
8.1 Klasifikacija i izbor mašina za primarnu obradu drveta 151
8.2 Klasifikacija i izbor mašina za finalnu obradu drveta 153
8.3 Kriteriji za izbor mašine pri projektovanju tehnološkog sistema 157
9. IZBOR REZNIH ALATA I PARAMETARA OBRADE 158

9.1 Uticaj reznih alata na projektovanje tehnoloških sistema u drvnoj industriji 159
9.1.1 Kompatibilnost reznog alata sa odabranom mašinom 160
9.1.2 Uticaj izbora reznog alata na kvalitet proizvoda 161
9.1.3 Ekonomski uticaj izbora reznog alata na projektovani sistem 162
9.2 Kriteriji za izbor reznih alata u fazi projektovanja tehnološkog sistema 163
9.2.1 Osnove teorije rezanja drveta 163
9.2.2 Osnovi kriteriji za izbor reznog alata 170
9.3. Praktični vodić izbora reznog alata 178
9.4. Najčešće greške pri izboru reznog alata 179

10. OPTIMIZACIJA LAYOUTA KOD PROŠIRENJA PROIZVODNIH KAPACITETA (PRIMJER) 182

LITERATURA 194

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Troškovi proizvodnje, dozvoljena odstupanja dimenzija (tolerancije) i kvaliteta proizvoda 15

Slika 2.2. Izvori grešaka 16

Slika 2.3. Geometrijska netačnost strojeva: a) kinematičke greške, b) greške alata, c) greške kod lijepljenja rubova 16

Slika 2.4. Utjecaj proizvodnih i upotrebnih faktora na optimalnu kvalitetu proizvoda 17

Slika 2.5. Elementi proizvodnog procesa 19

Slika 2.6. Odnos fleksibilnosti i produktivnosti u savremenim proizvodnim sistemima ..26

Slika 4.1. Osnovni elementi projektiranja proizvodnih pogona 41

Slika 5.1. Utjecaj investicijskih troškova na ukupni trošak vlasništva 62

Slika 6.1. Struktura troškova LCC/TCO za CNC obradni centar u razdoblju od 10 godina87

Slika 6.2. Proces izbora i nabave proizvodnog stroja – koraci od analize potreba do optimizacije 109

Slika 8.1. Vertikalna tračna pila [48] 152

Slika 8.2. Vertikalni gater [49] 152

Slika 8.3. Spremnik alata na mašini Solid CNC CR [62] 155

Slika 8.4 CNC obradni cenar Conturex Vario XL-Weinig [62] 156

Slika 8.5 CNC obradni centar Rover Multi Up-Biesse [63] 156

Slika 9.1 Metode mehaničke obrade drveta [50] 163

Slika 9.2 Parametri sječiva i strugotine [51] 164

Slika 9.3 Geometrijski elementi rezne oštrice [52] 165

Slika 9.4 Osnovni vidovi rezanja [51] 166

Slika 9.5 Rezni brid stvarne ošrice [52] 166

Slika 9.6 Šematski prikaz rezanja drveta [52] 167

Slika 9.7 Šematski prikaz utjecaja zatupljenja oštrice [52] 168

Slika 9.8 Osnovni vidovi rezanja [51] 169

Slika 9.9 Prelazni vidovi rezanja [51] 169

Slika 9.10.Osnovni pravci rezanja: a) uz drvna vlakna; b) okomito na drvna vlakna; c) niz drvna vlakna; d) paralelno sa drvnim vlaknima [53] 170

Slika 9.11. Izbor reznih materijala za obradu drveta [54] 172
Slika 9.12. Uglovi reznih ivica u zavisnosti od vrste materijala [54] 172
Slika 9.13. Konvencionalni sistem stezanja [55] 173

Slika 10.1. Prikaz trenutnog stanja firme 183
Slika 10.2. Prijedlog izgradnje novog objekta 183
Slika 10.3. Prikaz trenutnog rasporeda prostora i opreme 185
Slika 10.4. Konceptualno rješenje 1 187
Slika 10.5. Konceptualno rješenje 2 187
Slika 10.6. Finalno rješenje rasporeda opreme i procesa 189
Slika 10.7. Usvojeno konceptulano rješenje rasporeda opreme i procesa za halu finalne obrade 191
Slika 10.8. Finalno rješenje rasporeda opreme i procesa za halu finalne obrade 192

POPIS TABELA

Tabela 5.1. Matrica parnog poređenja kriterija za odabir optimalne tehnologije (AHP metoda) 68
Tabela 5.2. Izračun normaliziranih vrijednosti i prosjeka redaka dobivene su težine 69

Tablica 6.1. Prosječna produktivnost strojeva u drvnoj industriji (HOMAG Group) 75
Tablica 6.2. Ekvivalentna produktivnost strojeva u pilanama (m^3/h) (HOMAG Group) 76
Tabela 6.3. Izračun raspoloživosti strojeva na temelju MTBF i MTTR 78
Tabela 6.4. Analiza troškova životnog ciklusa stroja (LCC) 88
Tabela 6.5. Ulazni podaci za 10 godina 91
Tabela 6.6. Elementi kriterija 0 97
Tabela 6.7. Elementi kriterija C (iz 5.5.) 97
Tabela 6.8. Definirani kriteriji 99

Tabela 7.1. Tipične OEE vrijednosti u drvnoj industriji 121
Tabela 7.2.Projektantska tablica 139
Tabela 7.3. Analiza ciklusa operacija 147

Tabela 8.1. Proizvođači mašina za primarnu obradu drveta 153
Tabela 8.2. Proizvođači mašina za finalnu obradu drveta 157

Tabela 9.1. Deskripcija grešaka pri izboru reznog alata 179

OZNAKE I SKRAĆENICE

SIMBOL	**ZNAČENJE**
◯	operacija
→	transport
□	kontrola
⌓	zastoj
Δ	uskladištenje
MTM	metode mjerenja vremena rada
VSM	mapiranje toka vrijednost
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
CAPEX	Capital Expenditure
KWH	kilovat-sat
CNC	Computer Numerical Control
RA	hrapavost površine
CMM	Coordinate Measuring Machine
MTBF	Mean Time Between Failures
ST	stepen tehnologičnosti
QP	potreban kapacitet ovisan o planu proizvodnje
QR	raspoloživi kapacitet stroja
F	fleksibilnost
ZO	zahtjev okoline
SS	stanje sistema
TP	vrijeme prilagođavanja
Z	zalihe repromaterijala
Q	količina repromaterijala
TC	trajanje ciklusa
ZC	zadržavanje materijala
GI	gubici u procesu izrade
ON	neupotrebljivi obradci
OP	obradci za popravak
OU	gubici kod proizvodne (usuh)
KI	koeficijent iskorištenja
QU	ukupna ili ulazna količina materijala
QI	iskorištenje količine materijala
P	produktivnost
CAPEX	Capital Expenditure
ROI	Return on Investment
NPV	Net Present Value
IRR	Internal Rate of Return
TCO	Total Cost of Ownership
AHP	Analytic Hierarchy Process
B	širina
L	dužina
H	visina
V	volumenska produktivnost
M	metri

N	broj komada
VGOD	godišnji volumen
LCC	jedinični trošak po volumenu
NB	jedinična neto korist
A	raspoloživost stroja
EGOD	godišnja potrošnja energije stroja
PSR	prosječna radna snaga stroja
TRAD	godišnje vrijeme rada
CC	trošak električne energije
CM	troškovi održavanja
CT	obuka
CI	administracija
CS	zastoji i gubici
B	godišnje koristi (uštede + dodatni doprinos)
T	godišnji troškovi rada stroja (energija, održavanje, rad, potrošni materijal)
Λ_{max}	izračun najveće vlastite vrijednosti
T	tehničke karakteristike
Q	kvaliteta i preciznost obrade
F	fleksibilnost
Z	pouzdanost (MTBF/MTTR)
G	gospodarski kriteriji (LCC/TCO/ROI)
P	produktivnost
O	organizacijski kriteriji
C	ekološki i sigurnosni kriteriji
CI	indeks konzistentnosti
G	privredni kriterij
TPRIP	vrijeme pripreme i podešavanja (setup)
CJED	jedinični trošak proizvodnje
CF	fiksni troškovi
CV	varijabilni troškovi
QTEOR	teorijsko vrijeme rada stroja
OEE	ukupna efikasnost opreme

PREDGOVOR

Knjiga „Projektovanje drvnoindustrijskih pogona“ nastala je kao rezultat višegodišnjeg rada na obrazovanju studenata i praktičnom iskustvu u projektovanju objekata i proizvodnih sistema u oblasti drvne industrije. Namjera autora bila je da se na jasan, sistematičan i primjenjiv način predstave osnovni principi, metode i tehnički zahtjevi koji se odnose na planiranje i izgradnju drvoprerađivačkih kapaciteta – od osnovne dispozicije do detalja organizacije rada i tehnoloških tokova.

Poseban fokus stavljen je na tehničko-tehnološke aspekte koji čine osnovu svakog uspješnog projekta u drvnoj industriji, uključujući funkcionalno prostorno uređenje, racionalnu organizaciju procesa, optimizaciju tokova materijala i energije, te integraciju savremenih informacionih tehnologija u projektovanje. Knjiga također obrađuje ključne standarde i propise koji se moraju poštovati pri izgradnji savremenih pogona, uz uvažavanje principa održivog razvoja i sigurnosti na radu.

Knjiga je namijenjena prije svega studentima tehničkih fakulteta, a posebno će biti korištena u okviru nastave iz predmeta Projektovanje tehnoloških procesa u drvnoj industriji i Projektovanje drvnoindustrijskih preduzeća. Vjerujemo da će sadržaj pomoći studentima da steknu čvrste temelje za razumijevanje i rješavanje problema vezanih za projektovanje pogona i tehnoloških procesa u drvnoj industriji te ih pripremiti za uspješan profesionalni angažman u ovoj oblasti.

Također, knjiga može poslužiti kao praktičan vodič za inženjere, projektante i menadžere u drvnoj industriji koji se bave planiranjem novih ili modernizacijom postojećih kapaciteta jer nudi konkretna rješenja i primjere iz prakse.

Iskreno se nadamo da će ova publikacija doprinijeti razvoju stručnih znanja i vještina, te unaprijediti praksu projektovanja u sektoru koji ima veliki značaj za privredu i održivi razvoj.

U Bihaću, juni 2026. godine.

Autori



1. UVOD

Drvna industrija predstavlja temeljni segment prerade prirodnih resursa i važnu kariku u lancu održivog razvoja, posebno u zemljama bogatim šumskim fondom poput Bosne i Hercegovine. Kao spoj tradicionalnih vještina i savremenih tehnoloških rješenja, ova industrija zahtijeva stručno poznavanje materijala, ali i napredno planiranje i organizaciju proizvodnog procesa. Zbog toga projektovanje drvnoindustrijskih pogona zauzima centralno mjesto među inženjerskim disciplinama u sektoru prerade drveta.

Projektovanje pogona nije samo tehnički zadatak, već kompleksan proces koji obuhvata analizu sirovinske baze, izbor tehnologije, planiranje prostora, organizaciju tokova materijala i ljudi, kao i usklađivanje sa zakonodavnim, ekološkim i sigurnosnim zahtjevima. Kvalitetno projektno rješenje omogućava efikasnu i ekonomičnu proizvodnju, utiče na kvalitet finalnog proizvoda, sigurnost radnika i ukupnu konkurentnost preduzeća.

Ovaj uvod usmjeren je na sveobuhvatno predstavljanje metodologije planiranja i izgradnje pogona različitih kapaciteta i namjena od malih zanatskih radionica do velikih industrijskih postrojenja za primarnu i finalnu preradu drveta. U fokusu su tehnički parametri, funkcionalna rješenja, organizacija proizvodnog prostora, energetska efikasnost, ergonomija te primjena savremenih softverskih alata za projektovanje. Tekst je koncipiran tako da obuhvati ključne principe i standarde projektovanja

drvoprerađivačkih kapaciteta, uz oslanjanje na provjerene primjere dobre prakse. Obrađene su teme kao što su:

- principi odabira lokacije i dispozicije objekta,
- projektovanje tokova sirovine, poluproizvoda i gotovih proizvoda,
- organizacija proizvodnog procesa po vrstama proizvodnje
- normativi i standardi u projektovanju,
- primjena CAD/CAM sistema,
- mjere zaštite na radu i zaštite okoliša,
- i mnoge druge komponente koje čine savremen pogon funkcionalnim i održivim.

Knjiga je prvenstveno namijenjena studentima tehničkih fakulteta, naročito onima koji se obrazuju u oblasti drvne industrije i proizvodnog inženjeringa. Također, poslužit će i inženjerima, projektantima, investitorima, menadžerima proizvodnje i svima onima koji su uključeni u planiranje, modernizaciju ili izgradnju drvnoindustrijskih pogona.

Uvjereni smo da će ova knjiga doprinijeti boljem razumijevanju kompleksnosti projektovanja pogona u drvnoj industriji, kao i unaprjeđenju stručnog znanja i tehničke prakse u ovoj važnoj oblasti. Nadamo se da će čitaoci pronaći korisne smjernice, primjere i inspiraciju za dalji profesionalni razvoj i praktičnu primjenu u svojoj sredini.

S obzirom na raznolikost djelatnosti unutar drvne industrije, projektovanje pogona zahtijeva prilagođen pristup u zavisnosti od tipa prerade, stepena finalizacije proizvoda i specifičnih tehnoloških potreba. Drvnoindustrijski pogoni obuhvataju širok spektar proizvodnih kapaciteta, od primarne prerade trupaca do visoko finaliziranih proizvoda, poput namještaja i konstrukcijskih elemenata. Upravo zato je važno jasno razumjeti tipologiju pogona, njihovu funkcionalnu svrhu i osnovne projektantske zahtjeve koji se odnose na svaku kategoriju. U drvno-industrijske pogone spadaju svi proizvodni kapaciteti za preradu drveta od primarne proizvodnje , polufinalne i finalne i to su:

- pilane,
- tvornice drvenih podova,
- tvornice furnira i šperploča,
- tvornice panel ploča,
- tvornice iverica,
- tvornice vlaknatica,
- tvornice proizvoda za građevinarstvo,
- tvornice namještaja od furniranih ploča,
- tvornice namještaja od masivnog drveta,
- tvornice namještaja od savijenog drveta,
- tvornice ojastućenog namještaja,
- ostale manje stolarske radionice.

Svaka od ovih vrsta pogona zahtijeva specifičan pristup u fazi projektovanja, počevši od tehničko-tehnoloških rješenja, prostornog planiranja, do organizacije proizvodnog toka i izbora opreme.

Prilikom planiranja i projektovanja nove tvornice neophodno je provesti temeljitu analizu brojnih faktora kako bi se osigurala ekonomska opravdanost ulaganja, dugoročna održivost i funkcionalna efikasnost. U tom smislu, prilikom izrade projektnog zadatka neophodno je sistematski obraditi niz važnih elemenata koji će osigurati da budući pogon bude ekonomski opravdan, tehnološki funkcionalan i dugoročno održiv. Prvi korak podrazumijeva detaljnu analizu tržišta s ciljem definisanja ciljanih kupaca i procjene da li će se proizvod plasirati na domaće, strano ili oba tržišta. Paralelno s tim, treba razmotriti lokaciju planirane tvornice, uzimajući u obzir njen potencijalni utjecaj na okoliš, kao i dostupnost komunalne infrastrukture i prometnih veza.

Jedan od ključnih faktora je analiza sirovinske baze, potrebno je utvrditi da li su u neposrednoj ili prihvatljivo udaljenoj okolini dostupne dovoljne količine sirovine odgovarajuće kvalitete i po konkurentnoj cijeni. Također, treba istražiti mogućnosti opskrbe kvalifikovanom radnom snagom, jer ljudski resursi imaju izravan utjecaj na kontinuitet i kvalitetu proizvodnje.

Nezaobilazna je i procjena mogućnosti pouzdane opskrbe energijom, posebno ako se planira korištenje energetski zahtjevnih tehnologija.

Na osnovu prethodnih analiza donosi se odluka o strukturi proizvodnog programa, definišu se vrste proizvoda koje će se izrađivati, njihove količine i ciljani kvalitet. U skladu s tim odabire se odgovarajući tehnološki proces, a zatim slijedi izbor adekvatnih strojeva i opreme koji mogu podržati planirane kapacitete i kvalitet izrade. Nakon toga izrađuje se funkcionalan i racionalan raspored proizvodnih jedinica u prostoru, čime se optimizuju tokovi materijala i radne snage.

Završna faza planiranja podrazumijeva izradu sveobuhvatne finansijske analize, koja uključuje preciznu procjenu ukupnih investicionih troškova – od nabavke zemljišta, izgradnje objekta i instalacije opreme, do troškova administracije, dozvola i eventualne obuke osoblja.

Istovremeno, izračunavaju se i operativni troškovi proizvodnje, koji obuhvataju troškove sirovina, energenata, radne snage, održavanja, ambalaže, transporta i drugih varijabilnih i fiksnih izdataka koji nastaju tokom redovnog rada pogona. Posebno je važno uzeti u obzir i troškove amortizacije opreme, kao i potencijalne rizike i rezerve koji mogu uticati na likvidnost i finansijsku stabilnost u ranim fazama poslovanja.

Nakon toga slijedi analiza isplativosti planirane investicije, kojom se procjenjuje odnos između očekivanih troškova i prihoda, uzimajući u obzir tržišne prilike, konkurenciju, projekcije prodaje i dinamiku povrata uloženih sredstava. Ova analiza ne samo da daje uvid u ekonomsku opravdanost projekta, već omogućava i donošenje strateških odluka o mogućem obimu ulaganja, strukturi finansiranja i prioritetima razvoja.

Kroz metode poput analize tačke pokrića, neto sadašnje vrijednosti (NPV), interne stope rentabilnosti (IRR) i perioda povrata investicije, menadžment i investitori dobijaju jasnu sliku o finansijskoj atraktivnosti projekta.

Sve navedene aktivnosti predstavljaju temelj za izradu kvalitetnog tehničkog rješenja koje vodi ka efikasnom, sigurnom i ekonomski održivom



10. OPTIMIZACIJA LAYOUTA KOD PROŠIRENJA PROIZVODNIH KAPACITETA (PRIMJER)

Ovaj primjer ilustruje proces projektovanja layouta za već trenutnu proizvodnju koja se bavi primarnom i finalnom preradom drveta, a zbog modernizacije procesa.

a. Problemska situacija i motivacija

Osnovni izazov predstavljenog primjera je nedostatak prostora jer su se dva ključna odjela, proizvodnja ploča i finalna obrada namještaja nalazile u zajedničkom objektu površine cca 780 m². Ovakva postavka mašina uzrokuje:

- Ukrštanje puteva materijala,
- Otežanu manipulaciju teškim elementima,
- Nemogućnost instalacije nove, modernije opreme.



Slika 10.1. Prikaz trenutnog stanja firme

Strateško rješenje - Razdvajanje procesa

Projektni zadatak je predvidio izgradnju novog namjenskog objekta površine 1750 m² isključivo za liniju masivnih ploča. Na taj način bi se oslobodio postojeći prostor koji se rekonfguiriše isključivo za potrebe finalne obrade.



Slika 10.2. Prijedlog izgradnje novog objekta

b. Kriteriji za projektovanje novog rasporeda (Layouta)

Prilikom izrade rješenja, fokus ne treba biti samo na smještaju mašina, već na postizanju sljedećih parametara:

- **Linearni protok:** Postavljanje ključnih mašina (formatizer, blanjalice) u liniju povezanu transporterima kako bi se minimizirao fizički rad radnika.
- **Smanjenje internog transporta:** Pozicioniranje prese (npr. VF presa) direktno na izlazima iz primarne obrade kako bi se skratili putevi poluproizvoda.
- **Integracija skladišnih zona:** Definisanje jasnih zona za "Lager daske" na ulazu i "Lager ploče" na izlazu, čime se sprečava gomilanje zaliha unutar procesa.
- **Nadzor i ergonomija:** Postavljanje upravljačkih jedinica (kancelarija poslovođe) i sanitarnih čvorova na centralne pozicije kako bi bili podjednako dostupni svim učesnicima u procesu.

c. Metodologija izbora rješenja

Kroz proces projektovanja potrebno je praviti više varijanti (koncepata), a finalni izbor se određuje na osnovu kvantitativnog ocjenjivanja dužine transportnih puteva i protočnosti. Takav pristup osigurava da layout nije samo "raspored mašina", već optimizovan logistički sistem spreman za buduća proširenja.

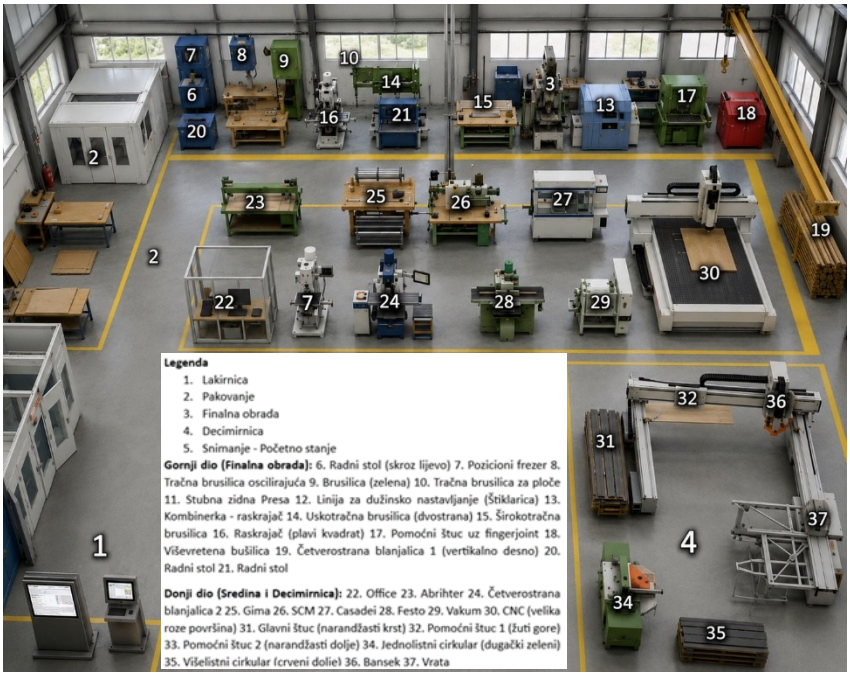
Analiza zatečenog stanja i prostornih ograničenja

Prvi korak u procesu projektovanja novog layouta obuhvata detaljnu analizu trenutne organizacije prostora i proizvodnih kapaciteta. U posmatranom proizvodnom sistemu (primjer), zapaža se neadekvatna prostorna konfiguracija gdje su dva ključna, a tehnološki različita odjela, izrada lameliranih ploča i finalna obrada namještaja, smještena unutar zajedničkog objekta površine od cca 780 $m^{2.}$

Dodatnu usitnjenost procesa potvrđuje činjenica da je primarna priprema materijala (**decimirnica**) prostorno izmještena u zaseban objekat površine od **235 m²**. Takva organizacija rezultira sljedećim negativnim efektima:

- **Logistička neefikasnost:** Usitnjenost pogona uzrokuje duge i isprekidane transportne puteve između primarne obrade i odjela za sastavljanje ploča.
- **Prostorno zagušenje:** Unutar iste hale odvija se priprema elemenata, ljepljenje ploča i finalno lakiranje/sklapanje što onemogućava optimizaciju toka materijala.
- **Ograničen razvoj:** Trenutna kvadratura i raspored ne dozvoljavaju instalaciju savremene linijske opreme koja bi osigurala veći stepen automatizacije.

Definisanjem ovih ograničenja, projektni zadatak ima za prioritet na **decentralizaciju procesa** kroz izgradnju novog namjenskog objekta, čime se stvara osnov za primjenu principa protočne izrade.



Slika 10.3. Prikaz trenutnog rasporeda prostora i opreme

d. Razvoj i selekcija konceptualnih rješenja

Nakon analize postojećeg stanja, generira se niz varijantnih rješenja koja zadovoljavaju prethodno definirane tehničke, logističke i proizvodne kriterije. Iz šireg spektra idejnih prijedloga izdvojaju se najbolja ključna konceptualna rješenja, koja se detaljno razrađuju i prezentiraju za evaluaciju.

Proces **selekcije optimalnog rješenja** sprovedi se kroz evaluaciju stručnih timova, pri čemu se svaki koncept analizira prema sljedećim parametrima:

- Dužina transportnih puteva

Primarni kriterij je minimizacija kretanja materijala kroz proizvodnu halu, radi smanjenja troškova transporta i vremena manipulacije poluproizvodima.

- Povezanost tehnoloških cjelina

Ocjenjuje se stepen automatizacije i povezanosti mašina, uključujući formatizere, blanjalice i linije za finger joint uz korištenje transportera i sistema manipulacije materijalom.

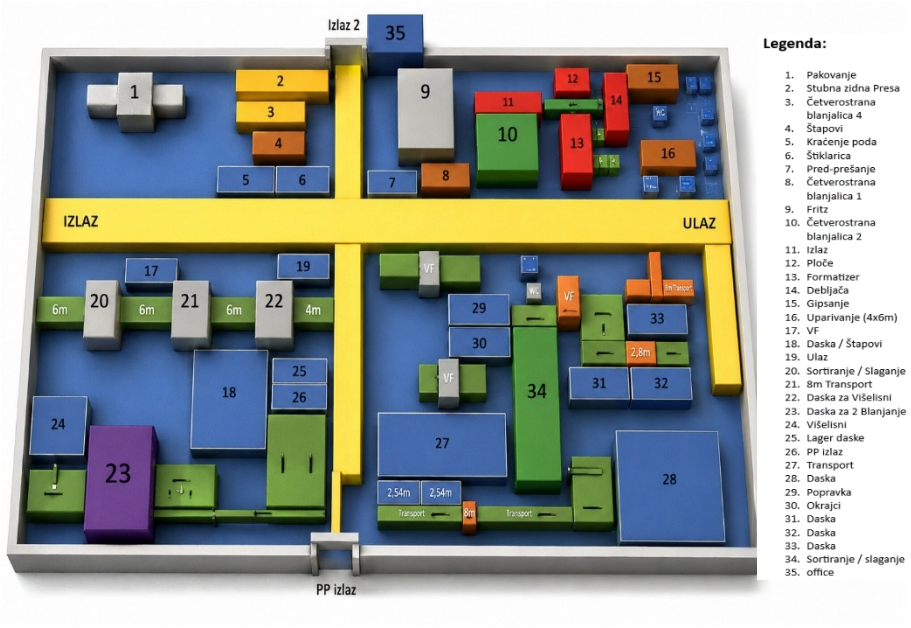
- Iskorištenost prostora

Posebna pažnja posvećuje se postavci decimirnice, finger joint linije, presa i odjela pakovanja kako bi se maksimalno iskoristila površina hale i osigurao nesmetan protok materijala.

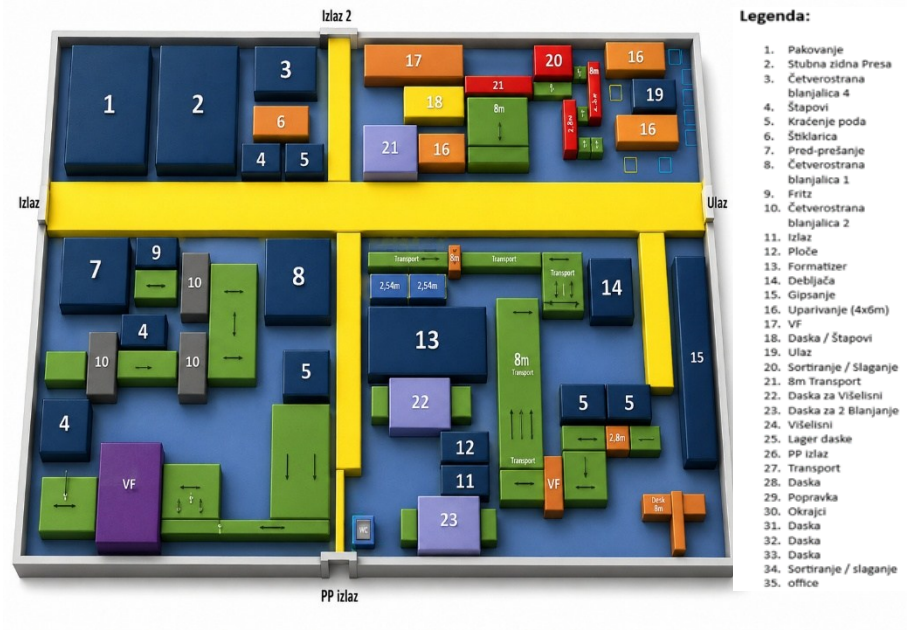
- Fleksibilnost

Procijenjuje se mogućnost naknadnog uvođenja novih proizvodnih kapaciteta i linija, uz minimalan utjecaj na postojeći proces i protok materijala.

Na osnovu evaluacije, odabire se **konceptualno rješenje koje osigurava najefikasniji protok robe, optimalnu iskorištenost prostora i najbolju ergonomiju radnog mjesta**, uz potencijal za dugoročnu fleksibilnost i povećanje ukupne efikasnosti proizvodnog procesa.



Slika 10.4. Konceptualno rješenje 1



Slika 10.5. Konceptualno rješenje 2

Koncept 1 proizvodnog prostora baziran je na transportnim putevima koji se protežu po dužini i širini hale, uz četiri odvojena pododjela: Decimirnica, Finger joint, Presa i Pakovanje. Decimirnica je pozicionirana tako da joj je dodijeljen najveći prostor, s ciljem optimalne postavke mašina i transportera, kako bi prostor bio maksimalno iskorišten uz omogućavanje lakog pristupa opremi.

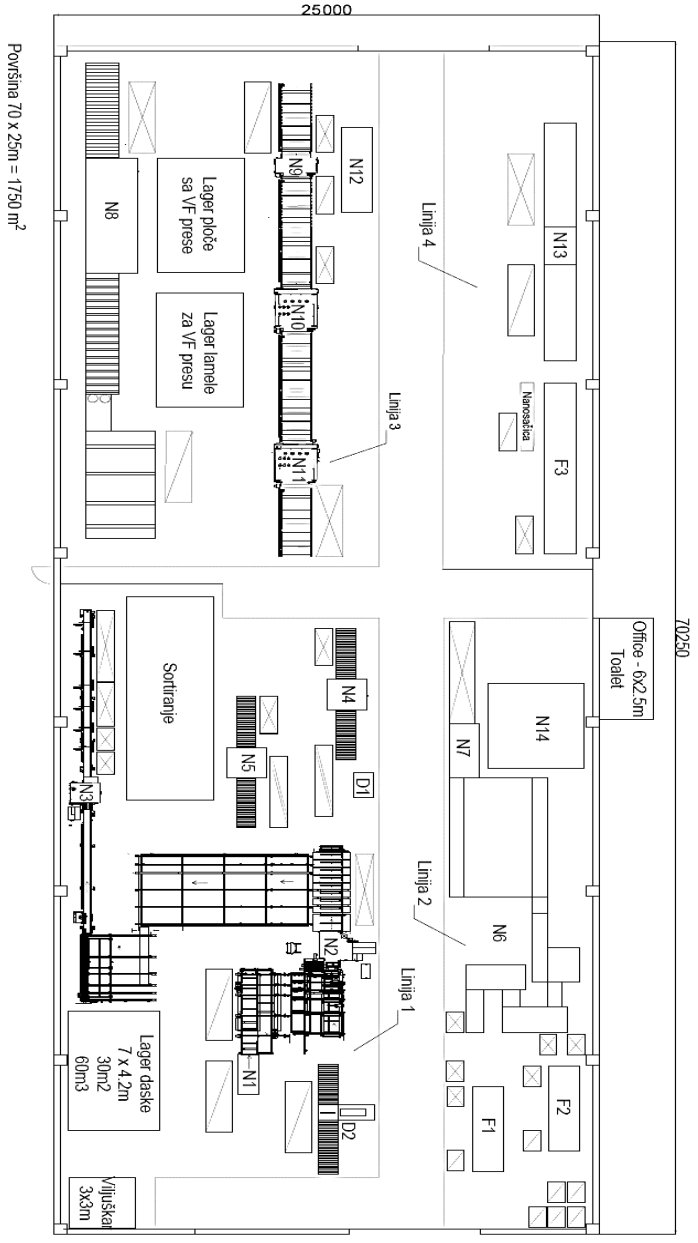
Na višelisnom cirkularu osim dasaka moguće je obrađivati i ploče manjeg formata, što omogućava fleksibilnost u proizvodnji različitih elemenata namještaja. VF presa je smještena na izlazu iz Decimirnice i Finger joint-a kako bi se skratili transportni putevi materijala.

Formatizer i dvije jednostrane blanjalice/debljače postavljene su u liniji i povezane transporterima, čime je osiguran brz protok materijala i smanjena fizička manipulacija, posebno kod teških ploča. Pojedine ploče mogu se odmah nakon formatiziranja ukloniti sa transportera radi dodatne obrade ili pakovanja.

Sekcija za popravku i pakovanje pozicionirana je u neposrednoj blizini izlaza sa debljače, čime se dodatno skraćuje put materijala. Toalet je smješten na izlazu prema rijeci/nadstrešnici, na centralnoj poziciji dužine hale, kako bi bio podjednako dostupan svim radnicima. Iznad toaleta nalazi se kancelarija poslovođe, osiguravajući nadzor nad svim procesima i radnicima unutar proizvodnog prostora.

Koncept 2 proizvodnog prostora zasnovan je na transportnim putevima koji se protežu po dužini i širini hale, uz četiri odvojena pododjela: **Decimirnica, zupčasti spoj (Finger joint), Presa i Pakovanje**. Decimirnici je dodijeljen najveći prostor kako bi postavka mašina i transportera bila optimalna, s ciljem maksimalnog iskorištavanja prostora.

Uzimajući u obzir sve prednosti, u ovom primjeru usvojen je **koncept 1** na osnovu kojeg se izrađuje finalno rješenje layouta. Na odabranom konceptualnom rješenju uzimaju se u obzir sve zahtijevane izmjene, te se izrađuje konačni layout proizvodnog prostora, prikazan na slici 9.4.



Slika 10.6. Finalno rješenje rasporeda opreme i procesa

PREGLED TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA I RASPOREDA STROJEVA

Prilog: Specifikacija tehnološke opreme primarnog i finalnog pogona prerade drva

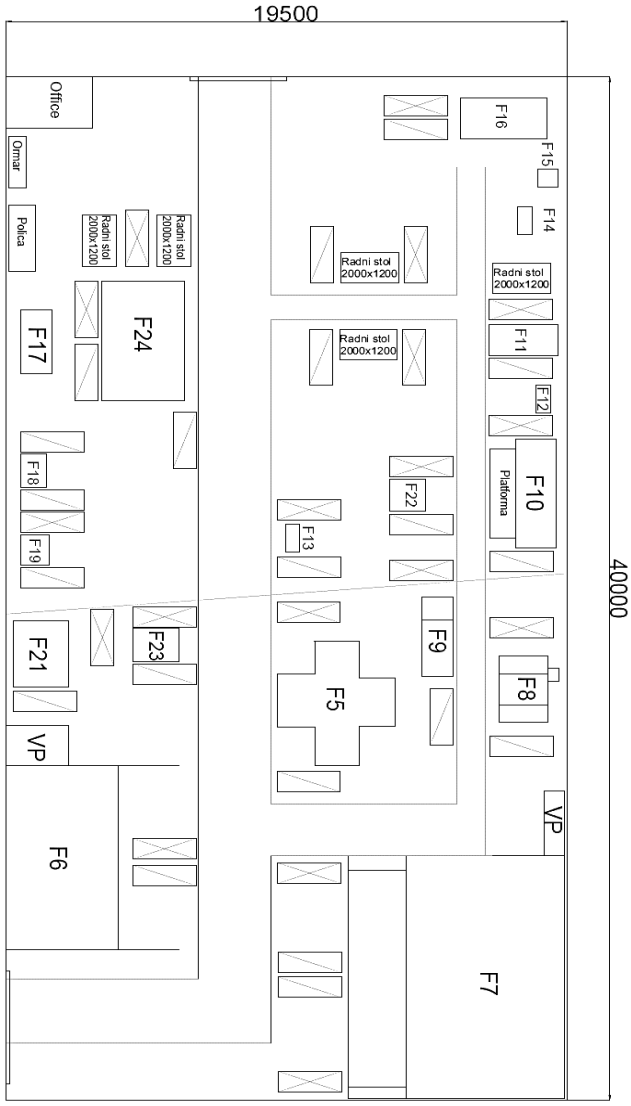
Rb	Šifra	Naziv stroja	Opis / Model stroja	Trenutna lokacija	Tehnički opis stroja				Kapacitet (m/min)			Dimenzije AxB (mm)		Tip sirovine		Transport	
					Snaga (kW)	Dužina (mm)	Širina (mm)	Visina (mm)	Min	Opt	Max	Ulaz	Izlaz	Ulaz	Izlaz	Ulaz	Izlaz
1	**D1**	Bansek	Klasična paralica	Decimirnica	5.5	1500	900	2550	3	4	6	1200x1000	1200x1000	Prerada	Cink elm. C.E.	Vilj+Pal	Vilj+Pal
2	**D2**	Štuc glavni	Hidraulični	Decimirnica	9.0	8000	2600	1550	5	7	10	4500x1100	4500x1100	Daska	Daska+prer.	Viljuškar	Vilj+Pal
3	**F1**	Blanjalica 4-strana 1	6 glava	Finalna	ap. 30	5000	1400	1500	3	7	12	3500x1000	3500x1000	Elem.(nebl)	Elem.(blanj)	Vilj+Pal	Vilj+Pal
4	**F2**	Blanjalica 4-strana 2	6 glava	Finalna	ap. 30	4900	1200	1500	3	7	12	3500x1000	3500x1000	Štap	Lamela	Vilj+Pal	Vilj+Pal
5	**F3**	Zidna presa	Zidna presa (stubna)	Finalna	ap. 15	10500	1500	3000	3 m^3	5 m^3	7 m^3	6000x1300	6000x1300	Lamela	Ploča	Vilj+Pal	Vilj+Pal
6	**N1**	Dvostrana blanjalica	Priprema za višelisni (početak linije) GT-610AD	Novo	30	2700	1200	1750	8	16	24	4500x800	4500x800	Daska(nebl)	Daska(bl)	Viljuškar	Valjkasti
7	**N2**	Glavni višelisni cirkular	MRS 450 M	Novo	ap. 80	6600	3900	ap. 1300	5	20	40	4500x800	4500x800	Daska	Elem/Lamel.	Viljuškar	Valjkasti
8	**N3**	Optimizer	CFS 200 AB	Novo	15	ap. do 25000	ap. 1800	ap. 1800	50	100	200	4500x800	4500x800	Element(dugi)	Element(kratki)	Trakasti	Vilj+Pal
9	**N4**	Jednolisni cirkular	Jednolisni pomoćni cirkular SRS 330	Novo	ap. 15	ap. 2500	ap. 1100	ap. 1500	10	20	30	4500x800	4500x800	Daska(neokr)	Daska(okraj)	Valjkasti	Vilj+Pal
10	**N5**	Manji višelisni cirkular	Manji višelisni MRS 12	Novo	25-40	ap. 1500	ap. 1500	ap. 1600	7	15	30	1200x800	1200x800	Provjeriti	Provjeriti	Provjeriti	Provjeriti
11	**N6**	FJ linija	CKM FL 18-650	Novo	ap. 40	14760	5200	ap. 1300	?	3 takta/ min	?	1200x800	6000x800	FJ elementi	FJ štapovi	Vilj+Pal	Vilj+Pal
12	**N7**	Blanjalica 4-strana super 4	6 glava	Novo	ap. 40	3000	1400	1500	3	7	12	2200x800	2200x800	Element(nebl)	Element(blanj)	Vilj+Pal	Vilj+Pal
13	**N8**	VF presa	VF presa KF-60	Novo	ap. 60	7800	2840	920	?	1 m2/min	?	4500x800	4500x1100	Lamele	Ploče	Vilj+Pal	Vilj+Pal
14	**N9**	Formatizer	Formatiranje ploča	Novo	ap. 60	3000	3000	ap. 1800	2	5	10	4500x1100	4500x1100	Ploča	Ploča	Vilj+Pal	Valjkasti
15	**N10**	Kontaktna brusilica top	Ravnanje ploča po debljini	Novo	70	3000	2000	2500	1	8	19	4500x1100	4500x1100	Ploča	Ploča	Valjkasti	Vilj+Pal
16	**N11**	Kontaktna brusilica bottom	Ravnanje ploča po debljini	Novo	70	3000	2000	2500	1	8	19	4500x1100	4500x1100	Ploča	Ploča	Valjkasti	Vilj+Pal
17	**N12**	Blanjalica 4-strana nova 3	6 glava	Novo	ap. 40	3000	1400	1500	3	7	12	2200x800	2200x800	Štap	Lamela	Vilj+Pal	Vilj+Pal
18	**N13**	Mašina za pakovanje	Pakovanje	Novo	ap. 20	14000	1500	1500	3	7	12	4500x1200	4500x1200	Ploča	Ploča	Vilj+Pal	Vilj+Pal
19	**N14**	Mašina za kraćenje poda	Dvostrani štuc, tiplarica	Postojeća	ap. 10	4000	4000	2000	?	?	?	2200x800	2200x800	Daska	Element	Vilj+Pal	Vilj+Pal

Nakon definisanja opreme i mašina koje se prebacuju u novu halu te opreme i mašina koje se prodaju ili uklanjaju iz hale finalne proizvodnje, pristupa se detaljnoj izradi layouta hale za finalnu proizvodnju. Sve postojeće mašine i oprema koja ostaje u hali, kao i nove mašine i oprema planirane za nabavku, unesu se u tabelu „Popis mašina za odjel ploča i finalne obrade“, pri čemu su mašinama dodijele šifre prikazane na crtežu layouta. Novi layout dizajniran je uzimajući u obzir fiksne pozicije lakirnice, CNC mašine Morbidelli i fiksnog dijela hale. Na slici 9.8. prikazan je prijedlog konceptualnog rješenja, koji je usvojen kao finalno rješenje.



Slika 10.7. Usvojeno konceptulano rješenje rasporeda opreme i procesa za halu finalne obrade

Na odabranom konceptualnom rješenju uvažene su sve zahtijevane izmjene te je izrađen konačni izgled layouta, koji je prikazan na slici 4.9. (tehnički crtež u Prilogu).



Slika 10.8. Finalno rješenje rasporeda opreme i procesa za halu finalne obrade

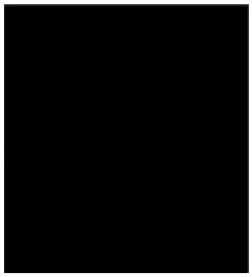
PREGLED TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA - FINALNA OBRADA

Prilog: Specifikacija tehnološke opreme i strojeva u odjelu finalne obrade drva

Rb	Šifra	Naziv stroja	Opis / Model stroja	Sadašnja lokacija	Premještanje u novu halu?	Tehnički opis stroja				
						Odsis fi (mm)	Snaga (kW)	Dužina (mm)	Širina (mm)	Visina (mm)
1	F4	Štuc uz FJ mašinu	Pomoćni štuc uz FJ mašinu za korekcije	Finalna	-	ap. 80	2	3000	900	0
2	F5	Raskrajač sa kolicima	SCM	Finalna	-	120 + 80	6	5000	4100	0
3	F6	CNC 5-osni - Morbideli	SCM	Finalna	-	ap. 300	35	7400	6000	0
4	F7	CNC 5-osni - Pade	Pade	Finalna	-	ap. 300	45	7400	6000	0
5	F8	Brusilica širokotračna	Za brušenje ploča	Finalna	-	150 x 2 + 200	50	2700	1700	2200
6	F9	Brusilica uskotračna	Za elemente i uže ploče	Finalna	-	80 x 12	30	2700	1200	2200
7	F10	Tračna brusilica	Stolarska (za ploče)	Finalna	-	150 x 2 + 130	3	4400	1400	1600
8	F11	Oscilirajuća brusilica	Stolarska	Finalna	-	200	3	2400	1200	1000
9	F12	Četkara	Stolarska za kantove	Finalna	-	150	3	1100	500	1000
10	F13	Podstolni frezer	Stolarska	Finalna	-	ap. 50	1	1000	500	800
11	F14	Ger - potezni štuc DeWalt	Kombinerka	-	Da	160	3	2100	1800	800
12	F15	Mala presa	Stolarska	Finalna	-	-	-	700	700	2000
13	F16	Velika ram presa - dvostrana	Stolarska	Finalna	-	-	-	3000	1600	2000
14	F17	Abrihter Martin	Stolarska	Finalna	-	ap. 150	3	2500	1100	800
15	F18	Gima tek	Stolarska	Finalna	-	ap. 150	3	1300	900	1500
16	F19	Mala visevretena busilica SCM	Stolarska	Finalna	-	ap. 100	3	1200	1000	800
17	F20	Kombinerka Robland	Stolarska	Finalna	Izbacuje se	160	3	2100	1800	800
18	F21	Festo stuc i frezer	Stolarska	Finalna	Izbacuje se	ap. 100	6	2600	1900	2000
19	F22	Frezer SAC	Stolarska	Finalna	-	ap. 150	3	1250	1200	1000
20	F23	Nadstolna busilica Casadei	Stolarska	Finalna	-	ap. 100	3	1300	1600	2000
21	F24	Kontaktna brusilica za temelj	Za brušenje temelja	Nova	Da	-	18	4660	2280	2230

Nakon razmatranja više idejnih rješenja, dolazi se do optimalnog rješenja layouta moderne i efikasne proizvodne hale za izradu dužinsko-širinskih ploča, koje u potpunosti zadovoljava potrebe planiranih kapaciteta, kao i relevantne savremene industrijske standarde.





LITERATURA

1. Black, J. T., & Kohser, R. A. (2017). DeGarmo's materials and processes in manufacturing (12th ed., Global Edition, SI Version). Wiley.
2. Bortolotti, T., & Romano, P. (2012). Lean strategy for sustainable business development.
3. Christopher, M. (2016). Logistics & supply chain management (5th ed.). Pearson. https://www.pearson.com/store/p/logistics-and-supply-chain-management/P100000317004
4. Cooper, T. (2010). Longer lasting products: Alternatives to the throwaway society. Farnham, UK: Gower Publishing.
5. DIN EN 61508 – Functional safety of control systems.
6. ElMaraghy, H. A. (2005). Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms. International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 17(4), 261–276. https://doi.org/10.1007/s10696-006-9028-7
7. Eurostat, FAO, Ecoinvent. (2022). LCA podaci i industrijska statistika.
8. Groover, M. P. (2002). Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing (2nd ed.). Pearson Education – Prentice Hall. https://doi.org/10.1108/aa.2002.22.3.298.2
9. Groover, M. P. (2019). Automation, production systems, and CIM. Pearson.
10. Groover, M. P. (2019). Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems (7th ed.). Wiley.
11. Heizer, J., & Render, B. (2017). Operations management: Sustainability and supply chain management (12th ed.). Pearson.
12. Henkenjohann, M., Joppen, R., Köchling, D., von Enzberg, S., Kühn, A., & Dumitrescu, R. (2021). Identification and specification of standard modules in production for a material flow simulation. Procedia CIRP, 99, 214–219. https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.03.004
13. HOMAG Group. (2023). Tapio & maintenance reports.

14. IEC 62264 (ISA-95) – Enterprise–Control System Integration.
15. ISO 14001:2015 – Environmental management systems.
16. ISO 15686 – Life Cycle Costing.
17. ISO 22400 – KPIs for manufacturing operations management.
18. ISO 50001:2018 – Energy management systems.
19. ISO 55000:2014 – Asset management.
20. ISO 9000:2015 – Quality management systems – Fundamentals and vocabulary. International Organization for Standardization. https://www.iso.org/standard/45481.html
21. ISO 9001:2015 – Quality management systems.
22. Ishizaka, A., & Labib, A. (2011). Review of the analytic hierarchy process in the decision-making literature. Expert Systems with Applications.
23. Jašarević, S., Brdarević, S., & Isaković, S. (2020). Upravljanje proizvodnjom. Politehnički fakultet, Univerzitet u Zenici. https://suvadisakovic.ba/knjige/upravljanje_proizvodnjom.pdf
24. Jambreković, V. (2021). Drvna industrija – opći opis i tehnološki procesi prerade drva. Hrvatska tehnička enciklopedija.
25. Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). Juran's quality handbook (5th ed.). McGraw-Hill. https://www.mhprofessional.com/9780070340034-usa-jurans-quality-handbook-fifth-edition-group
26. Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2014). Manufacturing processes for engineering materials (6th ed.). Pearson.
27. Kalpić, D., & Lovrić, M. (2014). Proizvodni sustavi. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
28. Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. acatech – National Academy of Science and Engineering. https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0/
29. Koren, Y. (2010). The global manufacturing revolution: Product-process-business integration and reconfigurable systems. Wiley.
30. Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance. Elsevier.
31. Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM. Productivity Press.
32. Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). Engineering industrial work measurement. McGraw-Hill.
33. OECD. (2017). Extended producer responsibility and product lifetime. Paris: OECD Publishing.
34. Oakland, J. S. (2014). Total quality management and operational excellence (4th ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315766922
35. Packard, V. (1960). The waste makers. David McKay Company.
36. Ranky, P. G. (2013). Computer integrated manufacturing. Prentice Hall.

37. Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jordan, B. D. (2021). Fundamentals of corporate finance. McGraw-Hill.
38. Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. McGraw-Hill.
39. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. IJSSCI.
40. SCM Group. (2024). Technical catalogues and energy reports.
41. Sethi, A. K., & Sethi, S. P. (1990). Flexibility in manufacturing: A survey. International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 2(4), 289–328. https://doi.org/10.1007/BF00186471
42. Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). Operations management (6th ed.). Pearson Education. https://www.pearson.com/store/p/operations-management/P100000244860
43. Tehnički katalozi proizvođača SCM Group, Homag, Biesse, Felder (2020–2024).
44. Tsoumis, G. (1991). Science and technology of wood. Van Nostrand Reinhold.
45. Walker, J. C. F. (2006). Primary wood processing. Springer.
46. Wiendahl, H.-P. (2014). Production systems – planning, design, and control. Springer.
47. Štajduhar, M. (2021). Energija i održivost u drvnoj industriji. Šumarski fakultet, Zagreb.
48. https://www.primultini.com/en/band-saw-headrigs/traditional-headrigs/band-saw-headrig-sgf-shf/.
49. Zubčević, R. (1998). Mašine za obradu drveta . Mašinski fakultet Sarajevo
50. Bjelić, A. (2025). Optimizacija nekih parametara obradivosti masivnog drveta u procesu blanjanja. Doktorska disertacija,Tehnićki fakultet Bihać.
51. Kršljak. B. (2013). Mašine i alati za obradu drveta I. Šumarski fakultet Beograd.
52. Goglia. V. (1994). Strojevi I alati za obradu drveta. Šumarski fakultet Zagreb
53. Porankiewicz, B., Giacomo, G. (2014). Cutting forces by oak and douglas fir machining. Maderas, Ciencia y tecnologia 16(2), 199-216.
54. www.leitz.org - Leitz Lexicon 7.
55. www.weinig.com. Prospekt “Sve o alatu”.
56. Kršljak. B. (2013). Mašine i alati za obradu drveta II. Šumarski fakultet Beograd.
57. Kršljak. B. (2013). Mašine i alati za obradu drveta III. Šumarski fakultet Beograd.
58. Đurković, D. M. (2019). Mašine i alati za obradu drveta – Priručnik za vežbe sa zbirkom zadataka. Šumarski fakultet Beograd.
59. Zubčević, R. (1988). Mašine za obradu drveta-Teorija rezanja drveta . Mašinski fakultet Sarajevo.

60. Stephenson, A. David., Agapiou, S. John. (2016). Metal cutting theory and practice. Third edition. Taylor&Francis group.
61. Boothroyd, G., Knight, A.W. (1989). Fundamentals of machining and machine tools. Second edition. Marcel Deckker, Inc.
62. www.weinigbih.com, Lignopro d.o.o, zastupnik, direktna komunikacija, katalozi.
63. www.semsoluzioni.com