

Detekcija grešaka drva u funkciji sustava automatske proizvodnje elemenata

LUMBER DEFECT DETECTION AS AN ELEMENT OF AUTOMATED ELEMENTS PRODUCTION

Mr. **Krešimir Babunović**, dipl. ing.
Šumarski fakultet, Zagreb

UDK 630*852

Prispjelo: 5. listopada 1992.
Prihvaćeno: 21. listopada 1992.

Stručni rad

S a ž e t a k

Sustav automatske detekcije grešaka drva od vitalnog je značenja za buduću proizvodnju piljenih drvnih elemenata. Takav sustav automatske detekcije grešaka drva mora biti dovoljno osjetljiv na vanjske i unutarnje karakteristike drva i upotrebljiv u industrijskim uvjetima.

Ovaj rad predstavlja pregled metoda za detektiranje grešaka drva, od kojih je svaka ukratko opisana. To su optička metoda, metoda ultrazvuka, metoda mikrovalova, metoda X-zraka i neutronska metoda. U radu su ujedno opisane i metode detekcije grešaka drva u današnjim suvremenim industrijskim uvjetima.

Ključne riječi: detekcija grešaka drva — krojenje piljenica — proizvodnja elemenata.

S u m m a r y

The system of automated lumber defect detection is of crucial importance for a future system of automated element production. The defect detection system must be sensitive to changes in external and internal qualities of lumber and capable of operating under plant conditions.

This paper defines and classifies lumber defects, specifies the requirements for an automated defect detection system and briefly describes various detection methods (optical, ultrasonic, microwave, X-ray and neutron method). The study also describes lumber defect detection methods in today's plant conditions.

Key words: Lumber defect detection — board cutting — element production.

1. UVOD

Pilanska je proizvodnja oduvijek proizvodila svoje proizvode uglavnom kao poludovršene. Za pilanu je njen proizvod, gotov proizvod. Međutim, gledajući šire, u čitavom nizu tehnologija, od sirovine do gotovog finalnog proizvoda, pilanski su proizvodi uglavnom poludovršeni. Time se želi naglasiti da se većina tih proizvoda prerađuje u gotov konačni proizvod, u pogonima finalne prerade. Novija je pilanska tehnologija u našim uvjetima napustila proizvodnju standardnih piljenica u većim količinama i organizirana je u smislu proizvodnje specificiranih proizvoda, tzv. piljenih drvnih elemenata za određene gotove finalne proizvode.

Za pilansku proizvodnju značajni su elementi od masivnog drva, dakle piljeni drveni elementi. Piljeni drveni elementi su, prema tome, proizvodi od masivnog drva izrađeni namjenski, s točno specificiranim dimenzijama, kvalitetom, načinom i stupnjem obrade, uključujući tu i hidrotermičku obradu [3].

Problematika proizvodnje piljenih elemenata, u današnje vrijeme, zahtijeva sve više upotrebu elektronskih računala u proizvodnom sustavu. Sve nepovoljnija sirovinaska baza i nedostatak (deficitarnost) prikladnih drvnih sortimenata s jedne, te potreba za bržim rješenjima s druge strane, uvjetuju uvođenje novih sustava za proizvodnju elemenata.

Razvoj elektronske industrije u velikoj je mjeri omogućio optimizaciju tehnoloških procesa u tehnologiji masivnog drva. Takvo unapređenje pilanske prerade nesumnjivo već nalazi veliku primjenu u poboljšanju iskorišćenja drvne mase.

2. SUSTAV AUTOMATSKE PROIZVODNJE ELEMENATA

Proizvodnja elemenata složen je proces, kako u organizacijskom, tako i u tehnološkom smislu. S tim u vezi, potrebno je razraditi odgovarajuću pripremno-organizacijsku podršku u smislu odgovarajućeg software-a. Takva bi programska podrška morala osigurati kvalitetnu komunikaciju među pojedinim dijelovima sustava.

Cijeli sustav automatske proizvodnje elemenata morao bi se sastojati od slijedećih osnovnih dijelova:

1. Sustav automatskog lociranja i identifikacije grešaka na površini piljenice,
2. Optimizacija krojenja piljenice kompjuterskom simulacijom,
3. Sustav strojeva, alata i odgovarajućih transportera koji bi mogao zadovoljiti postavljene mu zadatke,
4. Programaska podrška u pripremno-organizacijskom smislu.

Ako se ima u vidu da se proizvodnja elemenata s obzirom na hidrotermičku obradu (sušenje) obavlja u jednofaznom ili dvofaznom postupku, sustav automatske proizvodnje elemenata ovisan je jedino o mogućnosti detekcije grešaka drva s obzirom na sadržaj vode u drvu, odnosno smeta li mu vlaga drva ili ne.

3. AUTOMATSKA DETEKCIJA GREŠAKA DRVA

Stalan porast cijene sirovine u proizvodnji piljene građe uvjetovao je i interdisciplinarna istraživanja radi povećanja kvalitete piljene građe. Takva su istraživanja našla svoju primjenu u proizvodnji građevne stolarije, u smislu lijepljenog

drva, lameliranog drva i u proizvodnji specijalnih proizvoda od drva. Osim toga, finalna industrija masivnog drva kao sirovinu upotrebljava najčešće piljene drvene elemente.

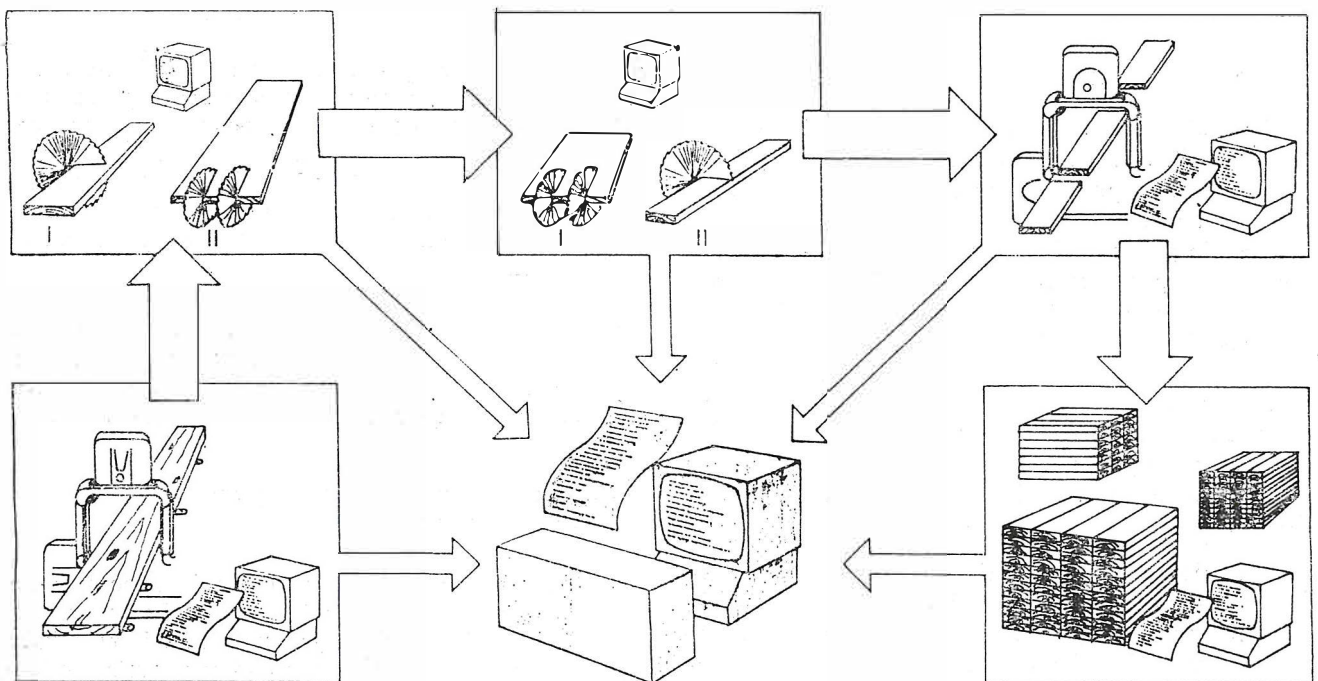
Sustav automatske izrade elemenata mora sadržavati i automatsku detekciju grešaka piljene građe. Generalizirano, sustav automatske detekcije grešaka, mora se sastojati od uočavanja grešaka, raspoznavanja grešaka, određivanja veličine i pozicije svake greške piljenice.

Sustav automatske detekcije grešaka [16] sadrži:

1. Pogodne i pouzdane operacije,
2. Skaniranje dovoljno osjetljivo na vanjske i unutarnje karakteristike drva,
3. Prikladnost u industrijskim uvjetima,
4. Adekvatnu zaštitu od zračenja.

Danas u načelu postoji nekoliko metoda za detekciju grešaka drva. To su optička metoda, metoda ultrazvuka, metoda mikrovalova, metoda X-zraka i neutronska metoda.

Svaka od ovih metoda ima svoje prednosti i nedostatke. Najčešći je prigovor metodama detekcije grešaka drva, pored visoke cijene koštanja, nemogućnost detekcija pojedinih grešaka i njihova raspoznavanja. U tablici 1. prikazane su mogućnosti detekcije pojedinih metoda detekcije grešaka drva u odnosu na različite greške drva.



Slika 1. Principijelna shema sistema za automatsku proizvodnju elemenata (Babunović, K., 1990. [1])

Fig. 1. Basic layout of the system for automated element production (Babunović, K., 1990. [1])

USPOREDBA NEKIH METODA DETEKCIJE GREŠAKA DRVA S
OBZIROM NA MOGUĆNOST DETEKCIJE POJEDINIH GREŠAKA
(Szymany, R., McDonald, K. A., 1981, [16])

Tablica I.

COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF SELECTED
DETECTION METHODS
(Szymany, R., McDonald, K. A., 1981, [16])

Table I.

Metoda detekcije	Detektirane greške						
	Kvrge	Kosa žica	Trulež	Promjene boje	Bušotine	Pukotine	Raspukline
Optička metoda	X		X	X	X	X	X
Metoda ultrazvuka	X	X	X		X		
Metoda mikrovalova	X	X	X		X		
Metoda X-zraka	X		X		X		
Neutronska metoda	X		X		X		

OPTIČKA METODA

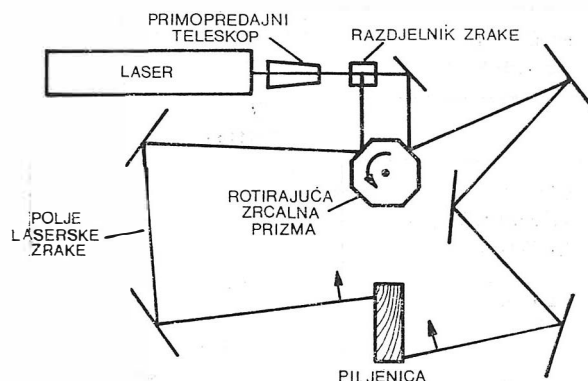
Svaki proizvedeni optički sustav imitacija je ljudskog oka. On je sposoban prevesti optičku sliku u elektronske signale koje je moguće obraditi računalom, ili projicirati na ekran. Tipični optički čitač grešaka, sastoji se od izvora svjetla, svjetlosnog osjetljivaca (fototranzistora), pojačala signala i izlazne jedinice [10].

U načelu postoje dvije optičke tehnike detekcije grešaka. Osnovna razlika među njima je u izvoru svjetla. Jedna tehnika primjenjuje kao izvor svjetla lasersku zraku. Zraka (otprilike 1 mm promjera) usmjerena je na skanirajuće ogledalo, koje ju usmjerava i prihvaća nakon pregleda. Druga tehnika primjenjuje fluorescentno svjetlo, koje osvjetljava dijelove piljenice koja prolazi kroz stanicu za detekciju.

Laserski sustav skaniranja. — Uređaj se sastoji od laserskog skanera i miniračunala. Skaner je helij-neonski laser snage 3.0 mW koji sekvencijalno osvjetljava obje strane piljenice koja prolazi kroz tunel za skaniranje. Lasersko svjetlo reflektirano s drva dolazi u fotoosjetljivi čitač, koji kvantificira i digitalno obrađuje rezultatni signal. Miniračunalo obrađuje ulazne podatke i određuje veličinu i dimenzije grešaka.

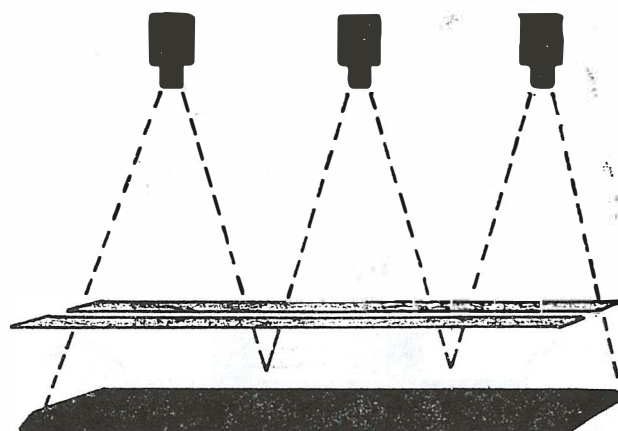
Sustav skaniranja s fluorescentnim osvjetljavanjem. — Sustav analizira svaku piljenicu uz pomoć kamera. Snimljene varijacije u kvaliteti piljenice registrirane su u računalu u kojem su također i kriteriji klasiranja građe.

Optičke metode detekcije grešaka piljene građe vrlo su prilagodljive visokoj automatizaciji. Osim detektiranja grešaka drva one mogu pre-



Slika 2. Shematski prikaz laserskog sistema detekcije grešaka na piljenici (Huber, H. A., i drugi 1989. [10])

Fig. 2. Laser scanning system scheme (Huber, H. A., and others, 1989. [10])



Slika 3. Shematski prikaz sistema skaniranja piljenice sa fluorescentnim osvjetljavanjem (Huber i drugi, 1989. [10])

Fig. 3. Fluorescent light scanning system scheme (Huber, and others, 1989. [10])

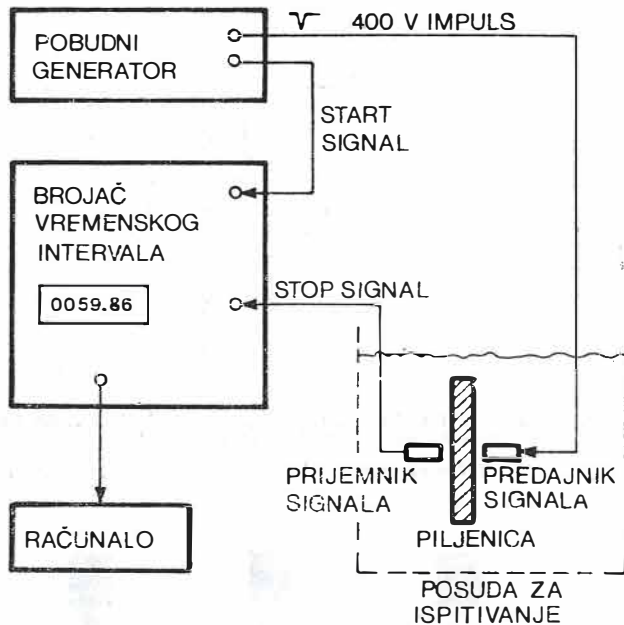
poznovati i greške geometrije. S druge strane ograničene su detekcijom grešaka samo na površini piljenice.

METODA ULTRAZVUKA

Postoji nekoliko načina detekcije grešaka ultrazvukom. Dvije najčešće su metoda prolaza ultrazvuka i metoda odbijanja ultrazvuka [12].

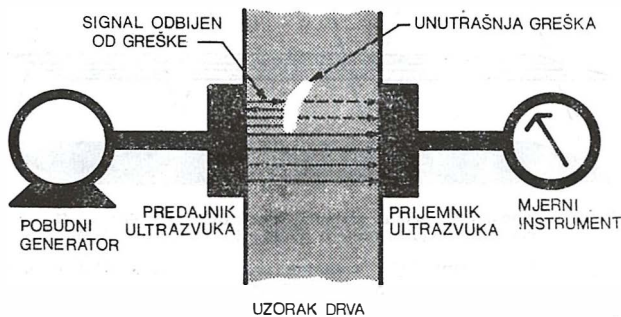
Metoda prolaza ultrazvuka. — Sustav se sastoji od ultrazvučnog odašiljača i prijemnika smještenih sa svake strane uzorka. Ultrazvučni valovi emitirani iz odašiljača prolaze kroz uzorak, i primaju se u prijemniku na suprotnoj strani od odašiljača. Ukoliko se u ultrazvučnom polju nalazi greška, doći će do promjene energije u prijemniku.

Metoda odbijanja ultrazvuka. — Za razliku od metode prolaza ultrazvuka, metoda odbijanja ultrazvuka sadrži primopredajnik ultrazvuka samo s jedne strane uzorka. Emisija ultrazvučnih valo-



Slika 4. Shematski prikaz detekcije grešaka drva metodom prolaza ultrazvuka (McDonald, K. A., 1978. [12])

Fig. 4. Scheme of through — transmission ultrasonic method for defect detection (McDonald, K. A., 1978. [12])

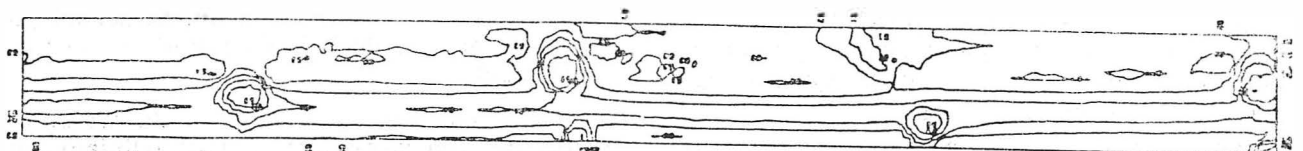


Slika 5. Shematski prikaz sistema za detekciju grešaka drva metodom odbijanja ultrazvuka (McDonald, K. A., 1978. [12])

Fig. 5. Scheme of pulsed — echo ultrasonic method for lumber defect detection (McDonald, K. A., 1978. [12])

va prolazi kroz obradak, osim kad naiđe na grešku unutar obradka. Pri nailasku na grešku, dio emitiranih valova se odbija i vraća u prijemnik.

Glavni nedostatak ove metode detekcije grešaka u drvu je u zahtjevu za fizičkim kontaktom skanera i uzorka. Ovaj sustav ne može otkrivati greške promjene boje drva, devijacije oblika piljenice, a postoji i dosta teškoća oko otkrivanja različitih pukotina.



Slika 6. Prikaz skanirane piljenice metodom mikrovalova

Fig. 6. Image of board scanned by microwave method

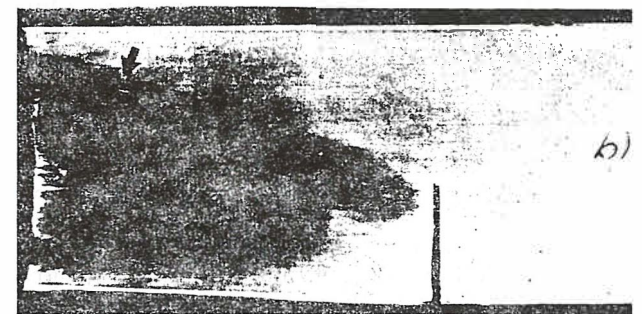
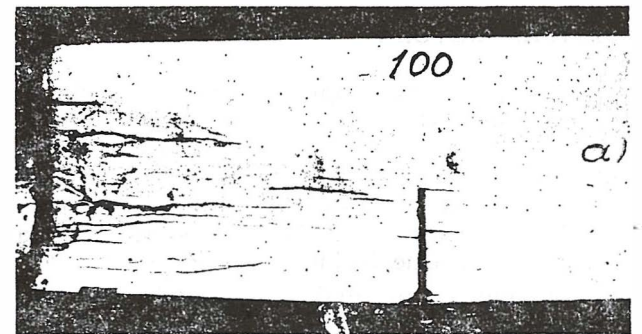
METODA MIKROVALOVA

Mikrovalovi su elektromagnetski valovi dužine 0.1 m do 1 mm. Ta valna dužina otprilike odgovara frekvenciji između 300 MHz i 300 GHz. Brzina i smanjenje intenziteta mikrovalova ovisi o svojstvima medija kroz koji su emitirani. S promjenom gustoće medija (u ovom slučaju drva), dolazi do promjene brzine i intenziteta mikrovalova, koji na taj način mogu u svezi s pojačalom signala i računalom, locirati i dimenzionirati greške.

Mikrovalovi se mogu primjenjivati za detekciju svih grešaka drugačije gustoće od zdravog drva. Jedina mana ovog sustava je u međusobnom nerazlikovanju pojedinih vrsta grešaka drva, a također ne može detektirati greške promjene boje drva.

METODA X-ZRAKA

X-zrake predstavljaju elektromagnetski spektar između $0.01 \cdot 10^{-10}$ m i $100 \cdot 10^{-10}$ m. Prilikom



Slika 7. Prikaz fotografski snimljene piljenice (a) i piljenice snimljene pomoću X-zraka (b) (Creffield, J. B., Beesley, J., 1980. [7])

Fig. 7. Photographs of board and its X-ray scanned image (b) (Creffield, J. B., Beesley, J., 1980 [7])

(Szymany, R., McDonald, K. A., 1981. [16])

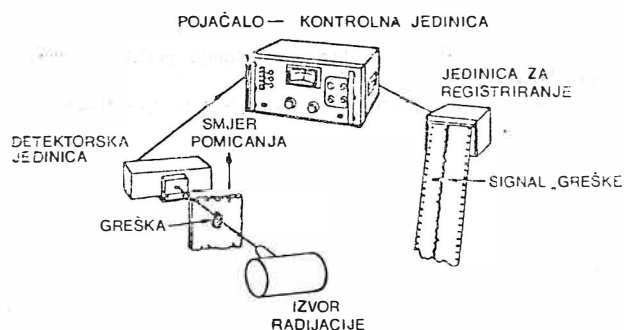
(Szymany, R., McDonald, K. A., 1981. [16])

zračenja uzorka dio X-zraka prolazi kroz uzorak, a dio se apsorbira u uzorku. Ta apsorpcija može se prikazati kao tomografska slika promjene gustoće drva, te se na taj način može locirati i dimenzionirati greška u drvu [7].

Ovaj sustav detekcije grešaka drva može detektirati kvрге, pukotine i sl., ali nije u stanju detektirati greške jednake gustoće kao zdravo drvo. Ovaj sustav ne može razlikovati pojedine vrste grešaka.

NEUTRONSKA METODA

Neutronska radiografija metoda je slična metodi X-zraka. Princip rada ove dvije metode je gotovo isti, s tim što se u ovom slučaju primjenjuje emisija termalnih neutrona. Ova metoda, za razliku od metode X-zraka, puno je osjetljivija na promjene gustoće drva, no kao i metoda X-zraka, neutronska metoda ne može jasno razlikovati različite greške drva [16].



Slika 8. Shematski prikaz sistema za detekciju grešaka drva metodom neutronske radiografije (Szymany, R., McDonald, K. A., 1981. [16])

Fig. 8. Configuration of neutron radiography lumber defect detection system (Szymany, R., McDonald, K. A., 1981 [16])

Trenutni zahtjevi doradnih pilana za visoko-automatiziranom proizvodnjom elemenata i nisu toliko veliki, imajući u vidu relativno visoku cijenu sustava automatske detekcije grešaka. Osim toga, mnogi prihvatljivi sustavi detekcije sadrže visoki stupanj opasnosti od zračenja. Drugi opet, zahtijevaju fizički kontakt detektora (skanera) i samog obratka. S obzirom na industrijske uvjete u kojima se vrši prerada drva, fizički kontakt gotovo da nije moguć.

U današnjim zahtjevima tehnologije masivnog drva, može se uočiti zadovoljenje potreba za detekcijom grešaka u optičkim metodama. Kako te metode mogu razlikovati greške skoro kao i ljudsko oko, jasno je da one mogu u potpunosti zadovoljiti tehnološki proces automatske izrade elemenata. Od gore navedenih optičkih metoda za detekciju grešaka obje imaju relativno visoku cijenu koštanja, te je s tim u vezi potrebno razraditi ekonomsku računicu za instaliranje ovakvih sustava.

Pored navedenih optičkih sustava, danas se uglavnom primjenjuje princip obilježavanja grešaka kredom, te bi se usavršavanjem ovog sustava potpuno zadovoljile potrebe tehnologije elemenata.

4. METODE DETEKCIJE GREŠAKA DRVA U DANAŠNJIM INDUSTRIJSKIM UVJETIMA

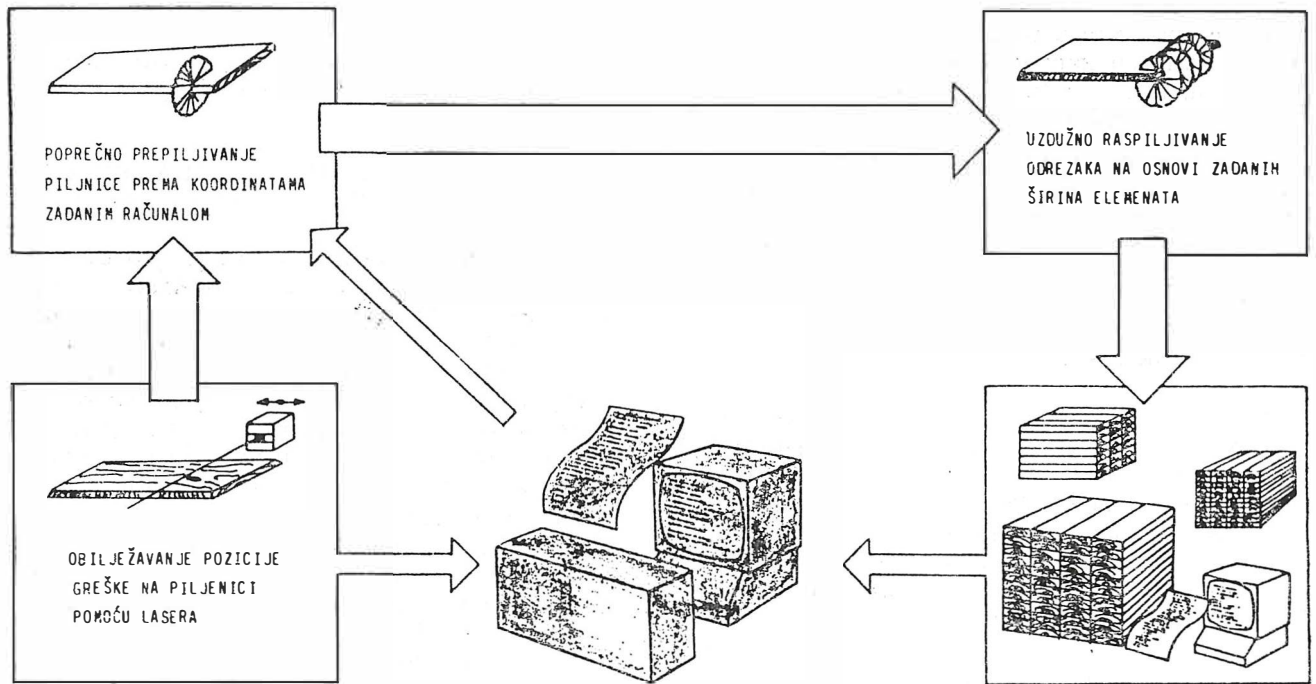
Proizvodnja elemenata složen je proces, kako u organizacijskom, tako i u tehnološkom i tehničkom smislu. S tim u vezi, relativno skupa oprema za automatsku detekciju grešaka još nije našla svoje mjesto u direktnim proizvodnim uvjetima. Iz tog se razloga pokušalo razraditi sustav koji bi uz relativno nisku cijenu i pomoć operatora, mogao zadovoljiti i pilansku preradu i potrebe finalne industrije za kvalitetnim elementima.

Današnje moderne pilane već imaju u svom sustavu mogućnosti djelomične optimizacije u procesima izrade elemenata. Označivanje grešaka na piljenici doduše još nije u potpunosti provedeno no vjerojatno nije ni u dalekoj budućnosti. Današnji sustavi zasnovani su ili na memoriranju pozicije greške na piljenici ili na principu optičkih čitača krede.

Princip rada memoriranja pozicije greške piljenice, zapravo je sustav suboptimalnog prereziivanja piljenica kružnom pilom. Ovaj se sustav najčešće primjenjuje kod poprečno-podužnog načina izrade elemenata. Sustav se sastoji od laserskog pokazivača pozicije greške na piljenici, memorijske jedinice koja memorira sva mjesta označena laserom, računala, kružne pile za poprečni rez, višelisne kružne pile za uzdužni rez i sustava transportera.

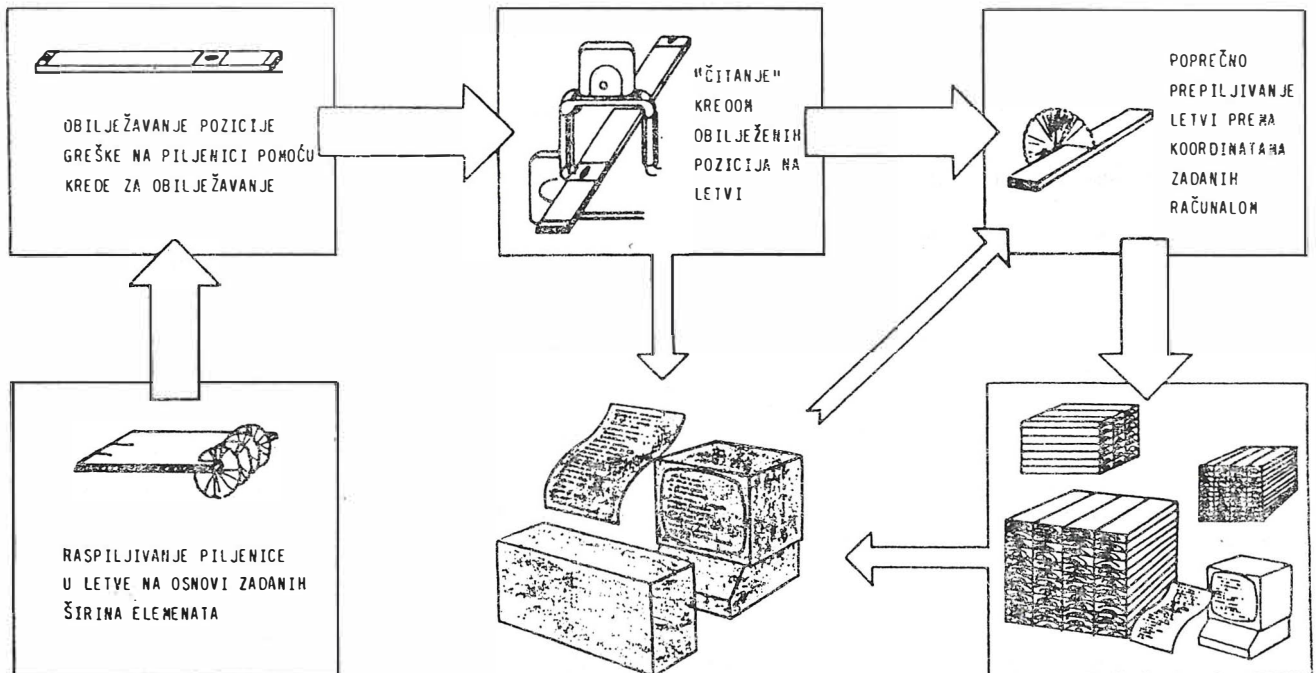
Princip rada je slijedeći. Operater laserskom zrakom određuje početak i kraj piljenice, te mjesta između kojih je potrebno izvršiti poprečno prereziivanje piljenice. Nakon memoriranja tih mjesta piljenica putuje sustavom transportera do kružne pile za poprečni rez, gdje se poprečno prepiljuje na točno određenim mjestima. Ovdje je potrebno napomenuti da se računalom optimizira duljina elemenata (odrezaka) unutar označenih mjesta prema kriteriju specifikacije elemenata. Nastali odresci imaju duljinu budućih elemenata i sustavom transportera se odvođe do višelisne kružne pile, gdje se raspiljuju na širine ili debljine budućih elemenata.

Optički čitači krede se najčešće upotrebljavaju pri izradi elemenata podužno-poprečnim načinom. Nakon izrade letava (koje imaju širinu ili debljinu budućih elemenata) iz piljenica na višelisnoj kružnoj pili, letve se sustavom transportera odvođe do operatera, koji specijalnom reflektirajućom kredom označuje greške na letvama. Nakon označivanja grešaka, letve se odvođe do optičkog čitača krede, koji podatke o poziciji oznake na letvi prenosi u računalo. Nakon »dužinske« optimizacije, odnosno optimalnog uklapanja dužina elemenata u duljine između kredom ozna-



Slika 9. Shematski prikaz optimizacije poprečno-podužnog načina izrade elemenata pomoću laserskog memoriranja pozicije greške piljenice (Babunović, K., 1992. [2])

Fig. 9. Layout of optimized crosscutting — ripping system in production of elements with laser memorized lumber defect position (Babunović, K., 1992 [2])



Slika 10. Shematski prikaz optimizacije podužno-poprečnog načina izrade elemenata pomoću optičkih čitača krede (Babunović, K., 1992. [2])

Fig. 10. Layout of optimized ripping — crosscutting system in production of elements with optical readers of chalk marks (Babunović, K., 1992. [2])

čenih mjesta, letve se odvođe do kružne pile za poprečni rez, gdje elementi dobivaju konačnu zadanu duljinu.

Ovi načini subautomatske izrade elemenata zahvalni su u prvom redu zbog velikog kapaciteta u odnosu na klasične tehnologije. Osim toga or-

ganizacijsko pitanje zadovoljenja specifikacije, isto je tako znatno poboljšano. Prioritetni elementi se prvi izrađuju (prema mogućnostima), a moguća je i intervencija u smislu ulaska u računalo zbog eventualne promjene prioriteta i/ili specifikacije.

5. DISKUSIJA

Nesumnjivo je da u današnje vrijeme treba tražiti pristupe uvođenju novih tehnologija kako u primarnim pilanama, tako i u tehnologijama elemenata. Razvoj elektronske industrije u velikoj mjeri omogućio optimizaciju tehnoloških procesa u tehnologiji masivnog drva. U svakom slučaju korišćenje kompjutorskom i drugim optičkim i elektronskim tehnikama u određenim fazama tehnologije masivnog drva trebalo bi dovesti do daljeg unapređenja ove privredne grane. Tu se prije svega misli na razvoj prilagođen potrebama svake pojedine pilane s obzirom na vrstu drva, kapacitet i ostale parametre koji uvjetuju tehnologiju jedne pilane.

Istraživanja na području nekonvencionalnih načina razdvajanja drva [6, 10, 11, 13, 14], odnose se prvenstveno na razdvajanje drva laserom, vodom i vibrirajućim nožem. U tom su smislu obavljena i neka istraživanja kod nas [6], koja su upozorila na mogućnost upotrebe ovakvih tehnologija. Kombinacija tomografskog snimanja piljenica i optimalno kompjutorsko vođenje nekonvencionalnog alata, predstavljala bi sigurno znatno povećanje iskorišćenja (kvantitativnog, kvalitativnog i vrijednosnog), a isto tako i povećanje produktivnosti.

Trenutno međutim, takve tehnologije nisu upotrebljive, prije svega zbog visoke cijene po jedinici proizvoda. Iz tog se razloga vjerojatno još neće primjenjivati nekonvencionalni načini izrade elemenata, nego se sve više u postojeće tehnologije uvode računala, koja upravljaju proizvodnjom, a što je potrebno posebno naglasiti, optimiziraju raspiljivanje piljenica.

Već je u prethodnoj točki rečeno da postoje optički čitači krede koji zadovoljavaju industrijske uvjete i u ekonomskom i u tehnološkom smislu. S obzirom na mogućnost čitača, moguće je razviti sustav koji bi mogao »čitati« kreu po čitavoj širini piljenice. Dakle moguće je konstruirati čitač krede, koji bi mogao pružiti dovoljno jasnu sliku piljenice sa svim njenim greškama. Takav bi se sustav sastojao od slijedećih dijelova:

1. Skladište piljenica;
2. Stol za označivanje grešaka;
3. Optički čitač krede;
4. Računalo;
5. Linija za poprečno-podužni način izrade elemenata;
6. Linija za podužno-poprečni način izrade elemenata;

7. Skladište elemenata;
8. Sustav transportera.

Stol za označivanje grešaka u stvari je jedino radno mjesto gdje je potreban operator u pravom smislu riječi. Njegov je zadatak zaokruživanje kredom svih grešaka na piljenici koje je potrebno odstraniti. Nakon označivanja grešaka, piljenica prolazi kroz optički čitač krede konstantnom brzinom. Uz pretpostavku da je čitač konstruiran tako da može »pročitati« greške na čitavoj širini piljenice, moguće je u jednom prolazu dobiti tomografsku sliku piljenice sa svim njenim greškama. Nakon toga računalo iz zadane specifikacije elemenata i zadane piljenice s njenim greškama, donosi odluku o načinu izrade elemenata, te usmjerava piljenicu na odgovarajuću liniju za proizvodnju elemenata. Obje linije numerički su upravljane podacima iz računala koje im daje točne koordinate svih rezova (poprečnih i uzdužnih).

Uvođenje sustava za automatsko određivanje načina izrade elemenata (ovog ili nekog drugog), dalji je zadatak istraživačkih timova za poboljšanje proizvodnje elemenata. Optimizacija izrade elemenata dodatni je izazov i zahtijeva interdisciplinarni pristup ovom problemu.

LITERATURA

- [1] Babunović, K.: Optimizacija krojenja piljenica kompjutorskom metodom. *Drvna industrija* 41 (1990) 11—12, 205—208.
- [2] Babunović, K.: Optimizacija krojenja piljenica kompjutorskom simulacijom. Magistarski rad, Sumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1992.
- [3] Brežnjak, M.: Drvni elementi — poimanje — proizvodnja — primjena. *Drvna industrija*, 25 (1974) 7—8, 151—155.
- [4] Bruner, C. C., White, M. S., Lamb, F. M., Schroeder, J. G.: CORY: A computer program for determining dimension stock yields. *Forest Product Journal* 39 (1989) 2, 23—24.
- [5] Butković, Đ.: Simuliranje kvalitete piljenica, Bilten korišćenja trupaca kod simuliranog i eksperimentalnog piljenja. *Bilten ZIDI* 7 (1979) 5, 15—33, Sumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- [6] Butković, Đ., Babunović, K.: Primjena laserskog ZIDI 11 (1983) 4, 1—16, Sumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- [7] Creffield, J. W., Beesley, J.: Use of X-rays for monitoring decay in timber panels. *Forest Product Journal* 30 (1980) 6, 48—51.
- [8] Giese, P. J., McDonald, K. A.: OPTYLD — A multiple rip-first computer program to maximize cutting yields. *USDA Forest Service Research Paper FPL-412*, Madison, Wi. 1982.
- [9] Giese, P. J., Danielson, J. D.: CROMAX: A crosscut first computer simulation program to determine cutting yield. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. FPL-38*, Madison, Wi. 1983.
- [10] Huber, H. A., McMillin, C. W., Rasher, A.: Economics of cutting wood parts with a laser under optical image analyser control. *Forest Product Journal* 32 (1982) 3, 16—21.
- [11] Huber, H. A., Rudel, S., Mukherjee, K., McMillin, C. W.: Economics of cutting hardwood dimension parts with an automated system. *Forest Product Journal* 39 (1989) 3, 46—50.
- [12] McDonald, K. A.: Lumber defect detection by ultrasonics. *USDA Forest Service Research Paper FPL-311*, Madison, Wi. 1978.
- [13] McMillin, C. W., Conners, R. W., Huber, H. A.: ALPS — A potential new automated lumber processing system. *Forest Product Journal* 34 (1984) 1, 13—21.
- [14] Peters, C. C., Marshall, H. L.: Cutting wood materials by laser. *USDA Forest Service Research Paper FPL-250*, Madison, Wi. 1975.
- [15] Stern, A. R.: Computer optimization of cutting yield from multiple — ripped boards. *USDA Forest Service Research Paper FPL-318*, Madison, Wi. 1978.
- [16] Szymani, R., McDonald, K. A.: Defect detection in lumber: state of the art. *Forest Products Journal* 31 (1981) 11, 34—44.