



Povijest pilanske obradbe drva

Ištvančić, J.; Trušček, A.; Delajković, D.; Seminarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Svetošimunska 25, Drvnotehnološki odsjek, Dodiplomski znanstveni studij - Pilanska obradba drva.

Zagreb, svibanj 2001

Sadržaj

1. Uvod.....	3
2. Počeci obradbe drva.....	3
3. Ručno oruđe i alati.....	4
4. Mehanički pokretane pilane.....	5
5. Pilane pokretane parnim strojem.....	9
6. Suvremene pilane.....	9
7. Tendencije razvoja pilanske obradbe drva.....	10
Literatura.....	15

1. Uvod

Pilanska industrija je važna privredna grana u mnogim, šumama bogatim zemljama. U industrijski nerazvijenim zemljama, ona je često i glavni oslonac izvoza i time izvor prihoda za opći privredni razvitak. I u industrijski najrazvijenijim zemljama pilanska je industrija i na njoj utemeljena finalna mehanička, a često dobrim dijelom i kemijska prerada drva, vrlo važna za gospodarstvo (primjer skandinavskih zemalja: Švedska, Finska, Norveška).

Značenje pilanske industrije ogleda se u radno intenzivnom karakteru te djelatnosti koja omogućuje zapošljavanje većeg broja radnika, relativno je mali udio kapitala, relativno mali energetske zahtjevi, te vrlo povoljne ekološke karakteristike.

Drvo je materijal koji čovjek koristi od svog postanka. Ono je, uz kamen i kosti, bilo i njegovo prvo oružje, oruđe, sredstvo za izradu nastamba i – kao posebno važno, materijal za paljenje vatre. I danas je drvo jedan od najšire upotrebljivanih prirodnih materijala. Najvažniji način njegove upotrebe je u obliku piljenog materijala i to kao gotovog proizvoda ili poluproizvoda za daljnju obradbu. Pilanska obradba drva je znanstvena disciplina koja se bavi proučavanjem načina proizvodnje piljenog drva, a koja je jedna od najstarijih, te po količini prerađenog drveta, jedna od najvažnijih grana drvne industrije. U ovom seminarskom radu biti će ukratko prikazani neki od najznačajnijih povijesnih trenutaka u razvoju pilanske obradbe drva.

2. Počeci obradbe drva

Poznato je da čovjek koristi pile već oko 500 000 godina. Vjeruje se da su one čovjekov najstariji izum, odmah uz kremenno koplje i vrhove strelica. Pilama se priznaje i da su omogućile razvoj kotača – izum koji je općenito priznat kao najvažniji od svih izuma. Te su prve pile naravno, bile vrlo primitivne.

Čovjek iz razdoblja neolita prilagođavao je za oruđe predmete koje je našao oko sebe, režući i odlamajući komade kremenja. Osim toga, čovjek je razumio i princip abrazije – od njegove “vatrene pile”, tj. sredstva za paljenje vatre. Bio je to sistem trljanja jednog komada drva o drugi, kako bi iskrice od trenja pale na piljevinu i zapalile vatru. To je ognjilo, zapravo imalo oblik svrdla, pri čemu se zašiljeni tvrdi štapić okretao u rupici u drugom komadu drva i to pomoću remenčića, uzice ili tetive za luk koja se omotala oko svrdla. Ta je tehnika bila uobičajena u Europi, Indiji, Australiji, sjeveroistočnoj Aziji i otocima Tihog oceana.

Arheološka iskapanja na jugu Francuske dala su neke vrlo stare primjerke kremene pile iz geološkog razdoblja zvanog “Sob”. Taj je tip pile još uvijek bio u upotrebi nebrojeno mnogo godina kasnije - u Brončano doba, koje je trajalo od otprilike 5000 ili 6000 g. pr. Kr. do vremena Krista ili čak dulje u nekim područjima (slika 1).

Slika 1. Prvi oblici oruđa za obradbu drva

U velikom iskapanju glavnog sumeranskog grada Ura, pronađene su 6000-7000 god. stare pile, načinjene od crne opsidijan lave. To su bili alati sumeranskih obrtnika u zemljama između rijeka Eufrata i Tigrisa (na današnjem području Iraka) i to 2000 godina prije rođenja Abrahama.

Prehistorijske pile pronađene u grobnicama u sjevernoj Engleskoj, u špiljama Francuske, u kamenim gomilama u Švedskoj i Danskoj i na područjima jezera u

Švicarskoj i Italiji, bile su prosječno 8 cm dugačke, ali u varijacijama od 3 – 23 cm. Većina ovih pila bila je upotrebljavana za rezanje kostiju, drveta i rogova pri izradi ukrasa. Te pile od kremenata i opsidijane bile su debele i lagano pričvršćene klinom u dršci. No, time problem nije bio riješen, unatoč razvoju pojedinih pila u kojima su komadi kremenata i opsidijane bili pomoću prirodnog asfalta pričvršćeni u drvene ručke sa utorima ili jelenje robove.

Dužina i oblik tih – “ne-metalnih” pila obično su određivani prema prilikama, tj. sasvim slučajno. Čovjek je samo prilagodio ono što je imao “pri ruci”. Tako su ljudi sa otočja u Tihom oceanu koristili zube morskog psa, a Aboriđini sa Madeire – kljun ribe pilana.

3. Ručno oruđe i alati

Otkrićem metala pojavljuju se i prve pile od metala – i to od bronce i željeza. Iznimno stari primjerak metalne pile nađen je u grobovima u Iraku, na istome području na kojem su nađene pile od opsidijane.

Babilonci i Egipćani su koristili ručne pile od metala s neproširenim vrhovima zubaca. Da se takva pila ne bi uklještila, piljeni bi se komadi užetom natezali svaki na svoju stranu.

Egipatske metalne pile bile su načinjene od bakra, bronce i rjeđe željeza. Najstarije od ovih pila bile su izrađene od kaljenog bakra i datiraju iz 4 900 g. pr. Kr. Zanimljivo je da je tehnologija kojom je nastajao taj kaljeni bakar danas izgubljena. Pile su obično bile konveksno zaobljene, a zubi nisu bili ni razvraćeni, ni u ravnini, a ipak je pila pilila u oba smjera – pri povlačenju pile i naprijed i nazad. Glavna upotreba ovih pila bila je za dobivanje piljenica za pogrebne lijesove.

Egipćani su nastavili razvoj pile i oko 4000. g. pr. Kr., pila je bila dugačka oko 2,5 m. Postojala su dva tipa – jedan za piljenje drva i drugi za kamen. S obzirom da još nije bio razvijen princip razvraćivanja niti proširivanja (stlačivanja) zubi, piljeni komadi su natezani užetom svaki na svoju stranu ili su za razdvajanje korišteni klinovi.

U ta prastara vremena, pile nisu bile korištene samo za piljenje kamena ili drveta. Biblija sadrži i nekoliko navoda o smaknuću zatvorenika, ali i proroka – “pod pilom”.

Jedan od velikih koraka pri unapređenju pile bio je razvoj upotrebe željeza i čelika. To se desilo negdje između 9. i 5. st. pr. Kr.

Željezna doba – od oko 500. g. pr. Kr. do oko 80. g. pr. Kr. – je donijelo konačna poboljšanja (od Grka, ali većinom Rimljana), iako su ona tada bila još prilično daleko od kasnijeg razvoja čelika (slika 2).

Slika 2. Obradba drva u starom Rimu

U željezno se doba prvi puta počinju premetati (razvraćati) zubi pile, kako bi se rez dobio pri gibanju pile samo u jednom smjeru – i to povlačenjem, pa su zubi bili poravnati prema dršci. Sama pila bila je nategnuta u okviru u obliku luka ili pravokutnika. List pile bio je napregnut pomoću pletenog užeta (slično današnjim lučnim i stolarskim ručnim pilama). Njima su se već mogli trupci prerađivati uzdužnim piljenjem u grede, mosnice i daske. Osim toga, kod nekih pila se pazilo i na sam oblik zubi koji su bili stanjivani na prednjoj strani, kako bi se spriječilo gnječenje.

Od najranijih vremena do danas, u nekima od najudaljenijih, nerazvijenim dijelovima svijeta, trupci su prerađivani u piljenice tzv. razboj pilom. To je zapravo primitivna ručna pila koja je dobila ime po tome što joj je list pile redovito bio upet u drveni razboj, tj. jaram. Razvijeno je i korišteno nekoliko oblika ovog sistema. U najjednostavnijoj izvedbi, u zemlji se izbuši rupa oko 2 m duboka, malo dulja od trupca i 1 – 1,5 m široka. Preko rupe se postavi nekoliko malih trupčića za pridržavanje, a preko njih i uzduž jame se stavi trupac koji treba raspiliti. Jedan rukovatelj stoji na trupcu, a drugi u jami. Piljenje počinje na jednom kraju trupca i nastavlja se do prvog potpornog trupčića. Zatim se trupac pomakne uzdužno, kako bi se piljenje moglo nastaviti. Prije razvoja razvraćenih zubi, piljenja je vršio i rukovatelj koji je stajao na trupcu, ali nakon upotrebe pile sa razvraćenim zubima, rukovatelj na trupcu je samo vratio pilu u početni (gornji) položaj, dok je rukovatelj u jami radio većinu posla i na njega je padala sva piljevina. Druga varijacija piljenja u jami koristila je povišene platforme, obično postavljene na dnu uzvisine, tako da se trupac mogao dokotrljati do ravnine gdje se pililo. U jednoj drugoj varijanti je trupac oslanjan na potpornje pod 45°; u tom je slučaju pila potezana naprijed i nazad, otprilike paralelno sa tlom, pileći prema dolje kroz nakošeni trupac (slika 3).

Slika 3. Rad s razboj pilom

Za ilustraciju ćemo prikazati opis rekonstrukcija piljenja razboj pilom u Istri zapisan u monografiji muzeja u Labinu. Osušeno stablo bi se srušilo posebnom sjekirom – braduljom (lišavnicom), nakon čega bi se pililo u daske pomoću vele (razboj) pile. Otesani trupac – cok, učvrstio bi se na posebnu konstrukciju armatur, zatim bi se užetom namočenim u boju obilježila linija rezanja s gornje i donje strane. Na coku, s gornje strane, stajao bi jedan čovjek, glavni pilač koji vodi, usmjerava pilu po označenoj crti, senjalu, držeći s obje ruke jarmiće tj. dršku na pili, a s donje strane coka pilu su vukla dva čovjeka, svaki za svoje dvije ručice tzv. recaje. Kad bi se ispilila polovica coka, okrenulo bi ga se i počinjalo s drugoga kraja dok se ne ispili daska. Ovakav način piljenja mukotrpan je i obavljali su ga snažniji i spretniji ljudi, odlazeći ponekad i u druga sela na piljenje. Velom pilom pililo se u Istri do prije dvadeset godina.

4. Mehanički pokretane pilane

Prema pisanim podacima, prve mehanički pokretane pilane opisane su tek u XI. odnosno XIII. stoljeću n. Kr. u zemljama zapadne i srednje Europe, a nešto kasnije i kod nas. Radni alat ovih pilana bio je drveni jaram, odnosno konstrukcija u koju je bila upeta jedna ili više pila (slika 4).

Slika 4. Rad sa mehaničkim pilama pokretanim ljudskom snagom

Prva prava preteča jarmača s jednim listom pile konstruirana je krajem XVI. stoljeća. Kod nas je bila poznata pod nazivom venecijanska (mletačka) jarmača. Za razliku od ručnih pila, bila je pokretana mehaničkom snagom vodenog toka preko vodenog kola i sustava prijenosa gibanja (slika 5).

Čini se da su se prve poznate pilane, u kojima su pile bile montirane na strojeve, a strojevi pokretani nečim drugim osim ljudskom snagom, razvile oko 1200.

god. n. Kr. Prijelaz sa ljudske snage na drugu pogonsku snagu je bio postupan, a pogon pila ljudskom snagom zadržao se do početka 19. st.

Slika 5. Prikaz venecijanske jarmače pokretane vodenom snagom (pilana potočara)

Gdje i kada se drvo počelo prerađivati sa mehanički pokretanim pilama, odnosno kada i gdje je podignuta prva pilana, nije pouzdano ustanovljeno. Prvi počeci pilana pojavili su se, prema nekim podacima, već u 1. st., a prema drugima tek u 4. st. No, posve je sigurno da su prve pilane s mehanički pokretanim pilama postojale u 11. st. (Lenggries kod Tulza, 1080. god.). Kao najstarija dokazana pilana slovi ona iz 1333. god. u Rauffenu kod Groppensteina u dolini Mölltal, a odmah iza nje pilana iz 1351. god. pod Geyersbergom kod Freisacha koja je stajala pored mlina.

Među prvim poznatim pilanama bila je ona blizu Augsburga u Njemačkoj (1322. god.). 1420. god. Portugalci su otvorili pilane na otoku Madeira. Poznate su i pilane u Breslavi (1427. god.), Erfurtu (1490. god.). Prve pilane potočare (pogonjene snagom vode) spominju se u Švedskoj oko 1500. god., u Norveškoj oko 1530. god., u Češkoj oko 1552. god., u Francuskoj oko 1555. god. (Lyon), u Nizozemskoj oko 1596. god. (Saardam), u Engleskoj oko 1633. god. (London), u SAD 1625. god. (Jamestown, Wirginia), odnosno 1631. god. (Berwick, Maine), u Rusiji za vrijeme vladanja Petra I. (1685. – 1725. god.) itd.

Većina ovih pilana su imale jarmače sa jednom pilom upetom u drveni jaram. Oko 1575. god. u Nizozemskoj je napravljen i jaram sa više listova pila. Ove su pilane bile pogonjene pomoću vjetra, vode, kola koje se tjeralo gaženjem ili ljudskom snagom.

Jarmače sa jednim listom pile su kod nas bile poznate kao "venecijanske" (mletačke) jarmače. Danas, nažalost ne znamo gdje i kada su se u Veneciji prvi puta pojavile pile na vodeni pogon koje bi do 1490. god. sa pravom dobile ime "venecijanske" jarmače; niti ne znamo kakve su bile, jer ne postoje ni skice ni opisi.

1480. god., odnosno 1485. god. su prvi puta skicirane pilane na neposredni vodeni pogon, u Italiji. Moguće je da su takve pile, krajem 15., tj. početkom 16. st. došle kod nas preko Venecije i tako dobile naziv.

Slika 6. Skica mehanički pokretane pile francuskog arhitekta Villard de Honnecourta

Prvu poznatu skicu pile na vodeni pogon napravio je francuski arhitekt Villard de Honnecourt oko 1235. godine (slika 6). Pila je imala automatski pomak trupca prema listu pile preko transportera sa ručicama pomoću zupčanika namještenog na gredu. Pogon pile je bio vodeni – pomoću vodenog kola sa lopaticama. Posmak je bio sinhroniziran sa piljenjem lista pile kojeg je prema gore podizala elastična drvena opruga, a prema dolje su ga potiskivale dvije križno usađene palice na gredi. Pilila je samo četinjače i to samo piljenice većih debljina, te piljenice namjenjene za podove, neravnih površina i neravnomjerne debljine. Taj tip pile je nastao u Francuskoj u 12. st. u području četinjača i njime se nije moglo piliti tvrdo drvo listača.

U Schwarzwald u 1443. god. prvi puta pojavio novi tip pila, nazvan "Plotzmühle", a kasnije "Klopfsäge".

Slika 7. Skica mehanički pokretane pile Leonarda da Vincija

Treba napomenuti da se negdje u to doba konstruiranja mehaničkih pokretnih pila bavio i slavni umjetnik, konstruktor i graditelj Leonardo da Vinci. Pronađena je njegova skica potpune pilane na vodeni pogon, koju je nacrtao oko 1480. godine

(slika 7). Način djelovanja te pilane je sljedeći: vodena sila djeluje preko pogonskog mehanizma (kotač sa lopaticama na koje djeluje voda svojom silom) na mehanizam za piljenje (jaram sa upetim listom pile koji se giba po vodilima) koji pili trupac vertikalnim gibanjem. Prvi put su u pilanu uvedena drvena kolica u obliku drvenog okvira u koji se pričvršćuje trupac. Poseban pomični mehanizam, namješten ispod poda pilane, preko ojničkog mehanizma i dalje preko ručke za dodavanje udarom je pomicao kotač za dodavanje sa vretenom, oko kojega je namotana špaga koja je pak služila za pokretanje kolica sa trupcem, a sinhronizirano sa kretanjem lista pile prema dolje. Taj konačni oblik pilane imao je sve mehanizme harmonički povezane da bi skladno i točno, po određenom redu obavljao zadaću kod svakog propiljka. Nakon svake ispiljene piljenice se piljenje zaustavilo da bi se piljenica odstranila.

U pravilu, venecijske jarmače su imale veliku netočnost piljenja, a efekt im je svega 2 do 6 m³ trupaca u jednoj smjeni (8h).

U Hrvatskoj, na području Hrv. Primorja i Gorskog Kotara, prva pilana potočara je podignuta 1428. god. kraj Crikvenice, druga 1651. god. u Čabru, a treća 1685. god. u Lokvama.

Iako su pilane na pogon vodom bile potisnute u drugi plan pojavom pilana na parni pogon, a kasnije i pojavom elektromotornog pogona, dosta pilana na vodeni pogon se i dalje održalo u upotrebi. Tako da su stručnjaci Šumarskog fakulteta u Zagrebu 1960. godine napravili studiju na trinaest pilana potočara u Gorskom Kotaru. Na nekim od tih pilana potočara vršena su i potrebna ispitivanja, da bi se dobili podaci o kvaliteti piljenica. Te su pilane u to vrijeme (1958. godine) ispilile otprilike 14 000 m³ trupaca godišnje, ali je u zaključku studije izneseno kako te pilane ipak ne odgovaraju zahtjevima suvremene pilanske obrade drveta i to zbog njihova nesigurnog pogona i često nedovoljne snage, te starosti, nepreciznosti strojeva i malog kapaciteta. U zaključku studije je izneseno i da je vijek pilana potočara bez sumnje već i tada prošao, ali da se ne smije zaboraviti njihova povijesna uloga u razvoju pilanske obrade drva.

Prema pričanjima nekadašnjih vlasnika pilana potočara u Gorskom Kotaru, one novijeg datuma, u najrazvijenom obliku, znatno su se razlikovale od nekadašnjih pilana. Najprimitivnije pilane potočare, koje je narod u Gorskom Kotaru nazivao "prasice"- zbog karakterističnog zvuka poput roktanja koji se mogao čuti za vrijeme piljenja, imale su pogon vodenim kolom, koje je bilo promjera 40 – 70 cm, a široko oko 2 m. Pred vodenim kolom je bila niska vodena brana, koja je stvarala malo jezerce ("jaz" ili "jez"). Odatle je voda padala na kolo. Svi dijelovi potočara bili su izgrađeni iz drveta, osim ručice jarmače, koja je bila željezna. Vodeno kolo bilo je direktno vezano za drveni jaram, pa je takva jarmača imala mali broj okretaja, jednako kao i samo kolo.

U samom pilanskom trijemu, maloj drvenoj nadstrešnici, jedini je radni stroj bila venecijanska jarmača s jednim listom pile. Na toj se jarmači vršilo raspiljivanje trupaca, a prema potrebi i okrajčivanje piljenica. Kod okrajčivanja bi se veći broj piljenica naslagao na kolica jarmače i okrajčio prvo s jedne strane, a zatim s druge. Prikračivanje piljenica, ako se vršilo, vršilo se ručnom pilom.

Daljnijim razvojem potočara razvile su se potočare koje su za pogon koristile vodena kola promjera oko 4 m, a širine do 1 m. Kod tih se potočara prijenos energije s vodenog kola na jarmaču vršio zupčanicima, pa je jaram imao veću brzinu. Starije takve potočare bile su izgrađene u potpunosti od drveta, čak i prijenosni zupčanici, dok su u novijima razni dijelovi, specijalno zupčanici, bili izrađeni od željeza. U takvim su se pilanama obično već nalazile po dvije kružne pile karakterističnog smještaja,

koji je omogućavao da jedan radnik vrši u jednom mahu okrajčivanje i prikraćivanje piljenica.

Svoj najveći domet, pilane potočare postigle su ugrađevanjem vodenih turbina umjesto vodenih kola. Uz ovakav pogon mogla se ekonomičnije trošiti voda, koje često nije bilo dovoljno. Ponegdje je i drvena venecijanska jarmača zamijenjena željeznom punom jarmačom. U nekim je potočarama ugrađen pored turbina i elektromotor za pogon jarmače u ono vrijeme kad nema dovoljno vode za pogon turbine.

Na novijim pilanama potočarama, tehnološki proces bio je također okarakteriziran svojom jednostavnošću. Obradba je vršena na malom broju radnih strojeva i proizvodio se ograničen broj sortimenata piljene građe. Stovarište trupaca svedeno je na mali prostor neposredno uz samu pilanu. S obzirom da se nisu stvarale zalihe i s obzirom na male količine trupaca, na stovarištu se nisu vršili nikakvi posebni poslovi oko sortiranja trupaca. Na nekim je potočarama kroz stovarište trupaca položen kolosijek kojim su se trupci uvažali u pilanski trijem. Kod drugih su se pak potočara trupci dopremali do jarmače kotrljanjem. U takvom su se slučaju trupci nalazili bočno pored samog pilanskog trijema, a eventualna nagutost terena olakšavala je kotrljanje trupaca. Pilanski trijem bio je malen, izgrađen od drveta, a obično je sa strane, odakle su se dovažali trupci, bio potpuno otvoren. Glavni radni stroj bila je venecijanska jarmača u koju se uprezalo 1 do 3 lista pile. Pile su obično bile debele 2 mm. Kolica na kojima se raspiljivao trupac kretala su se po drvenim valjcima smještenim u postolju kolica. Karakteristično je da se postolje kolica izrađivalo u nagibu suprotnom od kretanja kolica kod raspiljivanja trupca. Taj nagib olakšavao je radniku na radu s jarmačom ručno vraćanje kolica u početni položaj po završenom jednom rezu. Kapacitet jedne venecijanske jarmače iznosio je oko 1 do 3 m³ trupaca u 8 sati rada.

Kad se nakupilo dovoljno piljenica prelazilo se na prikraćivanje i okrajčivanje, koje se vršilo pomoću dviju kružnih pila karakterističnog rasporeda. Piljenica za okrajčivanje stavila se na kolica koja su se gurala po šinama. Piljenica se klatnom pilom porubila s jednog čela i odmah neposredno zatim okrajčala na krajčarici s jedne strane, a po završetku okrajčivanja porubila se i s drugog kraja. Kolica s piljenicom gurnula su se nazad, kako bi se izvršilo okrajčivanje i s druge strane. Piljenice su se bacale na pod pilane ili vagonet kojim su se otpremale iz pilanskog trijema. Proizvedena piljena građa u pravilu se odmah otpremala, pa zato i nije bilo potrebe za stovarištem piljene građe. Kod nekih većih potočara piljena građa se znala slagati po slobodnim površinama oko pilane.

5. Pilane pokretane parnim strojem

Pronalazak parnog stroja (J. Watt, 1778.god.) uvjetovao je i razvoj pilana na parni pogon. Prva parna pilana podignuta je 1803. god. u Engleskoj (Portsmouth).

Prve parne pilane u Hrvatskoj su se pojavile polovinom XIX. stoljeća. Na području Hrv. Primorja i Gorskog Kotara podignute su parne pilane: prva 1849. god. u Prezidu, druga 1850. god. u Crnom Lugu, a treća 1860. god. u Ravnoj Gori (slika 8).

Na području Hrvatske je 1900. god. bilo u pogonu ukupno 93 pilane. Parni stroj je sustavom transmisije preko glavnog vratila, te remenja i remenica pogonio, ne samo osnovne pilanske strojeve jarmače, nego i ostale pomoćne strojeve (kružne pile), što je znatno olakšalo rad (slike 9. i 10).

Slika 8. Panoramski prikaz parne pilane «Filipa Deutza i sinovi» u Turopolju (početak XX. st.)

Slika 9. Parni stroj (lokomobil)

Slika 10. Shema sustava prijenosa gibanja i snage u parnoj pilani

6. Suvremene pilane

Usporedno sa razvojem pilana na parni pogon kreće se i razvoj pila za obradu drva.

Prva pila jarmača željezne konstrukcije (puna jarmača) konstruirana je polovicom XIX. stoljeća u Engleskoj. Te prve pile jarmače imale su još uvijek samo 3 do 4 lista pile upregnuta u jaram (slika 11).

Efekt punih vertikalnih jarmača kretao se od 10 do 20 m³ trupaca u 8h. Nakon pronalaska parnog stroja i pila jarmača željezne konstrukcije, primitivne pilane potočare vrlo brzo su zamijenjene sa tada modernim parnim pilanama.

Prva kružna pila javlja se polovicom XVIII. stoljeća, a prvi patent za izradu kružnih pila potječe iz 1777.god. (Engleska). Te kružne pile upotrebljavale su se i kao primarni i kao sekundarni pilanski strojevi (slika 12).

Prva tračna pila konstruirana je početkom XIX. stoljeća (1808.god.), ali do prve praktične primjene tračnih pila dolazi tek krajem XIX. stoljeća (1885. god., Francuska). Naime, ta prva konstrukcija tračne pila bila je dalje poboljšavana, ali uprkos tome zaostajala je za, u to doba bolje razvijenim, pilama jarmačama i kružnim pilama (slike 13. i 14).

Tračne pile se naglo razvijaju i više primjenjuju od početka XX. stoljeća (kod nas od 1960. god.). Osnovna im je pozitivna karakteristika mogućnost individualnog piljenja i piljenja trupaca najvećih promjera (slika 15).

Slika 11. Puna okomita jarmača u radu (početak XX. st.)

Slika 12. Jedan konstrukcijski oblik kružne pile trupčare s početka XX. st.

Slika 13. Okomita tračna pila trupčara (poč. XX. st.)

Slika 14. Vodoravna tračna pila trupčara (poč. XX. st.)

Tehnologija obrade pilanskih trupaca u piljenice, tehnikom iveranja i piljenja ili samo iveranje, počela se razvijati u svijetu polovicom XX. stoljeća. Osnovna je karakteristika takve tehnologije u tome, da se u procesu mehaničke obrade proizvodi drvna građa i iverje, a u usporedbi sa klasičnom pilanskom obradom, relativno vrlo malo piljevine. Drvena se građa izradi potpuno na jednom stroju (kombinirani stroj za iveranje i raspiljivanje) ili se posebno vrši iveranje trupca u dvostrano ili četverostrano obrađenu prizmu, a zatim se na klasičnim pilanskim strojevima prizme paraju u piljenice. Sirovina za ovakav način mehaničke obrade su tanji pilanski trupci četinjača, često lošije kvalitete. Ne ulazeći ovdje u analizu tehnologije obrade trupaca iveranjem, treba upozoriti na činjenicu, da se povećanje učešća iverja (u odnosu na klasičnu pilansku obradu, gdje se iverje proizvodi iveranjem krupnih otpadaka) dešava ne samo na račun smanjenja učešća piljevine, već i na račun manjeg učešća drvne građe u ukupnom iskorištenju trupca.

Strojevi za iveranje trupaca stalno se usavršavaju, i to u svojim bitnim tehničkim karakteristikama, pa se u tom smislu mogu očekivati znatna poboljšanja i tehnike i cjelokupne tehnologije (slika 16).

Slika 15. Pogled na unutrašnjost jedne male suvremena pilana sa tračnom pilom trupčarom kao osnovnim radnim strojem

Slika 16. Pogled na unutrašnjost jedne suvremene pilane sa iveračima i višelisnim kružnim pilama kao osnovnim radnim strojevima i uređajima

Krajem 1967. godine i u toku prve polovice 1968. godine pojavili su se u stranim stručnim periodičnim i drugim publikacijama prikazi o najmodernijoj i prvoj elektronski upravljanoj pilani na svijetu s tračnim pilama kao osnovnim radnim strojevima.

Ova je pilana podignuta u gradiću Nybro u južnoj Švedskoj. Drvnoindustrijsko poduzeće A. B. Gustav Kahr (pilana, tvornica vrata i tvornica parketa) povjerilo je sredinom 1964. godine poduzeću Kahr Maskiner A. B. zadatak da projektira i izradi pilanu čiji će kapacitet odgovarati potrebama tvornice parketa i tvornice vrata istog poduzeća (kapacitet tvornice parketa iznosio je oko 1 milijun m² parketa godišnje, a tvornice vrata oko 400.000 kom. vrata godišnje). Osnovni zadatak projektiranja i izgradnje nove pilane bio je optimalno kvantitativno i kvalitativno iskorištenje sirovine (pilanskih trupaca) i istovremeno minimalni utrošak rada po jedinici proizvoda.

Nova pilana podignuta u Nybro je bila automatizirana pilana s tračnim pilama kao osnovnim strojevima. Kapacitet nove pilane je bio oko 70.000 m³ piljene građe godišnje u jednoj smjeni. Pilana je bila tako uređena da može proizvoditi neokrajčanu piljenu građu kao i okrajčanu piljenu građu.

7. Tendencije razvoja pilanske obradbe drva

Krajem 20. st. smo svjedoci zaoštrenih ekonomskih uvjeta, koji su se negativno odrazili na ekonomiku svih industrijskih proizvodnji, čak i u industrijski nerazvijenim državama. Ti negativni učinci se isto tako pokazuju u drvoj industriji koja je još dodatno opterećena sa nedostatkom radne snage za rad u šumama.

Sve to su uzroci koji su donjeli promjene u stogodišnjem načinu obrade drva. Prvo je došlo do promjene u izradi šumskih sortimenata, zatim u transportu sa stovarišta do same obrade drva. Sa mehanizacijom su sada stovarišta bila sa većim kapacitetom. Daljnim razvojem se radilo na tome da se postigne mehanizirana linija velikog kapaciteta, što je dovelo do zaključka da sada više nije potrebno toliko radnika kao prije. Oni su bili prespori u donošenju odluka (razmišljanju) kod krojenja trupaca i odabiranja potrebnih sortimenata. To je bio razlog da su za pomoć kod ograničenih radova počeli u mehaniziranu liniju ugrađivati elektronske naprave i računala, a što se radilo postupno.

Najprije se elektronika upotrebljavala za brzu i točnu izmjeru oblovine i registriranja podataka. Mjerna naprava za oblo drvo se je od najjednostavnije i manje točne razvila u skupu i točnu napravu koja zadovoljava sve propise za izmjeru drva. Mjerenje se vrši tako da trupac koji leži na transportnoj traci, prođe kroz mjernu napravu. Mjerna naprava izmjeri dužinu i debljinu trupaca po sekcijama na svakih 20 cm, podatke dalje pošalje do mikroračunala koji obrađuje podatke tako da izračuna srednji promjer trupca. Mjerenje oblovine pomoću fotoelektričnih naprava povezanih sa mikroračunalom daje jako točne podatke (preciznost do 0,5 cm) dužina je pa do 1 cm točnosti.

Kasnije se upotreba elektronike pojavila i kod upravljanja transporterima i kod sortiranja sortimenata. Naime, sa upotrebom računalskih programa za krojenje je potražnja za većim protokom trupaca uzrokovalo ugradnju računala za transport i

sortiranje. Sam proces je moguć tako da ga kontrolira i upravlja radnik ili pomoću programa koji sve procese kontrolira samostalno.

Moderne pilane više ne daju mogućnost čovjeku da sam prati proizvodnju i donosi odluke što i kako postupiti u određenom momentu. Brzine prolaza sirovine u toku obrade su tako velike da čovjek jednostavno ne stigne reagirati u određenim momentima i donositi odluke. Zato se danas u svim modernijim pilanama koriste računala koja na osnovu informacija dobivenih od osjetljivača i senzora donose odluke kako obraditi određeni trupac, kako okrajčiti piljenicu, kako ju prikratiti itd.

Kod nas su uvedena dva načina piljenja trupaca: grupni način piljenja i individualni način piljenja. Grupni način piljenja diktiraju jarmače, šta zahtjeva pripremu sirovine, u smislu sortiranja po promjeru trupca. Kod ovakvog načina piljenja ne postoji mogućnost utjecaja na promjenu dimenzije piljenica u toku rada, što daje sve manju prednost ovakvim strojevima u pilani. Naime, da bi se promjenio raspored pila mora se zaustaviti kompletna proizvodnja, a da se i sa tom promjenom ne zna kakva će kvaliteta piljene građe biti proizvedena.

Pred ovakvim načinom piljenja veliku prednost imaju tračne pile sa cijelim nizom različitih konstrukcija od kojih svaka ima određene specifičnosti i prednosti.

Sve veću i odlučujuću prednost tračnih pila pred jarmačama predstavlja lakša mogućnost uvođenja tehnološke kontrole režima piljenja tračnih pila putem računala. U svakom momentu je moguća izmjena pozicija pila, u odnosu na kvalitetu trupaca, dimenziju trupaca kao i neke druge faktore.

Kako danas još ne postoji praktična mogućnost snimanja kvalitete trupaca po cijelom presjeku, način piljenja se određuje na osnovu njegove tri dimenzije: promjer, pad promjera i dužina. To su osnovni parametri na temelju kojih računalo donosi odluku, u sprezi sa izvršenjem specifikacije, o načinu piljenja.

Kod jednostrukih tračnih pila za koje računalo određuje način piljenja, čovjek, kao kontrolor procesa može utjecati na izmjenu, što ovisi o kvaliteti piljenice i njenoj dimenziji. Nakon ovakve izmjene računalo opet određuje optimalnu poziciju pila i kontrolira daljnji proces. Takav stroj se može vrlo uspješno koristiti i kod piljenja hrasta i bukve.

Postupak obrade je nešto jednostavniji kod višestrukih tračnih pila (dvostruke i četverostruke). Način piljenja se ovdje također određuje putem računala na osnovi podataka o dimenzijama trupaca dobivenih putem senzora. S obzirom da se ponekad radi o kompliciranim tehnologijama sa povratnim hodovima dijela ispiljenih trupaca, potrebno je dosta dugo "pamtiti" kako će se svaki dio dalje piliti. To je vrlo važno znati, jer se najčešće radi o pilanama sa kombinacijom kontinuiranih prolaza trupaca i povratnih hodova njihovih djelova. Ovakvi vidovi pilane se najčešće koriste za obradu četinjača i drugih mekih vrsta drva.

U kombinaciji sa ovakvim primarnim strojevima se koriste i iverači koji prilikom prvog prolaza trupca prave prizmu, a iza njih višestruke tračne pile izrađuju piljenice.

Tako izrađene prizme ili grede se prerađuju u piljenice, najčešće na dvoosovinskim višelistnim kružnim pilama sa vrlo uskim propiljcima. Ovako vođena proizvodnja u primarnoj pilani osigurava točno izvršenje specifikacije po kvaliteti, dok kvalitetu piljene građe ne može garantirati radi ranije spomenutih razloga.

Slična tehnologija ovoj spomenutoj se može provesti i sa kružnim pilama kao osnovnim strojevima. No one su vrlo nepopularne zbog velikog propiljka.

Nakon izrade piljene građe u pilani, neophodno ju je prije uskladištenja i sušenja presortirati po dimenziji i klasi kvalitete. Ako se radi o okrajčanoj građi onda se danas sve više u modernim pilanama koriste sortirnice za građu, koja znatno pojednostavljaju rad na skladištu. Uređajem za slaganje istovrstne građe u pakete ili

složajevе za sušenje (vitlovi), olakšava se rad, smanjuje broj radnika na teškim poslovima i povećava produktivnost. Na ovakvim sortirnicama čovjek samo određuje kvalitetu građe, a dimenzije "očitava" stroj pomoću senzora. Na temelju tih podataka, građa putem transportera dolazi do određenog mjesta i tu ostaje do momenta slaganja u pakete. Evidencija o količini i dimenziji je kontrolirana računalom.

Neokrajčana piljena građa predstavlja problem za organiziranje automatskog sortiranja radi svoje nejednoličnosti u dimenzijama. Iz tog razloga se pri sortiranju takve vrste građe još uvijek mora koristiti čovjek.

Sušenje je također jedan od ciklusa u procesu proizvodnje piljene građe i predstavlja važnu kariku u povezivanju finalne i primarne proizvodnje. Ovisno o kvaliteti sušenja direktno zavisi kvaliteta i uspješnost finalizacije primarnog proizvoda, a sam proces sušenja je također vezan za računalu.

Ovakvim uvođenjem rukovođenja proizvodnje putem računala nastoji se smanjiti utjecaj čovjeka da svojim ponekad subjektivnim odlukama ne utječe na proizvodnju.

Viši stupanj obrade piljene građe se svodi najčešće na blanjanje piljenica i davanja konačne dimenzije, dok manji dio pilane u svom sklopu proizvodnje sadrži procese spajanja: podužno i poprečno ljepljenje. Takva tehnologija je uobičajna za četinjače. Za sada kod listača krajnju fazu u obradi predstavlja izrade suhih elemenata, a osnovni cilj je odgovarajuća suhoća drva, točnost dimenzija i kvaliteta.

Najveću ulogu je elektronika imala kod krojenja piljenica, gdje je dosegla svoj vrhunac sa uvođenjem računala i programa za krojenje piljenica optimiranjem.

Danas se istražuje mogućnost automatskog određivanja kakvoće piljenica i na temelju toga optimalnog načina izrade elemenata iz piljenica. Za to je potreban kompjuterski program koji optimizira krojenje piljenica na osnovi njezinih grešaka i zadanih dimenzija elemenata koje je potrebno proizvesti iz zadane piljenice. Krojenje piljenica u elemente u industrijskim se uvjetima obavlja najčešće poprečno-podužnim ili podužno poprečnim načinom. U proizvodnji elemenata od tvrdih vrsta drva kvalitativno iskorištenje ovisi dimenzionalnoj strukturi elemenata, pri čemu je cilj takvog iskorištenja proizvodnja elemenata što većih dimenzija (dužina i širina), uz određene kvalitativne zahtjeve kao što su potpuna čistoća elemenata, pravilna žica, jednoličnost strukture i teksture, bez kvrga i pukotina.

Računalski program sastoji se od dva programa: 1. optimizacija podužno-poprečnog krojenja piljenica simulacijom na računalu; 2. optimizacija poprečno-podužnog krojenja piljenica simulacijom na računalu. Nakon izvršenja oba kompjuterska programa, te na osnovi većeg kvantitativnog iskorištenja piljenice računalu predlaže prepreku sheme krojenja piljenice. Piljenica se smješta u dvodimenzionalni koordinatni sustav. Prema istom načelu svaka se pojedina greška piljenice smješta u koordinatni sustav x,y. Postavljanjem mreže kvadrata dimenzija 3 x 3 mm na piljenicu, računalu je omogućeno "čitanje" piljenice i njezinih grešaka. Računalu "čita" podatke sa piljenice pomoću tzv. binarne mreže te, ovisno o popunjenosti svakog pojedinog kvadrata, ustanovljuje "zdravo drvo" ili "grešku". Računalu uvijek "pokušava" smjestiti što dulji element između grešaka, a unutar rubova piljenice. Takav pristup maksimiranju kvantitativnog iskorištenja obvezatno ne daje i maksimalno iskorištenje, jer uvijek postoji mogućnost da kraći elementi "bolje" popune površine zdravog drva. No imajući na umu potrebe finalne industrije za duljim elementima, a samim time i veću vrijednost elemenata, takav je pristup problemu opravdan. Nakon provedene optimizacije podužno-poprečnog i poprečno-podužnog načina izrade elemenata računalu uspoređuje kvantitativna iskorištenja obaju načina,

te na osnovi većega kvantitativnog iskorištenja donosi preporuku o načinu izrade elemenata. Nakon toga, računalu je potrebno zadati specifikaciju elemenata.

Vrijednosno iskorištenje sirovine upravno je proporcionalno kvantitativnome i kvalitativnom iskorištenju. Računalni program napravljen radi određivanja načina izrade elemenata, rješava problem usporedbom kvantitativnih iskorištenja pri poprečno-podužnom i podužno-poprečnom načinu izrade elemenata. Sustav otkrivanja grešaka na piljenici, uz podršku računala u smislu optimalnog krojenja piljenice svakako bi riješilo dilemu pri određivanju načina krojenja pojedine piljenice. Naime, čovjekova se odluka mora prihvatiti s određenom sa rezervom, pogotovo glede piljenica koje imaju "previše grešaka za podužno-poprečni način, a premalo grešaka za poprečno-podužni način krojenja".

Za piljenje masivnog drva u pilanskoj se tehnologiji danas upotrebljavaju gotovo isključivo rezne vrste pila, dakle alati s oštricom. Međutim, u nekim istraživačkim centrima u svijetu, traže se drugi, nekonvencionalni načini za razdvajanje drva bez nastanka piljevine, što je danas, inače najveći nedostatak razdvajanja drva pilama.

Do sada su najvažnija istraživanja razdvajanja drva bez upotrebe pila obavljena na slijedećim postupcima: razdvajanje rezanjem, razdvajanjem laserom, razdvajanje mlazom tekućine, razdvajanje ultrazvukom.

Ukratko ćemo opisati neka istraživanja razdvajanja drva rezanjem. Prvi se način sastoji u tome da se drvo reže nožem na strojevima sličnim onima za proizvodnju rezanog furnira. Dosadašnjim ispitivanjima rezane su piljenice malih debljina, od različitih vrsta drva. Problem je ovakvog rezanja drva u utrošku energije, lošoj kvaliteti rezne površine (pukotine), netočnost debljine proizvedenog drva, eventualnoj potrebi zagrijavanja drva i dr. Ipak dosadašnji rezultati ohrabruju i vjeruje se da bi rezanje masivnog drva furnirskom tehnikom u budućnosti mogla naći uspješnu primjenu u proizvodnji masivnog drva manjih debljina.

Druga ispitivanja rezanja prizme na principu izrade furnira obavljena su uz vibraciju noža i također u izradi tankih piljenica. Ovim je načinom rezanja smanjena energija rezanja i postignuta bolja površina reza. Rezultati rezanja na eksperimentalnim uređajima nisu potpuno zadovoljili i ne obećavaju mogućnost komercijalne primjene takvog sistema u praksi.

Treći se način razdvajanja rezanjem zasniva na uzdužnom rezanju sirove prizme jednim nožem ili s više njih. Na specijalnom stroju noževi su stacionirani, a prizma, visine do 15 cm, kreće se slično kao na jarmači pa se proizvodi prizmatško masivno drvo ("piljenice") željenih debljina. Izrađen je već i prototip takvog stroja za uzdužno rezanje prizme od četinjača, s brzinom pomicanja prizme do 100 m/min u kontinuiranom postupku. Pri tom utrošak energije rezanja nije veći od utroška energije piljenja. Proces rezanja gotovo je bešuman. Od ovakvog se postupka očekuje da će naći širu primjenu u proizvodnji masivnog drva četinjača.

Istraživanja, razdvajanjem drva, laserom izvodila su se i na Šumarskom fakultetu u Zagrebu. Upotrijebljen je laser izlazne snage oko 600 W. Probe su bile hrastove piljenice debljine 25 mm. Maksimalna moguća brzina pomicanja probe za potrebno razdvajanje bila je oko 0,5 m/min. Istraživanja su vršena uz različita stanja sadržaja vode u drvu. Utvrđeno je da karbonizirani sloj koji nastaje ne prodire dublje od 0,30 mm u unutrašnjost; brzina pomaka prilikom razdvajanja znatno utječe na kvalitetu odvojenih površina. Rezultati istraživanja pokazali su da bi ovaj postupak mogao imati industrijsku primjenu. Osim toga, sadržaj vode u drvu ne utječe bitno na brzinu pomaka i kvalitetu dobivene površine; brzina pomaka ima vrlo važnu ulogu u razdvajanju drva laserom; pri malim brzinama pomaka dolazi do jakog spaljivanja

drva na izlazu zraka iz uzorka, a pri velikim brzinama, laserska zraka ne prodire kroz cijeli uzorak (ne dolazi do razdvajanja na cijeloj debljini uzorka). Najbolji rezultati su postignuti od 0,70 m/min. Debljina karboniziranog sloja drva vrlo je mala tako da se u daljnoj obradi može izbjeći blanjanje. Spaljani dio drva bi bilo potrebno samo malo pobrusiti. Širina reza mjerena je s točnošću od 0,01 mm i iznosila je prosječno oko 0,50 mm, što je u odnosu na klasične tehnologije vrlo mala širina. Što se tiče nepreciznosti (netočnosti) linije razdvajanja, eventualna odstupanja od pravocrtnog reza mogu nastati samo zbog greške u pomaku stola. Kako je taj stol vođen CNC uređajem, ta odstupanja su zanemariva. Greška koja se pri ovom načinu razdvajanja pojavljuje jest odstupanje paralelnosti laserskog snopa (klinasti rez), a time i okomitost reza. Ovo odstupanje se pojavljuje zbog dužine fokusa laserskog svjetla u odnosu na debljinu uzorka drva. Pri debljini uzorka od 25 mm ovo odstupanje se kreće oko 0,35 mm.

Istraživanjima razdvajanja vrlo tankog masivnog drva mlazom vode pod visokim pritiskom utvrđeno je da je širina reza iznosila oko 0,3 mm, a rubovi reza bili su pravilni i čisti. Danas se već proizvodi komercijalna kompjuterizirana oprema za razdvajanje (krojenje) tankih materijala vodom pod pritiskom, ali se takvi sistemi još ne primjenjuju u drvnoj industriji.

Literatura

1. Babunović, K., 1992: Detekcija grešaka drva u funkciji sustava automatske proizvodnje elemenata, *Drvna industrija*, 43 (2): 71-77.
2. Babunović, K., 1992: Kvantitativno iskorištenje kao kriterij za kompjutorsko određivanje načina krojenja piljenica u elemente, *Drvna industrija*, 43 (4): 136-144.
3. Babunović, K., 1990: Optimizacija krojenja piljenica kompjutorskom metodom, *Drvna industrija*, 41 (11-12): 205-208.
4. Butković, J., 1986: Primjena laserskog razdvajanja u tehnologiji obrade masivnog drva, *Drvna industrija*, 36, (11-12): 275-276.
5. Butković, J., Od pripreme trupaca do finalnog proizvoda, interna studija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
6. Brežnjak, M., 1992: Norveška pilana godine, *Drvna industrija*, 43 (4): 169-170.
7. Brežnjak, M., 1997: Pilanska tehnologija drva 1, Udžbenik, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
8. Brežnjak, M., 1992: Procesna tehnologija u pilani i kvaliteta proizvoda, *Drvna industrija*, 43 (3): 113-114.
9. Devjak, S.; Merzelj, F., 1997: Metodološke osnove za vođenje optimalnog postupka piljenja trupaca, *Drvna industrija*, 48 (3): 129-136.

10. Goglia, V., 1994: Strojevi i alati za obradu drva I, Udžbenik, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
11. Hallock, M., 1979: Sawmilling roots, Reprinted from "Elektronics in the Sawmill", Proceedings of the Elektronics Workshop, Sawmill and Playwood Clinic, Portland, Oregon.
12. Horvat, I. 1963: Pilanska prerada drva 1, Skripta, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
13. Horvat, Z., 1985: O razvoju pilanske tehnologije, Drvna industrija, 36, (9-10): 231-233.
14. Ištvančić, J., 1999: Povijest razvoja strojeva za pilansku obradbu drva, interna studija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
15. Leible, O., 1998: Izrada drvenih lamela ravnim pomakom noža, Drvna industrija, 49 (4): 221-226.
16. Palović, J., 1983: Tehnologija i tehnika prerade tankih trupaca u Srednjoj Europi, Bilten ZIDI, 11, (3): 63-84.
17. Petrič, Z., 1983: Elektronska tehnika na mehaniziranih linijah za lupljenje, krojenje in sortiranje jelove oblovine, Bilten ZIDI, 11, (3): 85-95.
18. Thunell, B., 1967: History of Wood Sawmilling, Wood, Science and Technology, 1, (3): 173-176.
19. Ugrenović, A., 1957: Eksploatacija šuma, Poljoprivredni nakladni zavod, Zagreb.
20. ***** Podjela i karakteristike pilana, Predavanja, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
21. ***** 1967: Die säge im Laufe der Zeiten, Internationaler Holzmarkt, 58, (23): 10-14.
22. ***** Kratki prikaz povijesnog razvoja pilanske obradbe drva, Predavanja, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
23. ***** Historijat mehaničke obrade drveta, Predavanja, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
24. ***** Šumarska enciklopedija I, II, III, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb.
25. ***** 1967: Drvnoindustrijski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb.