

# Šumarsko inženjerstvo i upravljanje šumskim radovima – osvrt na put unazad i naprijed znanstvene discipline

Hans Rudolf Heinimann

## Nacrtak

*Šumarsko inženjerstvo i upravljanje šumskim radovima suočilo se s problemom poboljšanja znanstvene uočljivosti, preusmjeravajući istraživačke napore u buduće izazove i jačanje samosvijesti. Cilj je ovoga rada istražiti obrasce koji su oblikovali razvoj izvođenja šumskih radova kao znanstvene discipline, dajući prikaz kako bi šumski radovi trebali izgledati 2020. godine, utvrđujući zajedničko razumijevanje za budućnost discipline i raspravljajući o budućim glavnim izazovima. Ispitivanje je utvrdilo pet razdoblja stabilnoga razvoja stanja (paradigme) i razvilo viziju mrežnih sustava izvođenja šumskih radova izgrađenih od »samoorganizirajućih« jedinica. Zatim se raspravlja o izazovima s kojima ćemo se vjerojatno suočiti u području »inženjerstva pridobivanja i transporta drova«, »upravljanja šumskim radovima«, »ergonomije u šumarstvu« te »ekološkom pogodnosti izvođenja šumskih radova«. Namjera je istraživanja potaknuti široke rasprave o budućem smjeru šumarskoga inženjerstva i upravljanja šumskim radovima te izraditi temelj za redizajniranje odgovarajućega nastavnoga plana u visokoškolskom obrazovanju.*

*Ključne riječi: šumski radovi, šumarsko inženjerstvo, paradigme, budući izazovi, znanstvena disciplina, povijesni razvoj*

## 1. Uvod

Izvođenje šumskih radova bio je glavni naziv koji obilježava znanstvenu disciplinu koja se bavi izradom, primjenom, kontrolom i stalnim poboljšanjem sustava šumskih radova. Vrijednost discipline usmjerene prema problemu ovisi o njezinu prepoznavanju u obitelji znanstvenih zajednica i o njezinoj sposobnosti da pruži rješenja problemima koji se javljaju. Posljednjih deset godina suočeni smo s osnovnim ekonomskim, socijalnim i ekološkim promjenama koje se mogu okarakterizirati trendovima (Davis i Stephenson 2006). Izvođenje šumskih radova kao disciplina koja se temelji na tehnologiji potaknuta je i tehnologijom i problemima. Informacijska, WWW i senzorska tehnologija imale su velik utjecaj na naše područje interesa. S druge strane, problemi globalne promjene, povećana potražnja za resursima ili kritički stav društva prema tehnologiji također su oblikovali razvoj. S našega gledišta glas je zajednice izvođača šumskih radova bio slab ili je potpuno utihnuo, što je dovelo do smanjenja financiranja i

priznavanja. Međunarodno udruženje šumarskih istraživačkih organizacija (IUFRO) poduzelo je velike napore (1) kako bi ojačalo istraživanje, (2) proširilo strateško partnerstvo i suradnju, (3) povećalo razmjenu sa znanstvenom zajednicom te (4) poboljšalo razmjenu s kreatorima politike. Takav bi razvoj trebao biti pokretan budućim izazovima i trebao bi se temeljiti na zajedničkom razumijevanju što su osnove odgovarajuće znanstvene discipline. Prijašnji radovi o izvođenju šumskih radova kao znanstvenoj disciplini pokrivali su razdoblja od 70-ih godina do 90-ih godina prošloga stoljeća (Heinimann 1995, Samset 1992, Sundberg 1988).

Cilj je ovoga rada (1) ispitati koncepte svjetonazora (paradigme) koji su oblikovali razvoj izvođenja šumskih radova kao znanstvene discipline, (2) prikazujući kako bi šumski radovi mogli izgledati 2020, (3) utvrđujući zajedničko razumijevanje za budućnost discipline te (4) raspravljajući o glavnim izazovima s kojima ćemo se vjerojatno suočiti. Opseg je ovoga rada pomalo ograničen autorovom percepcijom, očekivanjima i vrijednostima što će utjecati na

ideje budućega razvoja. Također je oblikovan »zadnjačkom« perspektivom koja vjerojatno zanemaruje razvoj u ostalim kulturnim područjima. Rad će prvo opisati pet paradigmi razvojnih faza, zatim zacrtati viziju sustava izvođenja šumskih radova 2020. kao mrežnoga sustava samoorganiziranih jedinica, potom predložiti definiciju šumarskoga inženjerstva i upravljanja šumskim radovima kao znanstvene discipline, te konačno zacrtati izazove za inženjerstvo pridobivanja i transporta drva, upravljanje šumskim radovima, ergonomiju u šumarstvu i ekološku pogodnost šumskih radova.

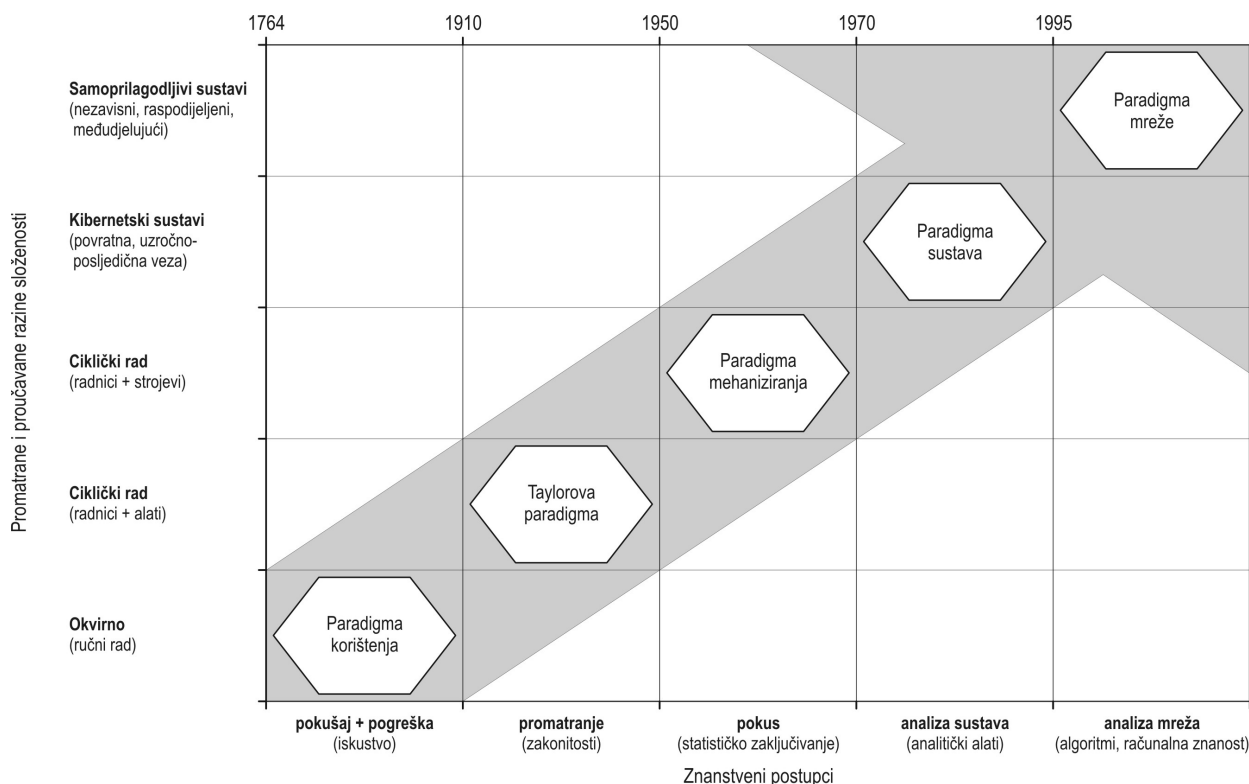
## 2. Osvrt unazad

### 2.1 Fenomen diskontinuirane evolucije

Znanstvene su se discipline stalno razvijale, slično biološkim sustavima. Razumijevanje mogućih putova budućega razvoja zahtijeva osnovno razumijevanje kako se sustavi mijenjaju tijekom vremena. U biologiji se evolucija shvaća kao »polagani tijek mutacija« koji postupno dovodi do novih oblika organizama i sustava (Gersick 1991). Međutim, nova teorija »diskontinuirane evolucije« predstavlja izazov pojmu kontinuirane postupne promjene (Gould i Eldredge 1993). Temelji se na pretpostavci da sustavi postoje veći dio svoje povijesti u nizu uzastopnih,

stabilnih razina stanja koje su povezane nelinearnim »prekidima« diskontinuiranih promjena. Relativno duga razdoblja stabilnosti isprekidana su kompaktnim razdobljima kvalitativnih, metamorfnih promjena. Taj se koncept isprekidane ravnoteže može ustanoviti u različitim područjima znanosti, npr. u biologiji (Gould i Eldredge 1993), u filozofiji znanosti (Kuhn 1970), organizacijskoj teoriji (Gersick 1991) ili u razvoju računalnih programa (Aoyama 2002, Wu i dr. 2004).

Thomas Kuhn (1970) u skladu s tim pružio je model »isprekidane ravnoteže« za znanstvene discipline, u kojem je razdoblja stabilnoga stanja nazvao »normalna znanost«, a razdoblja diskontinuirane promjene »znanstvena revolucija«. Uveo je naziv »paradigma« za određivanje specifičnoga razdoblja stabilnoga stanja »normalne znanosti«. Ivar Samset, jedan od vodećih znanstvenika šumskih operacija 50-ih i 60-ih godina prošloga stoljeća, prvi je opisao fenomen »diskontinuirane evolucije« povezane s izvođenjem šumskih radova (Samset 1966). Iako nije utvrdio uzorke diskontinuirane evolucije za našu znanstvenu disciplinu kao cjelinu, prikazao je otkrića za isprekidani diskontinuitet za evoluciju norveške primjene žičara. Prethodna autorova istraživanja (Heinimann 1995, 1997) pokazala su da se slični evolucijski uzorci mogu pronaći za cijelu domenu šu-



**Slika 1.** Uzorci evolucije koji opisuju evoluciju šumarskoga inženjerstva i upravljanja šumskim radovima kao znanstvenu disciplinu

marškoga inženjerstva i upravljanja šumskim radovima. Međutim, daleko smo od potpunoga razumijevanja pojave i razvoja našega područja interesa s obzirom na to da ne samo da postoji varijacija u vremenu već i varijacija u prostoru, a njihova su posljedica različiti putovi razvoja u različitim područjima svijeta.

## 2.2 Paradigmatski uzorci evolucije

Prema Kuhnu (1970) paradigme su koncepti svjetonazora koji (1) definiraju znanstvenu misao (osnovne pretpostavke), (2) utvrđuju značajne probleme te (3) oblikuju tip pitanja koja će se istražiti. Promjene paradigmi (1) mijenjaju osnovne pojmove u osnovi istraživanja, (2) inspiriraju nove putove teorije i eksperimenata, (3) potiču nove tehnike istraživanja te (4) promiču nove standarde dokaza. Pitanje koje se postavlja jest kako se ti promjenljivi uzorci relativne stabilnosti i drastičnih promjena mogu primijetiti također u našem području interesa, šumarskom inženjerstvu i upravljanju šumskim radovima.

Naše se istraživanje temelji na pretpostavci da se »velika slika« evolucije šumarskoga inženjerstva i upravljanja šumskim radovima može odrediti dvjema glavnim dimenzijama: (1) znanstvenim teorijama i postupcima (os x na slici 1), te (2) uočenom i istraženom razinom složenosti proučavanih objekata (os y na slici 1). Razina složenosti slijedi »kostur znanosti«, kako to predlaže Boulding (1956). Prva dimenzija, znanstvene teorije i postupci, može se opisati uzastopnim nizom znanstvenih postupaka, a druga dimenzija, razina složenosti, zasebnim skupom razina složenosti, koji se kreće od jednostavnoga, statičkoga okvira do samoprilagođavajućih, autonomnih sustava (slika 1).

Dalje će se detaljnije opisati pet stabilnih razdoblja evolucije (slika 1).

### 2.2.1 Paradigma korištenja

Organizirani zapisi znanja o izvođenju šumskih radova potječu iz 17. stoljeća kada su predlagачi merkantilizma u Francuskoj sustavno bilježili inženjerske spoznaje. Udžbenici koje je objavio visoko pozicionirani francuski državni dužnosnik Duhamel du Monceau, prema našim spoznajama, predstavljaju kolijevku šumarskoga inženjerstva i upravljanja šumskim radovima u modernom znanstvenom svijetu. Nakon prvoga naslova trilogije »Umijeće izrade drvenoga ugljena« (Duhamel du Monceau 1761) slijedi »Iskorištavanje šuma – s opisom umijeća šumskih praksi« (Duhamel du Monceau 1764), a završava s naslovom »O prijevozu i zaštiti drva, čvrstoći materijala, s naglaskom na brodogradnju« (Duhamel du Monceau 1767). Tekstovi jasno naznačuju logičku podlogu, osiguranje drva potrebnoga za ut-

vrde francuske vojske, te drva potrebnoga za izgradnju ratnih brodova za francusku mornaricu. Tu prvu fazu razvoja nazivamo »paradigma korištenja« jer je uglavnom motivirana povećanom potražnjom drva za državne potrebe. Točan opis strukturnih aspekata početak je organiziranih teorijskih spoznaja u gotovo svim područjima (Boulding 1956). U našem području interesa to je uglavnom sustavno istraživanje prešutnih spoznaja sjedinjenih s praksom koje izlaze iz pokušaja i pogrešaka, a definiraju se iskustvenim razmatranjima.

### 2.2.2 Taylorova paradigma

Pojava industrijskoga inženjerstva kao znanstvene discipline na početku 20. stoljeća potaknula je (1) sustavno ispitivanje radnih procesa studijem rada i vremena te (2) razvoj temeljne obuke radnika na osnovi pretpostavke da postoji jedna »najbolja djelatnost pojedinca« koja se može dobiti iz znanstvenoga ispitivanja radnih elemenata i njihovom sustavnom preraspodjelom korištenjem mjerila izvedbe. Postoje naznake da je čuveni francuski specijalist za utvrde Vauban prvi napravio studije rada (Hilf 1926), koje će postati vodećom metodologijom 150 godina poslije kada su plodonosni tekstovi Fredrica Taylora o studiju vremena rada i odnosima jedinice proizvoda i cijene (Taylor 1895), o upravljanju trgovinama (Taylor 1903) te o znanstvenom upravljanju (Taylor 1911) pokrenuli isprekidani diskontinuitet razvoja. Tu drugu fazu razvoja nazivamo »Taylorova paradigma« jer je bitno promijenjen svjetonazor iz pojedničanoga rada u ciklični rad koji se može deterministički izraditi i kontrolirati. Također je imao odlučujući učinak na filozofiju obuke radnika. Stoljećima je osobno promatranje bilo i sredstvo stjecanja vještine i stručnosti. Taylorov koncept studija vremena ušao je u šumarstvo oko 1910. godine (Braniff 1912) i doveo je do prvoga osnovnoga opisa »zakona obujma komada« koji izražava načelo da se utrošak vremena po jedinici obujma smanjuje s povećanjem obujma komada rada (Ashe 1916, Strehlke 1927). Novu paradigmu koju je opisao Hilf (1926) kao »Die Zahl herrscht – Das Gefühl muss schweigen« (»Brojevi vladaju – osjećaji moraju šutjeti«) započeo je osnivanje znanstvenih skupina posvećenih istraživanju šumskoga rada. Institut znanosti šumskih radova (Hugo H. Hilf, Njemačka), osnovan 1927. godine, treba postati jezgrom za širenje znanosti o šumskom radu. Alexander Koroleff je 1927. godine počeo raditi u Odjelu za šume Kanadskoga udruženja za celulozu i papir – CPPA (Sundberg 1988), što ga je potaknulo da objavi mnoge tekstove koji su se bavili sjećem celuloznoga drva, privlačenjem i prijevozom drva, izgradnjom cesta i gospodarenjem šumama, čime je postavio norme prihvaćene širom svijeta za

rad u ovom području (Sundberg 1988). Otprilike 1912. godine Šumarska služba SAD-a osnovala je Odjel za pridobivanje drva unutar Ureda uzgajanja šuma (Girard 1917), iz kojega su nastale mnoge pionirske studije (Ashe 1916, Girard 1917, 1922). Međutim, tijekom razdoblja »Taylorove paradigme« prevladavali su fizički rad i privlačenje konjima (Koroleff 1952), a Drugi je svjetski rat zaustavio napore uvođenja mehanizacije i čak doveo do ozbiljnih preokreta.

### 2.2.3 Paradigma mehanizacije

Tijekom Drugoga svjetskoga rata razvile su se nove važne teorije za rješavanje bitnih inženjerskih problema (Sheridan 1985). Problem kretanja po bespuću bio je odlučujući za pokretanje mehaniziranja šumskih radova nakon Drugoga svjetskoga rata. Tim trećim razdobljem razvoja (slika 1), koje počinje oko 50-ih godina prošloga stoljeća, prevladava »paradigma mehanizacije« zato što su istraživački napor usmjereni prema zamjeni čimbenika proizvodnje »rad« u čimbenik proizvodnje »kapital«. Spoznaja se mehaniziranja privlačenja drva proširila ponajprije iz SAD-a i Kanade do Europe i SSSR-a na kraju razdoblja obnove od 1923. do 1927. (Koroleff 1952). Međutim, do glavnoga je napretka došlo kada su nakon Drugoga svjetskoga rata vlade zemalja uložile napore u promicanje razvoja strojeva za privlačenje osnivanjem »Programa tehnologije i razvoja šumskih usluga« (bivši »Razvoj i ispitivanje opreme«) u SAD-u, Središnjega instituta za istraživanje mehanizacije privlačenja i izvora energije u šumarskoj industriji ZNIIME u SSSR-u (Koroleff 1952) te Upravnoga odbora za mehanizaciju CPPA Odjela za šume 1948. u Kanadi (MacDonald i Clow 2003). Ti su napor urodili trima tipovima novih strojeva koji bi trebali pokrenuti revoluciju pridobivanja drva: (1) motorna pila, (2) skider te (3) kamion za prijevoz drva. Vlade su usporedno gradile laboratorije za ispitivanje tjelesnih mjera i fiziološke mogućnosti populacije koja će biti operateri strojeva (uglavnom piloti, mornari, vojnici), što će dovesti do osnivanja nove znanstvene discipline poznate pod nazivom »inženjerstvo ljudskoga čimbenika« u SAD-u ili pod nazivom »ergonomija« u Velikoj Britaniji (Sheridan 1985). Osim toga, metode matematičke statistike koje je prvotno razvio Fisher (1925, 1935) ušle su u područje šumskih radova, mijenjajući i eksperimentalni oblik i analize podataka (Steinlin 1987).

Godine između 1950. i 1970. bile su razdoblje najveće aktivnosti u razvoju mehanizacije. Dovele su do niza rezultata koji su bili nužni za prihvaćanje šumskih radova kao znanstvene discipline. Prvo je nastupilo osnivanje nevidljivoga fakulteta (Silversides 1988), koji se odnosi na malu skupinu istraživača

koji redovito razmjenjuju informacije o najnovijem napretku na istraživačkom polju i održavaju međusobne kontakte. Najvažniji učenjaci toga nevidljivoga fakulteta bili su Ivar Samset, Norveška, Ulf Sundberg, Švedska, Hansjürg Steinlin, Švicarska/Njemačka, Kalle Putkisto, Finska, C. Ross Silversides, Kanada, Louis-Jean Luissier, Kanada, Tom Walbridge, SAD, Peter Koch, SAD, Konstantin S. Voroncin, SSSR, Ivan Klemenčić, Jugoslavija, te ostali (Sundberg 1988). Drugo, osnovana je formalna struktura za međunarodnu razmjenu znanstvenih informacija kada je Međunarodno udruženje šumarskih istraživačkih organizacija (IUFRO) uvelo novu organizacijsku strukturu na svjetskom kongresu 1948. godine (Zürich, Švicarska), koja se sastojala od 11 sekcija, a među njima je bio jedan odjeljak: 32. »Operativna djelotvornost«. Voditelji su odjeljka bili G. Luthman (Švedska, 1949), G. Callin (Švedska, 1950), U. Sundberg (Švedska 1951 – 1961), I. Samset (Norveška, 1962 – 1967), B. Ager (Švedska, 1968 – 1971). Treće, stvorena su i popunjena brojna profesorska mjesta na sveučilištima (Sundberg 1988). Kraljevski je fakultet šumarstva u Švedskoj 1949. godine uveo nastavni predmet »Operativna djelotvornost« na čijem je čelu od 1949. do 1951. bio G. Luthman, a od 1952. do 1985. godine U. Sundberg. Slični su predmeti utemeljeni u Njemačkoj 1955. (Göttingen, Gläser) i 1958. (Freiburg, H. Steinlin). Ivar Samset je 1956. godine otvorio ured u Asu, Norveška, a 1963. Sveučilište u New Brunswicku primilo je na slična mjesta L. Seheulta i T. Bjerkelunda. Utjecaj razdoblja mehanizacije još je uvijek u tijeku, posebice u istočnoj i južnoj Europi, gdje i danas postoje nastavni predmeti naziva »Šumarska mehanizacija«.

### 2.2.4 Paradigma sustavâ

Razvoj različitih strojeva eksponencijalno povećava složenost zbog velikih mogućnosti za izvođenje određene operacije. Osim toga, neki od pomišljivih koncepata bili su toliko novi da se njihova primjena nije mogla planirati na temelju tradicionalnoga iskustva. Nedostajao je pristup za vrednovanje najboljega slijeda radova sječe i izrade, prijevoza i trgovanja drvom (Silversides 1988). Slični su se problemi javljali u vojnoj tehnologiji tijekom Drugoga svjetskoga rata i pokrenuli su nove teorije za rješavanje bitnih problema inženjerstva (Sheridan 1985). U današnje je vrijeme ovo područje spoznaja poznato kao teorija sustavâ, koja pokriva nekoliko znanstvenih područja, kao što su inženjerstvo sustavâ, analiza sustavâ i teorija upravljanja. Prvi pokušaji za praćenje pristupa sustava za rješavanje operativnih problema u šumarstvu potječu iz 50-ih godina prošloga stoljeća (Silversides 1988). Međutim, ozbiljna primjena teorije sustava ušla je u izvo-



đenje šumskih radova tek početkom 70-ih godina prošloga stoljeća (Hopper 1973). Tu četvrtu fazu razvoja nazivamo »paradigma sustavâ« jer je potpuno promijenila način razmišljanja i dovela do niza visoko mehaniziranih sustava pridobivanja drva koji su godinama prevladavali.

Bit je pristupa sustava utvrditi ili preporučiti tijek djelovanja ili niz djelovanja koji najbolje odgovaraju nizu ciljeva. Cilj je pristupa »korištenje odgovarajućega okvira – koliko je moguće analitičkoga – kako bi se donijela stručna procjena i shvatilo rješenje problema« (Quade 1968b), što se može sagledati kao »mehanizacija umnoga rada«. Quade je (1968a) prikazao okvir za razvrstavanje i određivanje tipa problema s kojima će se baviti analiza sustava (tablica 1). Upravljanje radovima, prva razina analize, ima za cilj povećanje učinkovitosti sustava čovjek – stroj u određenom kontekstu. Taj je tip problema obično niske složenosti i visoke strukturiranosti. Druga razina analize ima cilj da se odabere tijek djelovanja iz niza alternativa koje povećavaju neke mjere financijske isplativosti. Treća se razina analize bavi oblikom i kontrolom novih sustava za poboljšanje postojećih radova ili za primjenu radova koji nikad prije nisu obavljani. Četvrta razina analize, analiza strategije ili politike, ima cilj da se ispituju područja budućih djelatnosti i utvrđivanja načina kako ih ostvariti. Četvrtu razinu analize karakterizira visoka složenost i niska strukturiranost. Quadeov okvir (tablica 1) i dalje je upotrebljiv.

Tijekom 60-ih godina dvadesetoga stoljeća švedska skupina u Skogsarbetenu (Švedski zavod za istraživanje pridobivanja drva) ispitala je pristup koji se temelji na teoriji sustava (Hedbring i Åkes-

sson 1966, Hedbring i dr. 1968) radi razvoja novih sustava pridobivanja drva koji je slijedio viziju »bez čovjeka na tlu, bez ruke na drvetu« (Lundell 2003). Istraživači programa razvoja pridobivanja drva kanadske Šumarske službe prilagodili su švedsko izvješće sjevernoameričkim uvjetima (McCraw i Silversides 1970).

Inženjerstvo je sustavâ interdisciplinarni proces za promjenu potreba, zahtjeva te ograničenja u rješavanju sustava kroz životni ciklus sustava (IEEE 1998). Inženjerstvo se sustava bavi problemom oblika putem postupnoga usavršavanja, kretanja odozgo prema dolje u tri faze: (1) definicija sustava, (2) preliminarni oblik te (3) detaljni oblik. Funkcionalna je arhitektura glavni rezultat faze definicije sustava (IEEE 1998), koji opisuje (1) raspored i (2) slijed funkcija sustava. Švedsko je istraživanje utvrdilo pet funkcija izrade drva (sječa, kresanje grana, trupljenje, koranje, iveranje) koje se mogu dodijeliti četirima mjestima izrade (sastojina, vlaka, kamionska cesta, stovarište). S obzirom na to da se sječa događa u sastojini, postoji 256 mogućnosti za raspodjelu funkcija izrade drva na mjesta izrade. Za daljnje ispitivanje odabrano ih je 26, dok ih je 15 korišteno za detaljne analize (Hedbring i dr. 1968). Sljedeći korak inženjerstva sustavâ trebao je grupirati funkcije koje su dodijeljene konceptu strojeva. Istraživanjem se utvrdilo 14 mogućnosti pokretnih funkcija izrade drva i tri koncepta sa strojevima za prijevoz drva po bespuću, čime je napravljen okvir za analizu produktivnosti i troškova. Ovo Skogsarbetenovo istraživanje (Hedbring i dr. 1968) ima dalekosežne učinke. Prvo, definiralo je metode pridobivanja drva (sortimentna, deblovna, stablovna) te odgovarajuće tipove

**Tablica 1.** Analitički pristupi orijentirani prema sustavu za savjetovanje donositelja odluke i kreatora politike (Quade 1968a)

Vrsta analize		Ciljevi analize	
Porast složenosti	Analiza glavnih političkih alternativa [Analiza strategije / politike]	Utvrditi područja budućih aktivnosti i načina za njihovo ostvarivanje procjenom vlastitih temeljnih vrijednosti i vjerojatnih namjera drugih.	
	Oblikovanje i razvoj novih sustava [Analiza sustava]	Planirati, oblikovati ili kontrolirati nove sustave za poboljšanje postojećih radova ili za primjenu radova koji nikad prije nisu primijenjeni. Analizirati zahtjeve, kako ih najbolje ostvariti i koje ustupke pritom treba učiniti.	
	Odabir alternativa [Analiza djelatnosti i troškovne isplativosti]	Odabrati tijekove djelovanja iz niza alternativa koji dovode do najveće djelatnosti i troškovne isplativosti.	
	Upravljanje radovima [Istraživanje radova]	Povećati djelatnost sustava čovjek – stroj u određenom kontekstu.	
		Porast strukturiranosti	

ve strojeva za sječu i izradu (npr. stroj za obaranje stabala, *feller-buncher*, stroj za obaranje stabala, kresanje grana i trupljenje – danas poznat kao harvester, stroj za kresanje grana i trupljenje – poznat kao procesor itd.) koji se još i danas koriste. Drugo, prepoznalo je potpuno mehanizirani sustav pridobivanja drva sortimentnom metodom izrade koji se sastoji od harvestera i forvardera, što je bilo presudno za mehaniziranje radova pridobivanja drva u mnogim zemljama svijeta.

Analiza sustavâ u širem smislu (tablica 1) pruža analitičke alate i metode za oblik i upravljanje novih sustava za primjenu radova koji nikad prije nisu obavljani (Quade 1968b). Simulacija sustava pridobivanja drva prvi se put pojavila u okviru programa razvoja privlačenja kanadske Šumarske službe pod vodstvom C. Rossa Silversidesa (MacDonald i Clow 2003, Silversides 1988). Logička je podloga za studije simulacije procjena funkcionalnih zahtjeva i odgovarajućih ustupaka za mnoge radne scenarije (Newnham 1967b). Simulirano ispitivanje ima mnoge prednosti pred terenskim ispitivanjem (Newnham 1967b). Prvo, metoda je jako brza. Drugo, moguće je izmjenjivati parametre bez troškova prilagodbe stvarnih strojeva za mjerenje. Treće, strojevi se mogu ispitivati u širokom opsegu sastojinskih uvjeta upotrebom podataka iz stvarnih ili hipotetičkih sastojina. Četvrto, u istoj se sastojini može napraviti nekoliko testova, čime se otklanjaju razlike između sastojina. Peto, moguće je ispitivati učinak promjene jednoga parametra sastojine ili stroja, dok se ostali parametri zadržavaju konstantnima. Najveći naponi za simuliranje novih koncepata stroja odvijali su se između 1966. i 1971. Prvi je model simulacije bio vrlo jednostavan i ograničen na dva tipa strojeva (Newnham 1966), stalno je popravljan i poboljšavan (Newnham 1967a, 1967b), te je, u suradnji Kraljevskoga šumarskoga fakulteta Švedske i Švedskoga zavoda za istraživanje pridobivanja drva, doveo do tzv. Newnham-Sjunnessonova modela (Newnham 1970, Newnham i Sjunnesson 1969). Model je poslije prilagođen za razmatranje prevladavajućih zahtjeva sjevernoameričkih uvjeta iskorištavanja velikih stabala uglavnom pri čistim sječama. Nastali model CANLOG (Newnham 1971) dosta je koristio kanadski proizvođač za ispitivanje nekoliko koncepata strojeva i odabir značajki za detaljni dizajn. Međutim, ti se modeli simulacije ne mogu koristiti za usporedbu strojeva iz različitih sustava pridobivanja drva, niti se mogu koristiti kako bi se vidjelo kako se novi koncept stroja uklapa u postojeće sustave pridobivanja drva.

Analiza sustavâ u užem smislu, koja se često naziva istraživanje rada, ima cilj da se poveća učinkovitost sustava čovjeka – stroja u određenom kontekstu (tablica 1). Istraživači su pridobivanja drva

shvatili da samo povećanje mehaniziranja nije dovoljno za poboljšanje radova od sastojine do pilanskih postrojenja (Newnham 1973). Stoga je povećani naglasak stavljen na planiranje, raspored i kontrolu radova pridobivanja i prijevoza drva (Newnham 1973). Iako su tehnike analize sustava korištene već 1955. za poboljšanje radova pridobivanja drva, bile su ograničene i općenito nisu uzimale u obzir međuovisnost topografije, veličine drveta, distribuciju drva, osoblje i strojeve (Bare i dr. 1984). Povećana mogućnost izračuna i dostupnost sofisticiranih metoda dovela je do uzleta metoda istraživanja šumskih radova. Godine 1976. objavljena su dva plodonosna priloga. Dykstra je prvi simultano optimizirao prostorni raspored sječne jedinice i odabira sustava pridobivanja drva (Dykstra 1976, Dykstra i Riggs 1977). Istodobno Weintraub i Navon (1976) riješili su optimizaciju aktivnosti pridobivanja drva, aktivnosti izgradnje cesta i aktivnosti prijevoza drva cjelovitim pristupom. Dykstra i Weintraub su otvorili velik prostor koji pruža puno mogućnosti za metode istraživanja rada. Kao posljedica toga pojavila se nova struja istraživanja koja je dovela do specifičnih spoznaja šumskih radova (Church i dr. 1998, Martell i dr. 1998, Weintraub i Bare 1996).

### 2.2.5 Paradigma mreže

Tradicionalno gledište sastojalo se od dihotomnih karakteristika ljudskih i umjetnih sustava (Berners-Lee 1998). Dok se smatra da umjetni sustavi rade izrazito mehanički, bilo je jasno da ljudi imaju mogućnost riješiti loše strukturirane, složene probleme korištenjem heuristike i intuicije. Prema tomu, izrađeni su društvenotehnički sustavi sa statičkom dodjelom funkcija, što znači da je projektant odredio podjelu zadataka između ljudi i strojeva (Lee 2001). Povećana raspodjela zadataka strojevima i sustavima prema tomu vodi do povećanoga stupnja statičkih odnosa između sastavnica sustava, što dovodi do gubitka fleksibilnosti, smanjenja mogućnosti proširenja i prilagodbe promjenjive proizvodne okoline. Centralizirani, hijerarhijski sustavi sa statičkim međudodnosima često vode do situacija u kojima se cijeli sustav prekida zbog jedne pogreške u jednoj točki (Colombo i dr. 2006). Obecavajuća struktura za prevladavanje toga problema jest konglomerat raspodijeljenih, autonomnih, inteligentnih jedinica izrade koje toleriraju pogrešku i koje se mogu ponovno koristiti, te koje djeluju kao skup suradničkih cjelina (Colombo i dr. 2006). World Wide Web tehnologija pružila je mogućnost pohrane nasumičnih veza između različitih stvari (Berners-Lee 1998). San koji nastaje pojavom Weba jest stvoriti zajednički informacijski prostor u kojem komuniciramo dijeljenjem informacija, koje će se na taj način naširoko koristiti, tako da je on postao stvarno ogledalo načina na koji

radimo, igramo i družimo se (Berners-Lee 1998). Internetska bi tehnologija trebala postati ključni pokretač tehnologije za dinamičnu raspodjelu zadataka, što znači da podjela zadataka između ljudi i sustava ovisi samo o raspodjeli od trenutka do trenutka. Dinamična raspodjela funkcija zahtijeva novi opis interakcija između sustava i ljudi zato što se velik broj čimbenika prilagođava okolišu na nepredvidljive načine. To može dovesti čak do karakterističnoga ponašanja složenih, prilagodljivih sustava, koje karakterizira samoorganizacija i pojavljivanje nove imovine (Colombo i dr. 2006). Riječ je o petoj fazi razvoja koja je u tijeku ili o »paradigmi mreže« (Moridera i dr. 2000). Iako smo u ranoj, a ne zreloj fazi ovoga novoga obrasca (Davis i Stephenson 2006), promijenit će se način na koji ljudi žive i međusobno djeluju.

Paradigmu mreže karakterizira dinamička raspodjela funkcija na jedinice i veze između jedinica. Prema tomu, to otvara nove načine suradnje i interakciju među ljudima i složenim »umjetnim« sustavima. Međutim, promjena je tehnologije puno brža od promjene strukture upravljanja, što se naziva »upravljanje druge generacije primijenjeno na tehnologiju pete generacije« (Savage 1990). Taj nesklad tehnologije i upravljanja često dovodi do pogrešaka u novim pristupima. Novi pristup, koji se naziva reinženjerstvo poslovnoga procesa, ima cilj da zatvori taj razdor istodobnim redizajniranjem i kontroliranjem tehničkih i administrativnih procesa. Plodonosni Porterov rad (1985) o lancu vrijednosti utvrdio je devet primarnih aktivnosti: (1) ulazna logistika, (2) radovi, (3) izlazna logistika, (4) marketing i prodaja, (5) usluge i aktivnosti podrške, (6) dobava, (7) razvoj tehnologije, (8) upravljanje ljudskim potencijalima, (9) infrastruktura poduzeća, koji bi trebali dramatično promijeniti naš način razmišljanja o proizvodnji i izvođenju radova. Porterov je rad vjerojatno potaknuo osnivanje mnogih disciplina, poput logistike i upravljanja lancem dobave, koje su ušle u područje izvođenja šumskih radova prvotno s nekim razlikama u fazama do 90-ih godina prošloga stoljeća (Heinimann 1999), a postale su tema rasprave nakon Prvoga svjetskoga simpozija o logistici u šumarskom sektoru (Sjöström 2000), održanom 2000. godine u Helsinkiju, u Finskoj.

### 3. Put naprijed

Slijedom prethodnih razmišljanja ulazimo u fazu razvoja koju nazivamo »paradigma mreže«. Postavlja se pitanje kamo krećemo. U radu će se dalje ras-

pravljati o nekim izazovima s kojima ćemo se suočiti. Utvrđivanje izazova temelji se na dvama potpornjima: (1) trendovi dokumentirani u znanstvenoj literaturi te (2) osobno iskustvo autora kao koordinatora odjela »Šumarsko inženjerstvo i upravljanje šumskim radovima« Međunarodnoga udruženja šumarskih istraživačkih organizacija (IUFRO). Izložit će se i prikaz moguće vizije kako bi radni sustavi mogli izgledati 2020. godine, zatim predložiti definicija naše znanstvene discipline, te raspraviti o nekim izazovima u četiri područja djelatnosti: (1) inženjerstvu pridobivanja i prijevoza drva, (2) upravljanju šumskim radovima, (3) ergonomiji u šumarstvu te (4) ekološkoj pogodnosti šumskih radova. Svjesni smo da će na raspravu o budućim trendovima uvijek utjecati percepcije, vrijednosti i očekivanja autora.

#### 3.1 Vizija 2020.

Sustav šumskih radova 2020. godine bit će sustavi mreža samoorganiziranih »jedinica« (holona)

- ⇒ koji su autonomni, kooperativni sastavni blokovi za transformiranje, prijenos, pohranu i/ili potvrđivanje fizičkih predmeta i informacija
- ⇒ koji imaju nešto strojne inteligencije za autonomnu kontrolu akcija i za pregovaranje i suradnju s ostalim cjelinama (raspodijeljeno, koordinirano donošenje odluka)
- ⇒ koji se sastoje od (1) dijela obrade informacija (softver) i (2) dijela za fizičku obradu (hardver).

U literaturi je zabilježeno nekoliko koncepata koji se javljaju i koji zagovaraju inteligentne i raspodijeljene proizvodne strukture. O novoj generaciji sustava za proizvodnju govori se kao o holonskim sustavima proizvodnje i karakteriziraju ih skupovi raspodijeljenih, autonomnih, inteligentnih jedinica koje imaju sposobnost pregovora, suradnje i samoorganizacije (BMED 1998, Colombo i dr. 2006). Naziv »holon« opisuje hibridnu prirodu cjeline i njezinih dijelova. Holoni su »dovoljno autonomne jedinice koje se oslanjaju same na sebe i koje imaju stupanj neovisnosti i rješavaju situacije bez traženja podrške od viših autoriteta« (Colombo i dr. 2006).

U skladu s tim, naša znanstvena disciplina, šumarsko inženjerstvo i upravljanje šumskim radovima, može se definirati kako slijedi<sup>1</sup>:

*Cilj je šumarskoga inženjerstva i upravljanja šumskim radovima (1) razumijevanje osnovnih načela koja čine podlogu ponašanja sustava šumskih radova i (2) razvoj koncepata, metoda i alata koji podržavaju oblik,*

<sup>1</sup> Ova je definicija nastavak razvoja prijašnjega rada (Heinimann 1995, Sundberg 1988, Samset 1992). Autor zahvaljuje Johnu Sessionsu i Johnu Garlandu na dragocjenim razgovorima koji su doveli do današnjega razumijevanja.



*primjenu, rad i stalno poboljšanje tih sustava. Ova je znanstvena disciplina problemski orijentirana prema pružanju oblika, planova, rasporeda i mehanizama kontrole koji su:*

- ⇒ **biofizički učinkoviti** s obzirom na fizikalne zakone, načela inženjerstva te okolišne odnose šumskih ekosustava
- ⇒ **ekonomski učinkoviti** s obzirom na troškove i koristi kratkoročnih i dugoročnih posljedica
- ⇒ **individualno usklađeni** s obzirom na sprječavanje negativnih učinaka na zdravlje, sprječavanje negativnih učinaka na psihosocijalnu dobrobit, njegovanje razvoja osobnih vještina i stavova i promicanje socijalne razboritosti
- ⇒ **okolišno prihvatljivi** s obzirom na utjecaj na prirodni i društveni okoliš i učinkovitu uporabu prirodnih resursa uključujući neobnovljive i obnovljive izvore, vodu, energiju i prostor
- ⇒ **institucionalno prihvatljivi** s obzirom na zakone, odredbe te preporuke u skladu s izvođenjem šumskih radova, ciljevima zemljoposjednika (šumovlasnika) i društvenim vrijednostima.

Temeljni obrazac istraživanja predstavlja sustave rada kao mreže protoka i koristi se matematičkim modelima za opisivanje njihova ponašanja i za procjenu učinkovitosti, djelotvornosti ekološke izvodljivosti naizmjeničnih politika, strategija i praksi. Srž je operacija sustav koji uključuje istraživanje, dizajn, inženjerstvo, proizvodnju unutar radnih jedinica, mreže informacija, protoke materijala koji povezuju radne jedinice te razvoj, raspodjelu dostave robe i usluga kupcima.

Šumarsko inženjerstvo i upravljanje šumskim radovima oduvijek je posuđivalo koncepte i modele od »krovnih disciplina«, kao što su industrijsko inženjerstvo, upravljanje rada, ergonomija ili industrijska ekologija. Moramo biti zainteresirani za održavanje utjecaja »matične« i »susjednih« disciplina, pokazujući da imamo jaku vezu s »krovnim« disciplinama. Zato je Međunarodno udruženje šumarskih istraživačkih organizacija (IUFRO) preimenovalo prijašnje polje istraživanja »šumski radovi« u »šumarsko inženjerstvo i upravljanje šumskim radovima«.

### 3.2 Izazovi u inženjerstvu pridobivanja i prijevoza drva

Inženjerstvo se pridobivanja i prijevoza drva sastoji od analize, izrade i stalnoga poboljšanja uređaja i mreža tehničkih i transakcijskih procesa potrebnih za pridobivanje i prijevoz biomase i/ili nedrvenih proizvoda od mjesta sječe i izrade do proizvodnih postrojenja. Odgovarajuće skupine primarnih procesa su: (1) konverzija stabla, (2) prijevoz po bespuću,

(3) dorada drva te (4) daljinski prijevoz. Dijelovi procesa transakcije su (5) dobava, (6) ispunjenje narudžbe, (7) razmjena podataka te (8) nadzor i kontrola sustava. Publikacija »Vizionarski izazovi proizvodnje za 2020.« (BMED 1998) utvrdila je šest velikih izazova, od kojih su tri relevantna za inženjerstvo pridobivanja i prijevoza drva:

- ⇒ ostvariti konkurentnost u svim radovima,
- ⇒ brzo restrukturirati proizvodna poduzeća kao reakciju na promjenu potreba i mogućnosti,
- ⇒ razviti inovativne proizvodne procese s težištem na smanjenje dimenzijskoga omjera.

Prvi izazov, konkurentnost, bavi se problemom raspodijeljenoga inženjerstva sustava uključujući mreže senzora, sustave računanja te ravnopravnost sustava (Zambonelli i Rana 2005). Drugi je izazov povezan s povećanom potrebom za fleksibilnošću. Treći izazov, bavljenje sa smanjenim dimenzijskim omjerom, također je relevantan za šumarstvo, a ne znači dimenziju dijela rada, već uglavnom dimenziju najmanje određene prostorne jedinice kojom treba rukovati. Konačna jedinica rada bit će pojedino drvo. S našega gledišta inženjerstvo pridobivanja i prijevoza drva suočit će se s ovim izazovima:

- ⇒ razviti i/ili postaviti fleksibilne senzorne i kontrolne algoritme koji pružaju preciznu kontrolu obrade i u vremenu i u prostoru (senzorna tehnologija kao pokretač)
- ⇒ razviti i postaviti autonomne jedinice pridobivanja i prijevoza drva koje imaju neku inteligenciju kontrole, pregovora i suradnje – CNCI (inteligencija jedinice kao pokretač problema)
- ⇒ širiti i primijeniti znanje o ekološko prihvatljivim tehnologijama pridobivanja drva u zemljama u razvoju, posebice tropskim zemljama (prijenos ekološki prihvatljive tehnologije kao pokretača problema)
- ⇒ širiti i primijeniti znanje industrijskih, visoko mehaniziranih tehnologija pridobivanja drva u zemljama u tranziciji (prijenos tehnologije sustava pridobivanja drva kao pokretača problema).

### 3.3 Izazovi u upravljanju šumskim radovima

Upravljanje se šumskim radovima sastoji od analiza, oblika, kontrole i stalnoga poboljšanja poslovnoga procesa, kao što su nabava, ispunjenje narudžbe, distribucija, nadzor i kontrola u mrežama poduzeća i »business to business« (B2B) mrežama. Mjeri se i analiziraju interni procesi s naglaskom na učinkovitost, djelotvornost i kvalitetu korištenjem kvantitativnih modela za ucrtavanje i rješavanje srodnih problema izrade rasporeda, inventure, usmjera-



vanja pošiljki ili lokacije objekta. Publikacija »Vizionarski izazovi proizvodnje za 2020.« (BMED 1998) utvrdila je šest velikih izazova, od kojih je jedan relevantan za upravljanje šumskim radovima: trenutačno promijeniti informacije skupljene iz različitih izvora u korisne spoznaje za donošenje odluka. S našega gledišta upravljanje šumskim radovima suočit će se s ovim izazovima:

- ⇒ Kretati se od poslovnoga upravljanja do upravljanja lancem opskrbe kroz reinženjerske poslovne procese (Heinimann 2000, Loch 1998) (1) prilagođavanjem normiranih referentnih modela radova u lancu opskrbe (npr. SCOR) (Huan i dr. 2004) te (2) prekrajanjem i primjenom »business to business« (B2B) norme transakcija (npr. WoodX-XML, StanForD-XML).
- ⇒ Razvijati matematičke alate (1) za podršku raspodijeljenoga, koordiniranoga donošenja odluka (npr. tehnike modeliranja na osnovi sredstava), (2) utvrditi gotovo optimalna rješenja za složene geografske prostore problema s inteligentnim tehnikama pretraga (npr. genetski algoritmi, simulirano očvršćivanje itd.) te (3) povezati modele optimizacije s uvjetima na terenu tako da se naprave prostorno eksplicitnim.
- ⇒ Zatvoriti znatan jaz između teorije upravljanja lancem opskrbe i prakse (Storey i dr. 2006) (1) uvođenjem znanstvenoga gradiva u nastavni program i mentalne modele i istraživača i praktičara te (2) modeliranjem mreže opskrbe s generičkim, statičkim ili dinamičkim modelima<sup>2</sup> (Harrison 2002). S našega gledišta »upravljanje lancem opskrbe« često se koristilo kao stručni naziv kako bi se zapakiralo »staro vino u nove boce«.

### 3.4 Izazovi u ergonomiji šumarstva

Ergonomija je u šumarstvu područje spoznaja koje se bavi sposobnostima i ograničenjima ljudskoga djela u odnosu na dizajn šumskih strojeva, poslove i promjene fizičkoga okoliša. Ergonomija želi osigurati da ljudski alati, strojevi i radni sustavi budu u skladu s njihovom (1) fizičkom snagom, veličinom i brzinom, te sposobnostima (2) osjećaja, (3) memorije, (4) kognitivnih vještina i (5) psihomotornih sklonosti. To se znanstveno područje također naziva inženjerstvo ljudskoga čimbenika ili humano inženjerstvo.

Krajnji je cilj ergonomije stvoriti humane radne uvjete. Slično je inženjerstvu po tome što je jako orijentirano obliku (Brewer i Hsiang 2002). Humani radni uvjeti trebaju (1) spriječiti nepovoljne zdravstvene utjecaje, (2) spriječiti nepovoljne utjecaje na psihosocijalnu dobrobit, (3) njegovati razvoj osobnih vještina i stavova te (4) promicati socijalnu razumnost (Ulich 1992). Budući da priroda posla nije stabilna, već se mijenja s razvojem u tehnologiji i društvu, sadržaj ergonomije mora se također mijenjati (Hollnagel 2001). Mogu se utvrditi tri struje u ergonomiji: (1) »klasična ergonomija« koja se bavi usklađenošću tijela i rada, (2) »kognitivna ergonomija« čiji je cilj poboljšati usklađenost uma i rada te (3) »kontrolna ergonomija« koja ispituje usklađenost sustava i cilja (Hollnagel 2001). Klasična ergonomija postoji već oko 60 godina (Sheridan 1985) i rezultirala je znatnom količinom znanja. U usporedbi s proizvodnim industrijama, šumarski sektor ima još uvijek puno radnih mjesta na kojima prevladava mišićni rad. To je posebice točno za zemlje u razvoju i zemlje u tranziciji. Zemlje s jako industrijaliziranim šumarskim sektorom, kao što su nordijske zemlje, uglavnom pružaju radna mjesta na kojima prevladava kognitivni rad i na koje sve više utječe kompjuterizacija (npr. radno mjesto operatera harvesteri). S našega gledišta ergonomija će se u šumarstvu suočiti sa sljedećim izazovima:

- ⇒ Širiti znanje klasične ergonomije u zemlje u razvoju i primijeniti i ojačati radne norme prilagođene određenim područjima, često teškim radnim uvjetima i biomehaničkim i fiziološkim karakteristikama radnika.
- ⇒ Poboljšati sučelje čovjek – softver kako bismo osnažili ljude i utjecali na spoznajne, percepcijske i kolaborativne vještine (Hoffman i dr. 2002).
- ⇒ Prevladati problem »upravljanja druge generacije primijenjenoga na tehnologiju pete generacije« (Brewer i Hsiang 2002) makroergonomskim redizajnom sučelja čovjek – organizacija (Hendrick 2002, Kleiner 2002, 2004, 2006).
- ⇒ Pozabaviti se problemom socijalno distribuirane spoznaje i suradnje, koje su posljedica uvođenja raspodijeljenih, holonskih sustava proizvodnje (Lee 2001, Rasmussen 2000, Sheridan 1985).

<sup>2</sup> Mreža je procesa modelirana kao matematički grafikon u kojem se vrijednosti veličina (sredstva, proizvodi, usluge) presijecaju, a presjecišta predstavljaju aktivnosti pri kojima se veličina transformira.

### 3.5 Izazovi u ekološkoj pogodnosti šumskih radova

Industrijska je ekologija znanstvena disciplina koja ispituje ljudsku pretvorbu mase i energije s perspektive ekosustava (Ehrenfeld 2004, Erkman 1997, Kay 2002). Perspektiva se ekosustava odnosi na analize i oblik sustava pretvorbe biofizikalne mase i energije kako bi se održala situacija koja je ekološki prihvatljiva dok se ljudima pruža održivi život. Ekološka pogodnost šumskih radova primjenjuje načela industrijske ekologije na sustave šumskih radova. Njezin je cilj razvijati i postaviti ekološki prihvatljive tehnologije šumskih radova, djelotvorno koristiti resurse, smanjiti cjelokupnu proizvodnju otpada i emisiju štetnih plinova te smanjiti utjecaj na strukture i funkcije ekoloških sfera (atmosfera, biosfera, hidrosfera i litosfera). Publikacija »Vizionarski izazovi proizvodnje za 2020.« (BMED 1998) utvrdila je šest velikih izazova, od kojih je jedan relevantan za ekološku pogodnost šumskih radova: smanjiti proizvodni otpad i svesti utjecaj na okoliš na »približnu nulu«. S našega gledišta ekološka pogodnost šumskih radova, koja je operativni pristup potrajnosti (Erkman 1997), suočit će se s ovim izazovima:

- ⇒ Prilagoditi pokazatelje utjecaja na okoliš (engl. EPI) i pokazatelje stanja okoliša (engl. ESI) prema normi ISO 14021 i utvrditi skup normi utjecaja na okoliš za sustave izvođenja šumskih radova.
- ⇒ Analizirati i procijeniti utjecaj na okoliš sustava pridobivanja i prijevoza drva korištenjem procjene životnoga ciklusa (engl. LCA) ili analize protoka supstancija (engl. SFA).
- ⇒ Razviti norme za nadzor i izvješćivanje utjecaja na okoliš.

### 4. Zaključci

Glas je izvođenja šumskih radova unutar obitelji znanstvenih zajednica slab. Područje je šumskih radova suočeno s problemom poboljšanja svoje znanstvene uočljivosti, preusmjeravajući istraživačke napore u buduće izazove i jačanje samosvijesti. Cilj je ovoga rada (1) istražiti koncepte svjetonazora (paradigme) koji su oblikovali znanstveni razvoj, (2) dati prikaz kako bi šumski radovi trebali izgledati 2020. godine, (3) utvrditi zajedničko razumijevanje za budućnost naše discipline i (4) raspraviti buduće glavne izazove s kojima ćemo se vjerojatno suočiti.

Ispitivanje je dovelo do tri velika otkrića. Prvo, može se utvrditi pet razdoblja paradigmi razvoja: paradigma korištenja, Taylorova paradigma, paradigma mehanizacije, paradigma sustavâ te paradigma mreže. Drugo, trenutačno ulazimo u novu fazu

razvoja koju karakterizira »paradigma mreže« koja se sastoji od mrežnih sustava šumskih radova izgrađenih od samoorganiziranih »jedinica«. Treće, navedeni mrežni samoorganizirajući sustavi suočit će nas s nekim izazovima. Istodobnost prostorno raspodijeljene aktivnosti usklađivanja i radnih aktivnosti jedan je od tih izazova koji zahtijeva da upravljanje kreće od umijeća prema znanosti. Algoritamske metode i procesi kontrole bit će glavni oslonac raspodijeljenoga, usklađenoga donošenja odluka i upravljanja lancem opskrbe. Ergonomija u šumarstvu suočit će se s izazovom prevladavanja problema »upravljanja druge generacije primijenjenoga na tehnologiju pete generacije« redizajniranjem sučelja čovjek – organizacija. Kvantifikacija »industrijskoga metabolizma« sustava šumskih radova bit će drugi izazov s kojim ćemo se morati pozabaviti. Nadamo se da će pomaknuti procjenu utjecaja na okoliš »dobronamjernih osjećaja« na čvrste činjenice.

Namjera je autora bila potaknuti širu raspravu o budućem usmjerenju naše discipline, šumarskoga inženjerstva i upravljanja šumskim radovima te potaknuti preoblikovanje nastavnoga programa. To ide zajedno s autorovom vizijom da će znanstvena disciplina šumarsko inženjerstvo i upravljanje šumskim radovima vratiti svoju snagu i postati uočljiva u obitelji znanstvenih zajednica.

### 5. Literatura

- Aoyama, M., 2002: Metrics and analysis of software architecture evolution with discontinuity. Proceedings, 5th International Workshop on Principles of Software Evolution [IWPSSE 2002], 103–107, Orlando, Florida, May 19–20, 2002.
- Ashe, W. W., 1916: Cost of Logging Large and Small Timber. *Forestry Quarterly* (Journal of Forestry), 14: 441–452.
- Bare, B. B., Briggs, D. G., Roise, J. P., Schreuder, G. F., 1984: A survey of systems analysis models in forestry and the forest products industries. *European Journal of Operational Research*, 18(1): 1–18.
- Berners-Lee, T., 1998: The World Wide Web: A very short personal history: available at <http://www.w3.org/People/Berners-Lee/ShortHistory.html>. accessed Mar-12-07.
- BMED, 1998: Visionary Manufacturing Challenges for 2020. Board on Manufacturing and Engineering Design. Washington, D.C.: National Academy Press, 172 str.
- Boulding, K. E., 1956: General Systems Theory – The Skeleton of Science. *Management Science*, 2(3).
- Braniff, E. A., 1912: Scientific management and the lumber business. A possible field for foresters. *Forestry Quarterly*, 10(1): 7–14.
- Brewer, J. D., Hsiang, S. M., 2002: The 'ergonomics paradigm': foundations, challenges and future directions. *Theoretical Issues in Ergonomic Sciences*, 3(3): 285–305.

- Church, R. L., Murray, A. T., Weintraub, A., 1998: Locational issues in forest management. *Location Science*, 6(1-4): 137–153.
- Colombo, A. W., Schoop, R., Neubert, R., 2006: An Agent-Based Intelligent Control Platform for Industrial Holonic Manufacturing Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 53(1): 322–337.
- Davis, I., Stephenson, E., 2006: Ten trends to watch in 2006. *The McKinsey Quarterly*, (Jan-2006): available at [http://www.mckinseyquarterly.com/article\\_page.aspx?ar=1734&L2=18&L3=30](http://www.mckinseyquarterly.com/article_page.aspx?ar=1734&L2=18&L3=30). accessed Feb-04-2007.
- Duhamel du Monceau, H.-L., 1761: *Art du charbonnier, ou Manière de faire la charbon de bois*. Paris: Desaint & Saillant. IV, 30, 1 pl. pp.
- Duhamel du Monceau, H.-L., 1764: *De l'exploitation des bois ou moyens de tirer un parti avantageux des taillis, demi-futaies et hautes-futaies et d'en faire une juste estimation : avec la description des arts qui se pratiquent dans les forêts; faisant partie du traité complet des bois & des forests*. Paris: H. L. Guerin & L. F. Delatour.
- Duhamel du Monceau, H.-L., 1767: *Du transport, de la conservation et de la force des bois ou l'on trouvera des moyens d'attendrir les bois, de leur donner diverses courbures, sur-tout pour la construction des vaisseaux et de former des pieces d'assemblage*. Paris: Chez L.F. Delatour, XXXII, 556 str.
- Dykstra, D. P., 1976: *Timber Harvest Layout By Mathematical and Heuristic Programming*. Department of Industrial and General Engineering, Oregon State University. Corvallis, OR. PhD Thesis. 299 str.
- Dykstra, D. P., Riggs, J. L., 1977: An application of facilities location theory to the design of forest harvesting areas. *AIIE Transactions*, 9(3): 270–277.
- Ehrenfeld, J., 2004: Industrial ecology: a new field or only a metaphor? *Journal of Cleaner Production*, 12: 825–831.
- Erkman, S., 1997: Industrial ecology: an historical view. *Journal of Cleaner Production*, 5 (1/2): 1–10.
- Fisher, R. A., 1925: *Statistical methods for research workers*. Biological monographs and manuals. Edinburgh, London: Oliver and Boyd. ix, 239 str.
- Fisher, R. A., 1935: *The design of experiments*. Edinburgh, London: Oliver and Boyd. xi, 252 str.
- Gersick, C. J. G., 1991: Revolutionary Change Theories: A Multilevel Exploration of the Punctuated Equilibrium Paradigm. *Academy of Management Review*, 16(1): 10–36.
- Girard, J. W., 1917: *Forest Service Stumpage Appraisals*. *Journal of Forestry*, 15: 708–725.
- Girard, J. W., 1922: *Tractor and horse skidding in Inland Empire*. *The Timberman*, 14 (11): 66, 68, 70.
- Gould, S. J., Eldredge, N., 1993: Punctuated equilibrium comes of age. *Nature*, 366: 223–227.
- Harrison, M. J., 2002: Stochastic Networks and Activity Analysis. In *Analytic methods in applied probability in memory of Fridrikh Karpelevich*, Y. M. Suhov and F. I. Karpelevich, Editors. American Mathematical Society: Providence, RI. p. 217.
- Hedbring, O., Åkesson, H., 1966: *Analys av högmekaniserade avverkningssystem tänkbara år 1970* [Analysis of highly mechanized logging systems of possible se in 1970]. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten* [Swedish Logging Research Foundation]. Stockholm. Redogörelse, 4. 50 p.
- Hedbring, O., Nilsson, P. O., Åkesson, H., 1968: *Analys av några avverkningssystem för gallring* [Analysis of some logging systems for thinning]. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten* [Swedish Logging Research Foundation]. Stockholm. Redogörelse, 4, 51 str.
- Heinimann, H. R., 1995: Perspectives on research in forest operations. *Proceedings, IUFRO XX World Congress, Subject Group 3.06 Forest Operations Under Mountainous Conditions*, ed. J. Sessions, 118–133. Tampere, Finland, Department of Forest Engineering, Oregon State University, Corvallis, OR.
- Heinimann, H. R., 1997: *Zukunft von forstlicher Verfahrenstechnik und Walderschliessung als wissenschaftliche Fachdisziplinen*. In *Forstliche Forschungsberichte, Proceedings, Entwicklungen in der forstlichen Arbeitswissenschaft, Verfahrenstechnik und angewandten Informatik*, ed. W. Warkotsch, 48–68. München, Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- Heinimann, H. R., 1999: *Logistik der Holzproduktion – Stand und Entwicklungsperspektiven* [logistics in wood procurement – state and perspectives]. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 118: 24–38.
- Heinimann, H. R., 2000: *Business Process Re-Engineering – a Framework for Designing Logistics Systems for Wood Procurement*. *Proceedings, 1st World Symposium on Logistics in the Forest Sector*, ed. K. Sjöström, 269–287. Helsinki, Finland, May 15–16, 2000. Econapap.
- Hendrick, H. W., 2002: An overview of macroergonomics. In *Macroergonomics: Theory, Methods, and Applications*, str. 1–23.
- Hilf, H., 1926: *Die wissenschaftliche Betriebsführung in der Forstwirtschaft* [Scientific management in forestry]. *Proceedings, Jahresversammlung des Deutschen Forstvereins* [Annual Assembly of the German Association of Foresters], 246–261. Der Deutsche Forstwirt, Berlin.
- Hoffman, R. R., Klein, G., Laughery, K. R., 2002: The state of cognitive systems engineering. *Intelligent Systems, IEEE* [see also *IEEE Expert*], 17(1): 73–75.
- Hollnagel, E., 2001: Extended cognition and the future of ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomic Sciences*, 2(3): 309–315.
- Hopper, J. E., 1973: *Systems Analysis: A Tool for Woodland Decisions*. *Proceedings, Planning and Decision-making As Applied to Forest Harvesting*, ed. J.E. O'Leary, 1–5. Corvallis, OR, USA, Forest Research Laboratory, School of Forestry, Oregon State University.



- Huan, S. H., Sheoran, S. K., Wang, G., 2004: A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model. *Supply Chain Management*, 9(1): 23–29.
- IEEE, 1998: IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York. IEEE Standard, 1220–1998, 76 str.
- Kay, J. J., 2002: On Complexity Theory, Exergy and Industrial Ecology: Some Implications for Construction Ecology. In *Construction Ecology: Nature as the Basis for Green Buildings*, C. Kibert, J. Sendzimir, and B. Guy, Editors. Spon Press, str. 72–107.
- Kleiner, B. M., 2002: Computer-aided macroergonomics for improved performance and safety. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 12(3): 307–319.
- Kleiner, B. M., 2004: Macroergonomics as a large work-system transformation technology. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 14(2): 101–115.
- Kleiner, B. M., 2006: Macroergonomics: Analysis and design of work systems. *Applied Ergonomics*, 37(1): 81–89.
- Koroleff, A., 1952: *Logging Mechanization in the U.S.S.R. A Review of Russian Data*. Montreal, Canada: Pulp and Paper Research Institute of Canada, 158 str.
- Kuhn, T. S., 1970: *The structure of scientific revolution*. 2nd Ed. Chicago: University of Chicago Press.
- Lee, J. D., 2001: Emerging challenges in cognitive ergonomics: managing swarms of self-organizing agent-based automation. *Theoretical Issues in Ergonomic Sciences*, 2(3): 238–250.
- Loch, C., 1998: Operations Management and Reengineering. *European Management Journal*, 16(3): 306–317.
- Lundell, S., 2003: The need for a new forest technology – international co-operation among forestry, R&D and machine manufacturers [keynote address], Skogforsk. Växjö, Sweden. May 12–15, 2003.
- MacDonald, P., Clow, M., 2003: What a Difference a Skidder Makes: The Role of Technology in the Origins of the Industrialization of Tree Harvesting Systems. *History and Technology*, 19(2): 127–149.
- Martell, D. L., Gunn, E. A., Weintraub, A., 1998: Forest management challenges for operational researchers. *European Journal of Operational Research*, 104(1): 1–17.
- McCraw, W. E., Silversides, C. R., 1970: Analysis of tree harvesting machines and systems: a methodology. Forest Management Institute. Ottawa, Canada. Information Report, FMR-X-27, 184 str.
- Moridera, A., Murano, K., Mochida, Y., 2000: The Network Paradigm of the 21st Century and Its Key Technologies. *IEEE Communications Magazine*, 38(11): 94–98.
- Newnham, R. M., 1966: A simulation model for studying the effect of stand structure on harvesting pattern. *Forestry Chronicle*, 42: 39–44.
- Newnham, R. M., 1967a: A FORTRAN programme to simulate pulpwood harvesting machines. Forest Management Research and Services Institute. Ottawa, Canada. Information Report, FMR-X-7, 32 str.
- Newnham, R. M., 1967b: A progress report on the simulation model for pulpwood harvesting machines. Forest Management Research and Services Institute. Ottawa, Canada. Information Report, FMR-X-6, 41 str.
- Newnham, R. M., 1970: Productivity of harvesting machines designed for thinning: estimation by simulation. Forest Management Research and Services Institute. Ottawa, Canada. Information Report, FMR-X-25, 29 str.
- Newnham, R. M., 1971: CANLOG – The New CFS Harvesting Machine Simulator. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 72(3): 107–112.
- Newnham, R. M., 1973: Simulation Techniques and Their Possible Application to Forest Harvesting in Canada. Proceedings, Planning and Decisionmaking As Applied to Forest Harvesting, ed. J.E. O’Leary, 125–138. Corvallis, OR, USA, Forest Research Laboratory, School of Forestry, Oregon State University.
- Newnham, R. M., Sjunnesson, A., 1969: A FORTRAN program to simulate harvesting machines for mechanized thinning. Forest Management Research and Services Institute. Ottawa, Canada. Information Report, FMR-X-23. 48+[25] str.
- Porter, M. E., 1985: *Competitive advantage creating and sustaining, superior performance*. New York: The Free Press. XVIII, 557 str.
- Quade, E. S., 1968a: Introduction [into Systems Analysis and Policy Planning]. In *Systems Analysis and Policy Planning. Applications in Defense*, E. S. Quade and W. I. Boucher, Editors. American Elsevier Publishing Company: New York, str. 1–19.
- Quade, E. S., 1968b: Principles and Procedures of Systems Analysis. In *Systems Analysis and Policy Planning. Applications in Defense*, E. S. Quade and W. I. Boucher, Editors. American Elsevier Publishing Company: New York, str. 30–53.
- Rasmussen, J. R., 2000: Human factors in a dynamic information society: where are we heading? *Ergonomics*, 43(7): 869–879.
- Samset, I., 1966: Utviklingen av skogbrukets driftsmetoder II. Loven om den sprangvise utvikling. [Norwegian, the development of forest operations technology II. The law of discontinuous evolution]. *Norsk Skogbruk*, 20: 737–741.
- Samset, I., 1992: Forest operations as a scientific discipline. *Meddelelser fra Skogforsk*, 44(12): 1–48.
- Savage, C. M., 1990: *Fifth generation management: Integrating enterprises through human networking*. Bedford, MA: Digital Press. xvi, 267 str.
- Sheridan, T. B., 1985: Forty-Five Years of Man-Machine Systems: History and Trends. In *IFAC Proceeding Series, Proceedings, 2nd IFAC/IFIP/IFORS/IEA Conference on Analysis, Design & Evaluation of Man-Machine Systems*, 1–9. Varese, Italy, Pergamon Press.



- Silversides, C. R. 1988: The impact of forest operations and techniques upon forest mechanization in eastern Canada. *Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning*, 41(16): 233–250.
- Sjöström, K., 2000: Logistics in the forest sector. Helsinki: Timber Logistics Club, 298 str.
- Steinlin, H., 1987: 45 Jahre Studium, Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Forstwissenschaften [45 years of studies, research and teaching in forest sciences]. Druck & Verlag Tilia. Freiburg i.Br. Schriftenreihe des Instituts für Landespflege der Universität Freiburg, 9.
- Storey, J., Emberson, C., Godsell, J., Harrison, A., 2006: Supply chain management: theory, practice and future challenges. *International Journal of Operations & Production Management*, 26(7): 754–774.
- Strehlke, E. G., 1927: Ergebnisse arbeitswissenschaftlicher Untersuchungen aus der forstlichen Praxis. In *Forstliche Arbeitswissenschaft. Drei Vorträge gehalten im Deutschen Forstverein in Rostock am 25.8.1927*, R. Jugoviz, Editor. Der Deutsche Forstwirt: Berlin. p. 43–75.
- Sundberg, U., 1988: The emergence and establishment of forest operations and techniques as a discipline of forest science. *Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning*, 41(8): 107–137.
- Taylor, F. W., 1895: A piece-rate system being a step toward partial solution of the labor problem. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, 16(647): 865–903.
- Taylor, F. W., 1903: Shop management. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, 24(1003): 1337–1480.
- Taylor, F. W., 1911: The principles of scientific management. New York and London: Harper & Brothers, 77 str.
- Ulich, E., 1992: Arbeitspsychologie [work psychology]. 2nd Ed. Zürich, Stuttgart: vdf Hochschulverlag AG, Schöffer-Poeschel, 469 str.
- Weintraub, A., Bare, B. B., 1996: New issues in forest land management from an operations research perspective. *Interfaces*, 26(5): 9–33.
- Weintraub, A., Navon, D., 1976: A forest management planning model integrating silvicultural and transportation activities. *Management Science*, 22(12): 1299–1309.
- Wu, J., Spitzer, C. W., Hassan, A. E., Holt, R. C., 2004: Evolution Spectrographs: visualizing punctuated change in software evolution. *Proceedings, 7th International Workshop on Principles of Software Evolution [IWPSE '04]*, 57–66. Kyoto, Japan, Sep 6–7, 2004.
- Zambonelli, F., Rana, O. F., 2005: Self-Organization in Distributed Systems Engineering: Introduction to the Special Issue. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A*, 35(3): 313–315.

---

Autorova adresa:

Hans Rudolf Heinimann  
e-mail: [hans.heinimann@env.ethz.ch](mailto:hans.heinimann@env.ethz.ch)  
Institute of Terrestrial Ecosystems  
ETH Zurich  
Universitaetstrasse 22  
CH-8092 Zürich  
SWITZERLAND