

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN
OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Matej PEJANOVIĆ

**ZGODOVINSKI RAZVOJ STROJNE SEČNJE V
SLOVENIJI, EVROPI IN SVETU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Matej PEJANOVIĆ

**ZGODOVINSKI RAZVOJ STROJNE SEČNJE V SLOVENIJI,
EVROPI IN SVETU**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**HISTORICAL EVOLUTION OF MECHANIZED TIMBER
HARVESTING IN SLOVENIA, EUROPE AND WORLDWIDE**

GRADUATION THESIS
University Studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za gozdno tehniko in ekonomiko Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF je dne, 1. junij 2016 sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Boštjana Koširja, za somentorja doc. dr. Jurija Marenčeta ter za recenzenta prof. dr. Janeza Krča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačano, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Matej Pejanović

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	GDK 902.36(4)(497.4)(043.2)=163.6
KG	strojna sečnja/gozdarska mehanizacija/razvoj/tehnične izboljšave/zgodovinski pregled
AV	PEJANOVIĆ, Matej
SA	KOŠIR, Boštjan (mentor) / MARENČE, Jurij (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2016
IN	ZGODOVINSKI RAZVOJ STROJNE SEČNJE V SLOVENIJI, EVROPI IN SVETU
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	VIII, 97 str., 3 pregl., 51 sl., 4 pril., 47 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Stroji za sečnjo v sodobni gozdni proizvodnji predstavljajo pomembno delovno sredstvo. Temeljni cilj raziskave je bil predstaviti pomen in perspektive strojne sečnje na podlagi izkušenj iz tujine in doma. Avtor opisuje potek razvoja strojne sečnje v svetu in v Sloveniji ter njeno vlogo v prihodnosti. V delu so predstavljene številne kategorije strojev za sečnjo z njihovimi temeljnimi lastnostmi, posebnostmi ter načini uporabe. Kompleksna zgradba in delovanje teh strojev zahteva poznavanje glavnih sestavnih delov, ki jih avtor opisuje v ločenem poglavju. Predstavljene so ugotovitve stroke glede terenskih in tehnološki možnosti uporabe strojne sečnje v Sloveniji ter pristop k uvajanju, izpostavljene problematike in sodobni izzivi slovenske gozdarske stroke na tem področju. Z usmerjenimi intervjuji z domačimi strokovnjaki za strojno sečnjo je avtor pridobil kompleksen vpogled v razumevanje, pričakovanja in praktične izkušnje, ki so jih le-ti pridobili z več kot desetletje trajajočimi aktivnostmi na področju vodenja, organizacije in vzdrževanja strojev za sečnjo v Sloveniji. Prognoza razvoja tehnologije strojne sečnje je oprta na globalne kazalnike porabe lesa in deleža strojno posekanega lesa ter sodobne koncepte za zniževanje stroškov gozdne proizvodnje ob upoštevanju dopustnih vplivov na okolje.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	FDC 902.36(4)(497.4)(043.2)=163.6
CX	mechanized timber harvesting/mechanized cutting/forest mechanisation/development/technical improvements/historical overview
AU	PEJANOVIĆ, Matej
AA	KOŠIR, Boštjan (supervisor) / MARENČE, Jurij (co-advisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB	University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable forest resources
PY	2016
TI	HISTORICAL EVOLUTION OF MECHANIZED TIMBER HARVESTING IN SLOVENIA, EUROPE AND WORLDWIDE
DT	Graduation Thesis (University studies)
NO	VIII, 97 p., 3 tab., 51 fig., 4 ann., 47 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	In modern forest production wood harvesters represent important working assets. The main objective of the study is to present the importance and perspectives of mechanized timber harvesting based on domestic and foreign experiences. The author describes the course of evolution of mechanized timber harvesting in the world and in Slovenia and its role in the future. The paper presents a number of categories of harvesting machinery with their fundamental characteristics, particularities and way of use. The complex structure and function of these machines requires knowledge about the main component parts, which are described in a separate chapter. Scientific findings on fieldwork and technological possibilities of using mechanized harvesting in Slovenia and the approach to initiation, exposure problems and challenges of modern Slovenian forestry experts in this field are presented. Through targeted interviews with local experts for mechanized harvesting the author obtain a complex insight into understanding, expectations and practical experience of the experts which they have acquired through more than a decade of activities in the field of management, organization and maintenance of wood harvesting machines in Slovenia. The forecast of mechanized harvesting technology development bases on global indicators of wood consumption and the share of machine-harvested timber and modern concepts of reducing the costs of forest production, taking into account the permissible impact on the environment.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO PRILOG	X
1 UVOD.....	1
2 DOSEDANJE RAZISKAVE	3
3 NAMEN NALOGE, CILJI IN HIPOTEZE	7
4 MATERIAL IN METODE DELA.....	9
5 REZULTATI.....	11
5.1 ZNAČILNOSTI IN RAZVOJ STROJNE SEČNJE.....	11
5.1.1 Obdobje pred strojno sečnjo	11
5.1.2 Obdobje razvoja strojne sečnje - od pionirskih začetkov do sodobnih naprav	13
5.1.3 Morfološke značilnosti sodobnih naprav za strojno sečnjo.....	38
5.1.3.1 Glavni sestavni deli - harvester	41
5.1.3.2 Kolesni stroji	41
5.1.3.3 Gosenični stroji.....	41
5.1.3.4 Pnevmatike	42
5.1.3.5 Verige in gosenične verige	42
5.1.3.6 Osi in podvozja.....	44
5.1.3.7 Harvesterška glava.....	44
5.1.3.8 Sistemi za prežagovanja lesa	46
5.1.3.9 Tipi podajalnih koles v glavi	49
5.2. KLASIFIKACIJA STROJEV ZA STROJNO SEČNJO	50
5.2.1 Procesorji z vgrajenim vitlom	50
5.2.2 Procesorji z dvojno procesorsko glavo in hidravličnim žerjavom	51
5.2.3 Veliki procesorji za sečnjo - harvesterji	52
5.2.4 Stroji za podiranje in zbiranje dreves	54
5.2.5 Kombinirani stroji za sečnjo in spravilo.....	55
5.2.5.1 HSM 805F Kombi	56
5.2.5.2 Konrad Highlander II	57
5.2.5.3 Valmet 801 C.....	58
5.2.6 Stroji za kleščenje.....	58
5.2.7 Sekalni harvesterji	59
5.2.8 Stroji za ruvanje panjev	60
5.2.9 Stroji za sečnjo v ekstremnih terenskih razmerah	61
5.3 STROJNA SEČNJA V SLOVENIJI	64
5.3.1 Uvajanje strojne sečnje v Sloveniji	65
5.3.1.1 Zakonski okvir.....	68
5.3.1.2 Vloga javne gozdarske službe v Sloveniji.....	68
5.3.2 Primeri uporabe strojne sečnje v Sloveniji.....	68
5.4 DEJAVNIKI PRIHODNJEGA RAZVOJA STROJNE SEČNJE	71

5.4.1	Trend porabe lesa in osnivanja plantažnih nasadov v svetu kot vplivna dejavnika na povečevanje deleža uporabe strojne sečnje	72
5.4.2	Razvoj integriranih sistemov – združevanje funkcij strojev za sečnjo	75
5.4.3	Energetska varčnost vseh uporabljenih naprav	77
5.4.4	Uporaba hibridne pogonske tehnologije.....	78
5.4.5	Zmanjšanje emisij in vpliva na okolje.....	80
5.4.6	Zanesljivost strojev in nižji stroški vzdrževanja.....	82
5.4.7	Najem in trg rabljenih naprav.....	82
5.4.8	Laserska tehnologija.....	83
6	ZAKLJUČKI IN RAZPRAVA	85
7	POVZETEK (SUMMARY)	88
7.1	POVZETEK	88
7.2	SUMMARY	91
8	VIRI.....	94
	ZAHVALA.....	98
	PRILOGE	99

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Orientacijski podatki za majhne, srednje in velike stroje za sečnjo (Krč in sod., 2014 cit. po FHP, 2010)	53
Preglednica 2: Aktualna ponudba strojev za podiranje in zbiranje lesa (spletne strani naštetih proizvajalcev, 2016)	55
Preglednica 3: Pregled strojev za delo v ekstremnih razmerah s podanimi lastnostmi (spletne strani proizvajalcev: Kaiese, Menzi Muck, Euromach in Schaeff, 2016)	63

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Prototip prvega sečno-spravnega stroja leta 1957, izumitelj: Rudy Vit, Quebec, Kanada (Drushka in Konttinen, 1997).....	14
Slika 2: Beloit Harvester na demonstraciji v Severni Karolini leta 1964 (Drushka in Konttinen, 1997).....	15
Slika 3: Busch Combine leta 1959 razvit v Louisiani (ZDA) za potrebe podiranja in obdelave celuloznega lesa (Drushka in Konttinen, 1997).....	17
Slika 4: Timberjack RW-30, v obdobju 1960-1970 je bilo proizvedenih 40 primerkov (Drushka in Konttinen, 1997).....	18
Slika 6: Stroj za podiranje in spravilo (feller skidder) iz leta 1968 imenovan Log All, Quebec, Kanada (Drushka in/ Konttinen, 1997).....	21
Slika 7: Prvi švedski procesor VSA za kleščenje in krojenje iz leta 1966 (Drushka in Konttinen, 1997).....	22
Slika 8: Prodajni uspešnici svojega časa, zgibni polprikoličar Volvo 868 z nameščenim procesorjem Ösa 710 (Drushka in Konttinen, 1997).....	22
Slika 9: Pika 75 iz leta 1972, kot eden prvih finskih harvesterjev (Drushka in Konttinen, 1997).....	23
Slika 10: Ösa 710 procesor s prikazanimi glavnimi funkcijami (Ösa arhiv, 2016)	25
Slika 11: Finski Makeri harvester montiran na Bobcat osnovo (Drushka in Konttinen, 1997).....	25
Slika 12: Hydro-Ax verižni stroj za kleščenje iz leta 1972, Manitoba, Kanada (Drushka in Konttinen, 1997).....	26
Slika 13: Volvo 900 pri delu v gozdu (Solhem 9, 2016).....	28
Slika 14: Stožčasti podajalni valji na procesorju stroja Volvo 900 (Solhem 9, 2016).....	28
Slika 15: Inovativno 2-smerno niveliranje strojniške kabine (TimberPro History, 2016) ..	29
Slika 16: Timbco stroj za podiranje (Drushka in Konttinen, 1997)	30
Slika 17: Ponsse 520H harvester (levo), harvesterksa glava (sredina) in komandna ročica (desno) iz leta 1987 (Metstaheo, 2016)	31
Slika 18: Prototipni Tri-Track Mover je omogočal delo na strmih in zaradi odlične prehodnosti tudi skalovitih terenih (Drushka in Konttinen, 1997).....	34
Slika 19: Revolucionarni Plustech Walking machine na demonstraciji leta 1996 (Drushka / Konttinen, 1997).....	35
Slika 20: The Beast daljinsko vodeni harvester v delovni skupini z dvema forwarderjema (Skogforsk, 2006)	37
Slika 21: Primer univerzalnega stroja za sečnjo - CAT 501HD (Cat, 2016).....	39
Slika 22: Specialni harvester Ponsse Scorpion (Ponsse, 2016).....	40
Slika 23: Shematski prikaz glavnih sestavnih delov sodobnega harvesterja (Komatsu Forest, 2016).....	41
Slika 24: Različni tipi kolesnih pol-gosenic za uporabo na dvojnih oseh (Eco-Tracks, 2016)	43
Slika 25: Shematska prikaz harvesterjske glave (Komatsu Forest, 2016).....	45
Slika 26: Harvesterjska glava z verižno žago na hidro-pogon (Waratah, 2016)	47
Slika 27: Krožna žaga na glavi za podiranje in zbiranje lesa (John Deere, 2016)	48
Slika 28: Ščipalna glava z možnostjo akumuliranja debel (CAT, 2016).....	48

Slika 29: Različni tipi podajalnih valjev harvesterških glav (Moisioforest, Log Max, 2016)	49
Slika 30: Procesor Nokka 400 RS z dvema procesorskima glavama priključen na traktor (James Sharp Youtube kanal, 2016)	51
Slika 31: Sodobni stroji za podiranje in zbiranje lesa, L-D: John Deere, Madill, Timbercat (spletne strani proizvajalcev, 2016)	55
Slika 32: Večnamenski stroj HSM 805F Kombi s prikazanimi možnostmi delovnih operacij (HSM GmbH & Co. KG, 2016)	57
Slika 33: Raztegljiva kolesna platforma stroja Highlander za prilagajanje terenskim razmeram (levo) in prikaz funkcije sečnje in spravila na strmih terenih (desno) (Forsttechnik, 2016)	58
Slika 34: Kombinirani stroj za sečnjo in spravilo Valmet 801 C (IHB-Fordaq, 2016)	58
Slika 35: JohnDeere 2154 z Pro Pac agregatom za kleščenje (John Deere spletna stran, 2016)	59
Slika 36: Silvatec sekalni harvester na polgosenicah namenjen za pridobivanje biomase (Silvatec spletna stran proizvajalca, 2016)	60
Slika 37: Ösa 670 z namensko glavo za ruvanje panje (Drushka in Konttinen, 1997)	61
Slika 38: Ösa 250 (Drushka in Konttinen, 1997)	61
Slika 39: Sodobne čeljusti za ruvanje panjev (Fravizel, 2016)	61
Slika 40: Švicarski Menzi Muck A91 z glavo Woody 50 (Menzi Muck, 2016)	61
Slika 41: Participacija je pomemben del uvajanja strojne sečnje (Seppo, 2016)	66
Slika 42: Prognoziranje se velikokrat izkaže za napačno (Košir, 1990)	72
Slika 43: Trend globalne porabe okroglega lesa in lesa za kurjavo (FAOSTAT, 2011)	73
Slika 44: Trend gibanja površinske pokritosti naravnega gozda, plantaž in obojega skupaj v obdobju 2000-2010 (FAOSTAT, 2011)	73
Slika 45: Primerjalni grafikon deleža strojno posekanega lesa v različnih državah za leti 2004 in 2008 (Asikainen, 2009)	75
Slika 46: Deset-kolesni kombinirani stroj za sečnjo in spravilo The Beauty (Woodbusiness, 2016)	76
Slika 47: Poraba goriva za različne kombinacije in skupine delovnih strojev (Bergkvist in sod., 2007)	78
Slika 48: El-Forest hibridni forwarder (Bergkvist in sod., 2007)	79
Slika 49: Hibrini harvester LOGSET 12H GTE je z močjo 380 kW trenutno najmočnejši sečni stroj na trgu (VISED, 2016)	80
Slika 50: Regulative izpustov trdih delcev (PM) in dušikovih oksidov (NOx) za različne kategorije delovnih strojev (John Deere, 2016)	80
Slika 51: Shematski prikaz izgorevanja izpušnih plinov sodobnega dizelskega motorja (John Deere, 2016)	81

KAZALO PRILOG

	str.
Priloga A: Preglednica kronološkega razvoja strojne sečnje in gozdarski tehnologij v povezavi s sečnjo in pravilom lesa (od leta 1950)	99
Priloga B: Generacijski razvoj stroja za sečnjo Timberjack / John Deere, model 1270 (1992-2016)	102
Priloga C: Vprašalnik za slovenske strokovnjake na področju strojne sečnje	104
Pridloga D: Angleško – slovenski slovarček izrazov na področju strojne sečnje	106

1 UVOD

Stroji za sečnjo so namenski gozdarski stroji, katere uporabljamo za pridobivanje kratkega lesa. Sodobni stroji danes večinoma opravijo podiranje, kleščenje, krojenje in sortiranje sortimentov. Stroj za sečnjo ponavlja dela skupaj z zgibnim polprikoličarjem, ki opravi izvoz izdelanih sortimentov na gozdno cesto (Košir, 1997).

O pojavu strojne sečnje lahko govorimo od konca petdesetih let 20. stoletja, ko so v Združenih državah Amerike (v nadaljevanju: ZDA) razvili in pričeli uporabljati prve stroje. Tako rekoč vzporedno z razvojem te tehnologije v Severni Ameriki je praktično od začetkov pa do danes tekkel tudi razvoj v skandinavskih državah. Čeprav se prevladujoči tehnologiji pridobivanja okroglega lesa precej razlikujeta (S. Amerika - sistemi dolgega lesa, Skandinavija - sistemi kratkega lesa), so se kmalu pričele močne izvozno-uvozne aktivnosti in povezovanja. V osemdesetih letih so omenjeno tehnologijo začeli uspešno uporabljati v redčenjih in v devetdesetih tudi pri sečnji listavcev. Danes najdemo takšne stroje v zelo različnih delovnih razmerah ter tudi v deželah z zelo pestrimi terenskimi in sestojnimi značilnostmi (Košir, 2002).

Razvoj v srednji Evropi je dolgo dopuščal domnevo, da bo uporaba strojev za sečnjo potekala drugače kot na severu. Kazalo je, da bo zaradi skrbi za ekološke in socialne funkcije gozda družba pokrila razlike med cenami in stroški dela v gozdu in tako omogočila gospodarnost gozdarstva (Rebula, 2003).

V zahodni Evropi smo zadnji dve desetletji priča krizi gozdarstva, ki jo povzroča naraščajoče neskladje med rastjo cene dela in stagnirajočo ceno lesnih sortimentov (Krč in Diaci, 2001). Strojna sečnja je eden izmed načinov kako zmanjšati stroške dela (Delavec, 2003). Čeprav je od prve uporabe stroja za sečnjo v slovenskih gozdovih minilo že več kot 15 let (Marušič, 1998), pa se še vedno ukvarjamo z vprašanji kje, kdaj in zakaj je primerna strojna sečnja. To lahko pripišemo neusklajenosti gozdarske stroke glede tega vprašanja (Jež, 2009). Velik vpliv na omejevanje strojne sečnje pa lahko pripišemo tudi javnosti. Ta je pod vplivom razmer iz dežel, kjer gospodarijo velikopovršinsko golosečno in na podlagi

nekaterih neprimernih poizkusov uporabe strojne sečnje pri nas, usmerjena proti uporabi strojev za sečnjo.

Danes je 50 % lesa v svetu posekanega strojno (Asikainen in sod., 2009, cit. po Lahtinen, 2011). Mehanizirano sečnjo delimo v dve skupini: metoda kratkega lesa, ki zajema 35 %, in drevesna metoda, ki zajema 65 % strojno posekanega lesa (Asikainen in sod., 2009, cit. po Lahtinen, 2011). V industrijsko visoko razvitih evropskih državah je strojna sečnja daleč najpogostejša oblika pridobivanja lesa. Na Švedskem tako strojno posekajo kar okrog 98 %, na Irskem in na Finskem pa okrog 95 % lesa (Asikainen in sod., 2011). Nekoliko nižji odstotek, in sicer 60 % je v Nemčiji, na Češkem okoli 29 % (Dvorak, 2010), na Tirolskem pa zaradi izredne terenske razgibanosti strojno posekajo zgolj 10 % vsega lesa. Za področje Evropske unije velja, da se deleži strojnega poseka lesa iz leta v leto povečujejo. Še posebej je to očitno v Italiji, Latviji na Češkem in Poljskem, kjer se je delež strojno posekanega lesa med letoma 2004 in 2008 povečal za nekajkrat (Asikainen in sod., 2009, cit. po Lahtinen, 2011). Slovenija se glede velikosti deleža s stroji posekanega lesa uvršča na zadnja mesta držav EU. Leta 2008 smo s tehnologijo strojne sečnje posekali zgolj 7 % lesa (Beguš, 2010). Terenske razmere in lastniška struktura naših gozdov resda ni optimalna, vendar tudi številni strokovnjaki za počasno uveljavljanje novih tehnologij krivijo predvsem močno prisotno tradicijo in slabo participacijo z lastniki gozdov ter zainteresirano javnostjo.

V delu, ki je pred vami, bomo skozi kronološko zastavljen zgodovinski razvoj tehnologije strojne sečnje predstavili pomembnejše tehnične koncepte, izboljšave, izume in razvojne poizkuse, ki so odločilno vplivali na razvoj strojev za sečnjo. Obenem se s časovno neobremenjeno distanco oziramo na družbeno-politične in gospodarske razmere, katere so v določenem obdobju pomembno usmerjale tehnološki razvoj. Poznavanje tehnološkega razvoja ter razmer ob uvajanju strojne sečnje v Sloveniji nekoč in danes, smo dodatno poglobili s pridobljenimi mnenji in podatki nekaterih slovenskih strokovnjakov na področju strojne sečnje. Pregled aktualnega stanja tehnologije strojne sečnje s poznavanjem preteklosti pa nam je omogočil napoved nekaterih še mogočih ali potencialno razvijajočih se smernic za prihodnost.

2 DOSEDANJE RAZISKAVE

Uporaba strojev za sečnjo je bila v začetnem obdobju omejena pretežno na iglaste sestoje in na ravnine. Skozi čas so jih pričeli uporabljati tudi na večjih naklonih terena. Zmožnost novih tehnologij (kolesni stroji s kabinami za avtomatsko niveliranje, zmogljivi hidrostatski pogoni in celo avtonomni stroji za strojno sečnjo brez človeške posadke) omogočajo strojno sečnjo na naklonih do 100 %. Glavne omejitvene dejavnike za uporabo strojev za sečnjo predstavljajo: debela drevesa (nad 70 cm prsnega premera), slaba talna stabilnost in neugodne terenske razmere (velika skalovitost, vrtačasti tereni).

Prve raziskave na področju strojne sečnje so bile v sklopu diplomskih nalog pri nas izvedene v devetdesetih letih 20. stoletja (Marušič, 1998). Od tedaj pa do danes je bilo na temo strojne sečnje narejenih več diplomskih in magistrskih nalog ter doktorskih disertacij. Nanašajo se na časovno študijo strojne sečnje (Marušič, 1998; Četina, 2003; Kepic, 2003; Ucin, 2004), analizo razlik med klasično sečnjo z motorno žago in strojno sečnjo (Delavec, 2003; Vranešič, 2008), na gojitvene vidike uporabe strojne sečnje pri redčenjih (Judnič, 2006), na poškodbe tal pri uporabi strojne sečnje (Mali, 2006, Cerjak, 2011), na časovno študijo priprave dela za strojno sečnjo (Pfajfar, 2006), možnost rabe strojne sečnje v zasebnih gozdovih (Čeč, 2006) in na uporabnost traktorskih vlak za spravilo z zgibnimi polprikoličarji (Žlogar, 2007). Raziskave sečnje in pravičnih učinkov med prilagojenim kmetijskim traktorjem in zgibnim polprikoličarjem iz pomlajenih sestojev so bile izvedene na območju Novomeškega Roga (Mikec, 2011).

Sestojne in terenske možnosti za strojno sečnjo v Sloveniji sta raziskovala Krč in Košir, ki sta kot pomembne vplivne dejavnike določila naklon terena (povprečni naklon v odseku), mešanost sestojev (delež iglavcev v lesni zalogi), ovire na terenu (povprečna skalovitost v odseku), jakost sečnje (delež možnega poseka glede na lesno zalogo v odseku) in reliefne posebnosti (gladko, valovito, jarkasto, stopničasto, vrtačasto,...). Raven podrobnosti podatkov je bil odsek. Pri upoštevanju omejitev za rabo strojne sečnje sta upoštevala naslednje vrednosti: naklon do največ 30 %, najmanj 70 % iglavcev v lesni zalogi, največ 50 % skalovitost, kot neprimerne odseke pa sta izločila vse odseke z reliefno posebnostjo vrtačastih terenov. Rezultati kažejo, da je, glede na upoštewane kriterije, v Sloveniji za

strojno sečnjo primernih 8 % gozdov, ki so prikazani po razvojnih fazah: od mlajših drogovnjakov (do 20 cm prsnega premera) jih je samo 9 % primernih, od starejših drogovnjakov (20 do 30 cm prsnega premera) 7 % in od debeljakov (nad 30 cm prsnega premera) 10 %. Na celotni izbrani površini je predvidena 1/5 skupnega možnega poseka iglavcev (Krč in Košir, 2002).

Domači strokovnjaki so analizirali tudi področje učinkovitosti učenja bodočih strojnikov za delo s strojem za sečnjo. Pri tem je bil preučevan potek učenja s simulatorjem s primerjavo porabe časa in števila poškodb na virtualnem stroju in sestoji, na podlagi česar so bile podane usmeritve za prihodnje študije in spremljanje učinkov strojnikov pri delu (Malovrh in sod., 2004).

V Sloveniji se je strojna sečnja sprva uveljavila predvsem pri sanaciji snegolomov in vetrolomov. Sodobna tehnologija popolne strojne sečnje ter izvoza lesa in sečnih ostankov v težkih razmerah se je izkazala za primerno in edino racionalno tehnologijo, ki ob hitri in učinkoviti izvedbi zagotavlja visoko stopnjo varnosti v takšnih okoliščinah. Avtorja Košir in Jež tako predstavljata sanacijo sestojev po požaru na območju Komna (Košir in Jež, 2008).

Krč in Košir nadalje ugotavljata, da z rastjo dimenzij drevja pri določenem prsnem premeru strojna sečnja za zdaj nima odločilne prednosti pred sečnjo in izdelavo z motorno žago. Pri sečnji debelih dreves gre za poseben primer, pri katerem je potrebno uporabiti prilagojene postopke s kombinacijo obeh tehnologij (Krč in Košir, 2006).

Področje uporabe kombiniranih strojev za sečnjo in spravilo sta na primeru stroja HSM 805F opisala avtorja v diplomski nalogi ter magistrskem delu. Kencijan je primerjal učinke in stroške sečnje in spravila na primeru uporabe kombiniranega stroja za sečnjo in spravilo ter jih primerjal s klasično sečnjo in spravilom s traktorjem (Kencijan, 2016). Intiharjeva pa je preučevala poškodbe tal po sečnji in spravilu s kombiniranim strojem (Intihar, 2014).

Majhni stroji za sečnjo so pri lastnikih gozdarske mehanizacije v Sloveniji zastopani v manjšini. Avtor v članku predstavlja nekatere tipične značilnosti majhnih strojev za sečnjo

in predstavlja tako njihove dobre kot tudi slabe strani. Na primeru zgodnjih redčenj, kjer je uporaba teh strojev najbolj primerna, pa so bili predstavljeni učinki v primerjavi z velikimi stroji (Košir, 2005).

Področje pridobivanja biomase iz gozdov v Sloveniji vztrajno pridobiva na pomenu (Triplat, Krajnc, Robek 2013, cit. po Čebul, Krajnc 2012; Krajnc, Piškur 2011). Z izbiro tehnološkega modela pri proizvodnji zelenih sekancev so bile preučevane možnosti in omejitve pridobivanja biomase iz gozdov. Avtorji so pri tem opredelili šest različnih modelov, od katerih je obravnavana tudi strojna sečnja z vidika sedmih različnih kategorij (Triplat, Krajnc, Robek 2013). Preučevanje tehnoloških in ekonomskih možnosti izrabe sečnih ostankov, določanje prostorninske in nasipne gostote ter energijske vrednosti sekancev in sečnih ostankov je odprlo pomembna vprašanja o izrabi mobilnih sekalnikov. Ti zaradi visoke teže in dimenzij niso primerni za zahtevnejše terenske razmere, temveč jih uporabljamo na ravninah in deloviščih z zelo veliko gostoto odkazanega lesa oz. v primeru golosečenj (Biščak, 2008).

Z vidika zgodovinskega pregleda razvoja strojne sečnje po naših podatkih v Sloveniji do sedaj še ni bilo izvedenih raziskav. V smislu razvoja gozdarske tehnike sta bili v obliki diplomskega dela narejeni dve raziskavi. Prva na področju razvoja in uporabe motorne kose pri delu v gozdu, kjer je predstavljena kratka zgodovina motornih kos in njihov razvoj, ki je potekal vzporedno z razvojem motornih žag (Bizjak, 2011). Druga pa predstavlja razvoj motornih žag in njihove tehnične izboljšave, kjer je kot ključni dejavnik razvoja predstavljeno razmerje masa/moč. Poleg tega pa avtor opozarja, da imajo poleg ekonomskih dejavnikov veliko vlogo socialne razmere ter stopnja kulturnega in gospodarskega razvoja v posamezni državi. Kljub temu, da je v razvitih državah delovna sila dražja od strojnega dela, je takšno okolje glavni vir napredka in razvoja tehnologij (Bizjak, 2007).

Strnjen pregled na področju razvoja strojne sečnje od pionirskih začetkov do uvajanja prvih hodečih strojev je predstavljen v monografiji *Tracks in The Forest* (Drushka in Kontinen, 1997). V delu so predstavljene poglobljene tehnološke izboljšave, hkrati pa avtorja z opisom družbeno ekonomskih razmer celovito predstavljata stanje in razmere v

določenem obdobju. Monografija ves čas primerja razmere in stopnjo razvoja v Severni Ameriki in Skandinaviji, kjer je od samih začetkov pa vse do danes potekala glavna razvoja tehnologije strojne sečnje (Drushka in Kontinen, 1997).

Številna vprašanja glede učinkov na gozdna tla, energetske učinkovitosti in vgradnje sodobnih sistemov v tehnologijo strojne sečnje so obravnavana po vsem svetu (Bergmann, 2005, Jamieson 2007). Gre za še danes aktualna vprašanja, ki v največji meri vplivajo na razvoj strojne sečnje in s tem povezanimi tehničnimi izboljšavami oz. spremembami. Vidik zniževanja stroškov glede na enoto proizvoda (€/m^3) je eden glavnih izzivov za uporabnike sečnih strojev, ki svoje zahteve prenašajo na proizvajalce.

V tujini je bilo na področju prihodnjega razvoja gozdarskih tehnologij narejeno večje število raziskav. Avtorji člankov, elaboratov in strokovnih nalog z različnimi metodami ocenjujejo in napovedujejo razvoj mehanizacije za strojno sečnjo in spravilo. Ob istočasnem spremljanju globalnih trendov porabe in cene lesa ter stroškov delovne sile, napovedujejo scenarije za prihodnji razvoj z vidika tehničnih izboljšav in številčnosti strojne opreme za sečnjo (Asikainen in sod. 2011, Hartsough in sod. 2011, Lindroos in sod. 2011).

Posebno poglavje v razvoju strojne sečnje je namenjeno tudi raziskavam na področju avtonomnih in daljinsko upravljanih strojev. Na podlagi že opravljenih poizkusnih obratovanj strojev za sečnjo in naprednih možnosti sodobne tehnologije avtorji v prihodnosti predvidevajo uporabo strojev brez človeške posadke in avtomatizacijo postopkov v gozdarstvu (Bruman in Löfgren 2007, Höllström in sod. 2008, Parker 2009).

3 NAMEN NALOGE, CILJI IN HIPOTEZE

Namen naloge je predstaviti pomen in perspektive strojne sečnje na podlagi tujih in domačih izkušenj. V analizo smo zajeli celoten razvoj strojev za sečnjo in pri tem upoštevali posameznike, gospodarske družbe in znanstveno-raziskovalne inštitucije, ki so kakorkoli sodelovali ter bili pomembni pri razvoju te tehnologije. Zgodovinski pregled razvoja smo skušali časovno opredeliti z letnicami in pomembnejšimi družbeno-gospodarskimi dogodki, ki so vplivali na razvoj strojne sečnje v svetu. V nalogi smo opisali glavne sestavne dele sodobnega stroja za sečnjo in predstavili poglobitve kategorije strojev za sečnjo z njihovimi temeljnimi lastnostmi, posebnostmi in načini uporabe. Terenske in tehnološke možnosti uporabe strojne sečnje v Sloveniji smo predstavili skozi pristop k uvajanju, izpostavljen problematiki in sodobne izzive slovenske gozdarske stroke na tem področju. Pri tem nas je zanimal pogled izbranih slovenskih strokovnjakov na področju strojne sečnje, s katerimi smo opravili usmerjene intervjuje in tako pridobili kompleksnejši pogled na obravnavano temo. Naše poznavanje razvoja strojne sečnje z ugotovitvami aktualnega stanja in smernic na tem področju nam je omogočil možnosti napovedovanja prihodnjega razvoja.

Glavni cilj diplomskega dela:

- predstaviti razvoj strojne sečnje,
- opisati glavne sestavne dele sodobnega stroja za sečnjo,
- predstaviti kategorizacijo strojev za sečnjo ter njihove osnovne lastnosti, posebnosti in načine uporabe,
- preučiti značilnosti in problematiko uporabe strojne sečnje v Sloveniji,
- ugotoviti možnosti in težnje prihodnjega razvoja strojne sečnje,
- obravnavati terminologijo strojne sečnje.

Glede na rezultate dosedanjih raziskav smo postavili naslednje hipoteze:

- 1) Nenehen razvoj gozdarske tehnologije je nujno potreben za sledenje trendom v sodobni družbi.
- 2) Naraščajoča poraba lesa v svetu pomeni vedno večjo prisotnost in uporabo strojne sečnje.

- 3) Odprt pretok delovne sile je močen vplivni dejavnik razvoja strojne sečnje v Sloveniji.
- 4) Glavnina razvoja in raziskav na področju tehnologije strojne sečnje temelji na avtomatizaciji postopkov.

4 MATERIAL IN METODE DELA

S študijem strokovnih in znanstvenih del, ki zadevajo razvoj strojne sečnje, smo želeli dobiti celovit vpogled v poznavanje in razumevanje te tehnologije. V veliko oporo pri študiju zgodovinskih virov nam je bila publikacija, ki so jo pred skoraj dvajsetimi leti izdali ob petdeseti obletnici še danes največjega proizvajalca opreme za strojno sečnjo (Timberjack). Ta obširna monografija opisuje vse pomembnejše razvojne stopnje in inovativne pristope za razvoj strojne sečnje ter pri tem obravnava družbeno-politična, finančna in ekološka ozadja, ki so imela pomemben vpliv na razvoj te tehnologije.

Sledil je natančen pregled sodobnih strojev za sečnjo in tudi spravilo, saj je že nekaj časa aktualno vodilo združevanja funkcij strojev za sečnjo in spravilo. Zaradi najbolj aktualnih in zanesljivih podatkov (tehnične lastnosti, zmogljivosti, predstavljene novitete) smo poseben poudarek namenili preučevanju katalogov, prospektov in ostalega propagandnega gradiva v tiskani in elektronski obliki. Zaradi kompleksne zgradbe in funkcij sodobnih strojev za strojno sečnjo je pomembno poznavanje njihove osnovne zgradbe in delovanja.

Za razumevanje objavljenih predlogov, zakonskih podlag in stališč posameznikov za uporabo strojne sečnje v Sloveniji smo v bistvenih zadevah preučili elaborate, prispevke na konferencah, strokovne članke in nekatera diplomska in magistrska dela. Pri tem so nam izdatno pomagala pridobljena mnenja domačih strokovnjakov na področju strojne sečnje, s katerimi smo opravili usmerjene intervjuje. Vsak posameznik je ustno, preko sproščenega pogovora, podal svoja mnenja in predstavil izkušnje, ki smo jih sproti zapisovali. Pred pričetkom intervjuja je vsak posameznik vprašanja prejel prek elektronske pošte ter se opredelil ali dovoli objavo zapisanega z namenom uporabe v tem diplomskem delu. Za izbiro intervjuvancev smo postavili naslednje kriterije: večletne izkušnje (5+ let) in neposredno sodelovanje povezano s strojno sečnjo, demografska razpršenost (različni predeli Slovenije) ter pri tem upoštevali priporočila mentorja. Vprašanja (glej prilogo C) smo vsebinsko navezali na področja tehnične opremljenosti, praktičnih uporab in doseženih učinkov, organizacije in kadrovanja, ergonomskih vidikov ter vzdrževanja naprav. Pridobljene informacije navajamo kot osebne vire z datumsko opredelitvijo.

Možnosti prihodnjega razvoja tehnologije strojne sečnje so podprte s teoretičnimi razlagami domačih (Košir, 1997) in tujih avtorjev (Samset, 1985). Konkretnije napovedovanje smernic pa se opira na preteklo težišče razvoja, aktualno stanje pri proizvajalcih ter na novejša analitične članke iz različnih delov sveta (ZDA, Nova Zelandija, Švedska). Ti obravnavajo celovito »sliko« možnosti razvoja tehnologije strojne sečnje ter s tem možnosti izpolnjevanja zahtev po večji učinkovitosti, gospodarnosti, ergonomiji in zmanjšanih vplivih na okolje.

Na področju terminologije strojne sečnje smo obravnavali nekatere izraze, ki so nam izdatno pomagali k pravilnemu razumevanju obravnavane tematike. Izdelani slovar je povzetek domačih in tujih del na tem področju.

5 REZULTATI

5.1 ZNAČILNOSTI IN RAZVOJ STROJNE SEČNJE

5.1.1 Obdobje pred strojno sečnjo

Razvoj mehanizacije se je v gozdarstvu pričel mnogo kasneje kot v kmetijstvu. Delo v gozdu je dolgo časa veljalo za ročno opravilo. Prve motorne žage so »zapele« v letih 1916-1917, pravi razcvet pa so doživele po letu 1950. V manj kot desetih letih je npr. v Kanadi delež lesa posekanega z motornimi žagami zrasel iz 20 % na skoraj 100 % (Silversides, 1997). Okoli leta 1920, pretežno iz Severne Amerike, izvirajo številni poizkusi uporabe traktorjev in ostalih spravilnih strojev za transport lesa iz gozda. Pomemben korak naprej je bila opremljenost gozdarskih strojev z vitlom od leta 1925 dalje (Ringdahl, 2011).

Prva polovica petdesetih let velja za obdobje tik pred začetkom strojne sečnje. Obdobje je zaznamovalo ključno vprašanje ali les obdelati na panju ali na kamionski cesti. Tako so se naslednjih 20-30 let razvijali in na trgu pojavljali različni stroji, priključki in oprema prilagojena eni ali drugi metodi. V nalogi tako ne bomo obdelali vseh strojev za strojno sečnjo, podrobneje pa bomo opisali predvsem tiste, ki so prvi uporabili konkretne tehnične izboljšave in tako odločilno vplivali na razvoj tehnologij.

Prvi namenski stroji za pridobivanje lesa so bile žičnice. Med napravami tega tipa ima pionirsko vlogo Dolbeer's yarding machine, splošno znana kot "donkey" (osel) iz leta 1882. Žičniško spravilo je na področju Slovenije kot prvi uporabljal Štefan Gnezda iz Idrije. Leta 1932 je tako priredil manjši tovornjak za pogon žičnega žerjava, kasneje znanega kot Gnezdov žični (ali Idrijski) izvlek. Za nadaljnji razvoj gozdarske mehanizacije je ključnega pomena razvoj pnevmatik v zgodnjih 50-ih letih. Tako opremljeni gozdarski stroji so, v primerjavi z goseničarji, dosegali znatno višje hitrosti premikanja/vožnje. Na ta način so bile mogoče bistveno daljše pravilne razdalje in hitrejši pravilni cikli. Z vidika boljše kronološke predstave o razvoju dogodkov omenjamo prvi kolesni namenski stroj za spravilo lesa, t. i. skidder, ki je pod imenom Performer pričel z obratovanjem leta 1951 v zvezni državi Oregon (ZDA).

Pomemben izum za kasnejši razvoj strojne sečnje predstavlja hidravlična iztegljiva roka, t. i. knuckleboom loader, zato ga na kratko obravnavamo v tej nalogi. Pionir tega področja prihaja iz Švedske. V sredini 50-ih let 20. stoletja je podjetje Hiab izdelalo prvo nakladalno roko, pravice pa so kmalu odkupili v ZDA (podjetje Ely, Minesota, lastnik: Bob Larson) in tako leta 1958 pričeli z proizvodnjo stroja Hiabob (o.p. le ta se ni kaj dosti razlikoval od prvotnega Hiab-a). Naprava je poleg hidravlične dvodelne iztegljive roke imela tudi hidravlične nakladalne klešče (en. Hydraulic grapple).

Na primeru izuma Bob LeTourneau-a, (ime naprave: LeTourneau Log Transporter) iz leta 1957, gre za prvi forwarder. Ta šest-kolesnik so opremili z namensko izdelanimi širokimi pnevmatikami premera 1,8 metra in neodvisnim posamičnim pogonom koles (ko je eno kolo izgubilo oprijem, se je moč prenesla na ostala kolesa). Vozilo je odlikovala izredno dobra mobilnost, saj je lahko težke tovore spravljal tudi po naklonih 45 in več odstotkov.

Omeniti velja še stanje mehanizacije v obdobju 50-ih let drugod po svetu. Na celotnem ozemlju takratne Sovjetske zveze je tik pred začetkom II. svetovne vojne bilo sedem motornih žag, sto šestindvajset traktorjev in osem gozdnih železnic. Čeprav je že predvojna oblast svoje strokovnjake pošiljala na izpopolnjevanja v ZDA in Kanado, pa je nadaljnji razvoj gozdarske tehnologije zaustavila vojna. Takoj po vojni je sovjetska oblast sprejela načrt postati vodilni izvoznik gozdni proizvodov. 5-letni načrt je predvideval podvojeno število gozdnih delavcev in kar 500 odstotno rast strojnikov, ki bodo upravljali z gozdno mehanizacijo. Obilica vodnega bogastva je omogočala pridobivanje električne energije, s katero so poganjali motorne žage, vitle, nakladalnike, žerjave in celo železnico. Tudi na Slovenskem so od začetka 20. stoletja obratovala tri električne gozdne lokomotive (Brate, 1994). Sovjeti so testno izdelali tudi električni gozdarski traktor pod imenom CTZ-NATI, katerega je napajala visokonapetostna električna energija. Omeniti velja tracked log skider – gosenični traktor za spravilo ETT-1 ter najuspešnejši izum tistega obdobja - namenski traktor za spravilo lesa KT-12. Motor slednjega je deloval na zemeljski plin, opremljen pa je bil z nakladalno rampo (en. dozer blade), vitlom in nakladalno mizo (en. tilting table). Lahko rečemo, da je naprava bila praktično enakovredna takratnim v Kanadi in Zahodni Evropi. Izdelanih je bilo preko 1000 kosov. Uporabljali so jih pri t. i. drevesni metodi (Drushka in Konttinen, 1997).

V Skandinaviji je razvoj gozdne mehanizacije potekal relativno počasi vse do poznih petdesetih let 20. stoletja. V tem času je vladalo veliko nezaupanje do gozdarske mehanizacije. Večinski delež spravila je bil opravljen s konji, stroka pa se je delila na tiste, ki so zagovarjali spravilo s konji in tiste, ki so težili k uveljavitvi strojev. Kljub prevladujočim zagovornikom spravila s konji, so na švedskem ustanovili SDA inštitut in v sklopu tega tudi gozdarsko šolo, ki je poučevala o teoriji in praksi mehanizacije gozdarstva. Z njimi so se kmalu povezali tudi strokovnjaki iz sosednje Finske. Sprva se je število traktorjev močno povečalo v kmetijstvu, s povečanim deležem izvoza lesnih proizvodov pa se je stopnja mehanizacije drastično povečala tudi na področju gozdarstva.

5.1.2 Obdobje razvoja strojne sečnje - od pionirskih začetkov do sodobnih naprav

Skoraj istočasno z izumom strojev za spravilo lesa s pnevmatikami (namenjeni so bili pretežno spravilu celih dreves od panja do gozdne ceste – skladišča) je sledil razvoj namenskih strojev za obdelavo lesa na panju. Prvi stroj za podiranje in spravilo je kot prototip ugledal luč sveta decembra 1957. Imenoval se je Vit feller-skider (sečno- spravilni stroj) po njegovem izumitelju Rudy Vit-u. Vit po rodu Čeho-Slovak je v sredini petdesetih let, pod okriljem Bombardier-a in North Shore Paper Company, sodeloval pri projektu razvoja gozdarske mehanizacije za sečnjo. Vit-ov sečno spravilni stroj je bil opremljen z dvema motornima žagama in hidravličnimi prijemali. Ena motorna žaga je služila za podžagovanje, druga pa je prerezala deblo, katerega je hidravlična roka položila preko stroja na hidravlično prijemalo. Ko se je kapaciteta prijemala zapolnila, je stroj spravil drevje do gozdne ceste. Kot glavno pomanjkljivost velja omeniti izredno dolge pripravljalne cikle, saj je čas premika in namestitve stroja tik ob drevesu trajal bistveno dlje kot vse ostale delovne operacije. Skupaj je bilo v devetih letih izdelanih enajst tovrstnih strojev.



Slika 1: Prototip prvega sečno-spravnega stroja leta 1957, izumitelj: Rudy Vit, Quebec, Kanada (Drushka in Konttinen, 1997)

Kombinacijo opravljenih operacij in drevesno metodo lahko okarakteriziramo za vsaj desetletje pred svojim časom. Omenjeno napravo lahko označimo za pionirja na področju strojne sečnje in s tem začetek strojne sečnje, ki jo bomo v tej nalogi podrobno obravnavali.

Razvoj tehnologije strojne sečnje se je od pojava prvega stroja usmeril pretežno v tehnologijo kratkega lesa. Stroji tako niso zgolj podirali in klestili, temveč tudi krojili kratke sortimente. Pristop so uveljavili pretežno za potrebe papirniške industrije.

Za obdelavo kratkega lesa je bila izdelan prvi procesor – Bombardier Processor Unit (Rudy Vit). Naprava je s pomočjo vitla vlekla deblo skozi verižno pripravo za kleščanje (en. chain flail). Debla so nato potovala na transportni trak in šla skozi fazo krojenja na predpisano dolžino ter naložena na palete. Opisani koncept je pionirski na področju sledečih tehnologij: verižna priprava za kleščanje (izum: Heron Bay, Tomahawk Timber, Michigan, ZDA), elektronski merilni sistem (meritve premera debel, dolžine in kalkulacija prostornine).

Leta 1958 je John Pope, North Western Pulp&Power's Hinton, Alberta ZDA, izdelal lasten stroj za sečnjo. Nameščen je bil na gosenični traktor z glavo za podiranje. Hidravlična glava je prijela, motorna žaga pa je deblo prerezala. Pope-ov stroj za sečnjo je nato drevo podrl na glavo za kleščanje, ki je drevo gnala nazaj do hidravlične glave za podiranje.

Kapaciteta takšnega stroja je znašala približno 3 m³/h. Omenjeni stroj je imel enako pomanjkljivost kot Vit-ov. Za podiranje ga je bilo potrebno namestiti tik ob drevesu, zato so že leto kasneje (1959, Jack Boyd, Timberland Machines) izdelali napravo z imenom Timberbuncher. Opreмили so jo s hidravlično roko, na katero so namestili prijemala in žago, s katero so lahko les podirali in krojili. Enota za podiranje je s hidravličnim cilindrom okoli drevesa zategnila jeklenico, škarje pa so drevo odščipnile. Žal pa v tistih časih nobeno gozdarsko podjetje ni želelo financirati razvoja omenjenih naprav, saj so bile močno pred časom in to predvsem z vidika, da ustreznih strojev za spravilo lesa (kratkega ali dolgega) takrat še ni bilo na tržišču.

Pomemben pionir na področju strojne sečnje je tudi Bob Larson (v nalogi smo ga že omenili v poglavju razvoja hidravlične roke – naprava Hiabob), kateri je do leta 1963 deloval po okriljem Ontario-based Marthon Paper Mills. Takrat je prišlo do prevzema s strani Beloit Corporation. Od tu ime Beloit Harvester. Njegova posebnost je vitel na hidravlični roki, s katerim so stoječe drevo oklestili (set nožev za kleščenje), odstranili vrh, prerez na panju pa je bil opravljen s škarjami. Podiranje je bilo mogoče v eno smer s pomočjo hidravlične roke s prijemali.



Slika 2: Beloit Harvester na demonstraciji v Severni Karolini leta 1964 (Drushka in Konttinen, 1997)

Koncept je zbudil veliko zanimanja, vseeno pa v naslednjih desetih letih niso izdelali več kot štirideset tovrstnih naprav. Pomanjkljivosti naprave gre iskati predvsem na področju mobilnosti, saj je bil omenjeni stroj za sečnjo težak in okoren, kar mu je močno zmanjšalo uporabnost. Nekoliko kasneje je podjetje Beloit v sodelovanju z Dotmar-jem izdelalo tudi izvedenko stroja za sečnjo, ki je drevo naprej odrezalo, nato v stoječem stanju oklestilo in odstranilo vrh ter ga s pomočjo hidravlične roke položilo na akumulacijsko ploščad. Izdelan je bil samo en primerek, ki je bil uničen v požaru. Podjetje Beloit je kmalu potem prenehalo z izdelovanjem gozdarske opreme.

1959 – Tom Bush, Louisiana je izdelal namenski stroj za sečnjo nameščen na traktor s pnevmatikami. Namenjen je za delo v suhih termofilnih iglastih gozdovih. Ob premiku do drevesa je hidravlična roka prijela deblo, škarje pa so preščipnile deblo (tedaj najefektivnejše klešče na trgu, ki so brez težav prerezale tudi zmrznjena lesna vlakna). Drevo je v nadaljnji fazi naprava položila na vgrajeni transporter, kjer je bilo opravljeno kleščenje in krojenje na predpisano dolžino. Sedlo s kapaciteto nekaj debel je debela povezalo v breme, katerega je nato naložil zgibni polprikoličar – forwarder. Posadka dveh strojnikov je v enem dnevu izdelala do 16 bremen. Za primerjavo: ekipa dveh sekačev je v enakih razmerah izdelala zgolj 4 bremen. Idealni učinki za delo s to napravo so bili ugotovljeni pri debelinah drevja 20-30 cm. Pri tanjšem drevju je učinkovitost znatno upadla. Kot zanimivost navajamo tudi dejstvo, da je v kombinaciji s to napravo delo opravljal tudi t. i. Bush Forwarder (traktor s pnevmatikami ter hidravličnimi kleščami za nalaganje kratkega celuloznega lesa). V primerjavi z ostalimi (goseničnimi) napravami tistega časa sta omenjeni napravi imeli naslednje prednosti: hitrost in okretnost, možnost vožnje po javnih cestah, nižje stroške izdelave in cenejše vzdrževanje.



Slika 3: Busch Combine leta 1959 razvit v Louisiani (ZDA) za potrebe podiranja in obdelave celuloznega lesa (Drushka in Kontinen, 1997)

V ameriškem podjetju Koehring-Waterous so leta 1962 izdelali lasten harvester za vstop na trg z gozdarsko mehanizacijo. Stroj bazira na platformi Dowty forwarderja opremljenega s pnevmatikami, škarje za podiranje pa so bile nameščene na teleskopski hidravlični roki. Podrto drevo je bilo obdelano s pomočjo procesorske glave in nato povezano v snope. Naprava je veljala za takrat najnaprednejšo v kategoriji, zato so jih do leta 1970 izdelali 35 (večinoma za potrebe kanadske papirniške industrije).

1966 – ZDA , Rudy Vit je v sodelovanju z podjetjem Sicard (Montreal, Kanada) izdelal nov sečno-spravljalni stroj (en. feller skidder), nameščen na kolesni stroj proizvajalca Sicard. Proizvedli so 41 naprav in jih od tega 7 izvozili v Francijo. Naprava je imela enako pomanjkljivost kot prvi Vit-ov stroj za sečnjo. Za podiranje je bilo napravo potrebno namestiti tik ob drevesu. Sicard se je nato umaknil iz področja izdelave gozdarske mehanizacije.

1968 – Avstralija, Windsor Tree Harvester (Windsor and Sons, Queensland) je namenski stroj za sečnjo v redčenjih plantažnih iglastih sestojev. Ta kolesni stroj je imel spredaj nameščene škarje za podiranje. Po podiranju se je nad kabino opravilo kleščenje s pomočjo

nameščenih nožev, vrhač pa so »odščipnile« škarje. Omenjena naprava ni nikoli doživela serijske proizvodnje. Kasneje (v sedemdesetih letih 20. stoletja) pa je Timberjack v sodelovanju z Avstralci razvil napravo RW-30.

Za vse naprave tega obdobja je značilno, da še niso imele hidrostatskega pogona, za podiranje pa je bilo potrebno opraviti premik vse do drevesa. Iz teh razlogov je bilo manevriranje težavno in zamudno.



Slika 4: Timberjack RW-30, v obdobju 1960-1970 je bilo proizvedenih 40 primerkov (Drushka in Kontinen, 1997)

Jesus machine - ZDA, ta škarjasti procesor z neke vrste zbiralno glavo je omogočal podiranje drevesa, v horizontalni legi pa je na vrhu stroja garnitura zmogljivih kovinskih koles potiskala deblo skozi nože za kleščenje. Krojenje je bilo opravljeno s škarjastimi kleščami. Celotna nadgradnja je bila nameščena na bager Bobcat, ki je že takrat slovel kot zmogljiv in okreten delovni stroj. Zaradi relativno nizke teže se je stroj uveljavil tudi za delo na mehkih terenih. Nenavadno ime "Jesus" izvira iz časa obiska Kena Pattersona (International Paper) na enem izmed delovišč. Kljub opozorilu strojnika naj ostane na varni razdalji, se je Patterson čedalje bolj približeval stroju, ki je ravno takrat podiralo trideset centimetrov debel in 12 metrov visok bor. Po podiranju v horizontalno lego je operater s polno hitrostjo spustil drevo skozi nože za kleščenje. Ne da bi deblo še skrojil, je le-to s polno hitrostjo odletelo iz stroja in švignilo mimo Pattersonove glave. "Jaysus!" je zavpil in ritensko odskočil dobra dva metra stran.

V tem času je bilo izdelanih tudi nekaj strojev za sečnjo kratkega lesa, vsi po vrsti pa so obstali v fazi prototipov ali pa so izdelali zgolj nekaj kosov. Iz druge polovice 60-ih let velja omeniti stroj Nestor Siiro-ta (Minesota), čigar procesorska glava je bila kot prva opremljena s hidravlično verižno žago. 1967 je pravice odkupilo podjetje Omark, ki je v naslednjih dveh letih izdelalo 4 stroje. Omenjeni napravi veljata za pionirski verziji t. i. single-grip strojev za sečnjo.

1968- ZDA, Drot feller buncher – namenski stroj za podiranje (Erv Drott) je bil zgrajen na bazi nakladalnega bagra pri katerem je bila na upogibni (knockle boom) teleskopski ročici nameščena škarjasta glava. Delovni radij roke je znašal okoli 15 metrov, kapaciteta pa je dosegla do 100 dreves na uro.



Slika 5: Drott Feller Buncher (stroj za podiranje)
z za takrat revolucionarno tehniko podiranja
(Drushka in Kontinen, 1997)

V Skandinaviji so z željo po razvoju lastne mehanizacije številni švedski in finski strokovnjaki obiskovali sejme in predstavitve onkraj luže. Koncepte severno-ameriških strojev so prenesi na področje Skandinavije in hkrati dodelali nekatere tehnične detajle (razporeditev teže,...). S tega področja in obdobja velja omeniti še Valmet-ov gozdarski traktor - Valmet Terra (1962). Slednji velja za prvi štiri-kolesno gnani gozdarski traktor na svetu in nekoliko kasneje (1965) še prvi 6-kolesno gnani traktor Drivax.

Problematika nenamenskih pnevmatik - V času izgradnje prvih namenskih gozdarskih strojev za spravilo in sečnjo je trg ponujal samo pnevmatike prilagojene za kmetijske

traktorje. Le-te so bile ozke, zato je bilo, še posebej na mehkih podlagah, veliko ugrezanja. Profil ni bil prilagojen za delo v gozdu, poleg tega pa se je rad trgal. Tudi bočnice – karkase so bile pretanke, zato so pnevmatike pogosto predirale ostre veje in skale. Oblika pnevmatike ob platišču je omogočala zatikanje sečnih ostankov in ostalih nečistoč, kar je privedlo do izpraznjenih pnevmatik.

Bob LeTourneau je bil prvi, ki je naročil namenske pnevmatike za lastne gozdarske stroje. Le te so bile zelo drage in jih ni bilo mogoče kupiti na tržišču. Na podlagi že izdelanih namenskih pnevmatik za gradbene stroje in vojsko so tudi proizvajalci gozdarske mehanizacije postopoma pritiskali na gumarje, da bi izdelali namenske pnevmatike za delo v gozdu. Zaradi majhnih produkcijskih količin, potrebnih raziskav in zahtevne izdelave je bilo zanimanje proizvajalcev majhno. Prvi gumar, ki je prepoznal potencial izdelave pnevmatik za gozdarske stroje, je bil ameriški Goodyear v sodelovanju z Timberjack-om. Nekoliko kasneje sta se omenjenemu proizvajalcu na trgu pridružila še Firestone in United. Eden prvih tako opremljenih strojev je bil t. i. Swamp Buggy (Franklin equipment), za katerega je Goodyear izdelal 86 centimetrov široke pnevmatike za delo na razmočenih terenih.

V Kanadi (Quebec, 1968) je podjetje Logging Research Associates (LRA) načrtovalo izdelati celovito gozdarsko postrojenje. Doug Hamilton je tako razvil gosenični stroj za podiranje in spravilo (feller-skider) opremljen s hidravlično upogljivo roko, katera je drevo ob podiranju namestila na zbiralno-prijemalne klešče (clam-bunk). Naprava je dobila ime LogAll. Hkrati je bil izdelan tudi namenski procesor za nadaljnjo obdelavo (kleščenje, krojenje) debel na kamionski cesti – Arbomatik. Tovrsten sistem je prvi na svetu omogočal celovito strojno podiranje, spravilo ter krojenje in prežagovanje, brez dodatnih delavcev na tleh.



Slika 6: Stroj za podiranje in spravilo (feller skidder) iz leta 1968 imenovan Log All, Quebec, Kanada (Drushka in/ Kontinen, 1997)

V 60-ih letih (Skandinavija) so se namenskim traktorjem (drevesna metoda) na kamionskih cestah pridružili številni procesorji za kleščenje in krojenje. Lokacije so pogosto centralizirali, zato so delovišča dajala videz »tovarne sredi gozda«.

Na podlagi zgledov iz Severne Amerike in pa ob dejstvu, da so takratni pripomočki (motorne žage) za podiranje in kleščenje dreves, povzročale številne zdravstvene težave (bolezen belih prstov, trajne poškodbe sluha zaradi obremenitve s hrupom, ...), so leta 1962 v sklopu Grapenberg Forestry University pričeli z izdelavo prve harvesterske glave na evropskih tleh.

1966 - Prvi švedski procesor je izdelalo podjetje VSA pod vodstvom inženirja Larsa Bruuna. Stroj je imel dolgo roko, nakladalne klešče, rezila za kleščenje in krožno žago. Vse to je omogočalo obdelavo lesa na panju. Leta 1967 je sledil Kockums-ov procesor Logma. Stroj so opremili z dvema kabinama, od katerih je prva služila kontroli vožnje, druga pa je bila namenjena delu s procesorskim agregatom. Ōsa je razvoj nadaljevala z napravo Grap Grapple. Šlo je za traktorsko nadgradnjo s teleskopsko ročico, kateri so namesto škarij namestili hidravlično motorno žago.



Slika 7: Prvi švedski procesor VSA za kleščenje in krojenje iz leta 1966 (Drushka in Kontinen, 1997)

Prodajna uspešnica tistega časa (1800 prodanih strojev) je predstavljal BM Volvo 868 (nameskih stroj za spravilo lesa), katerega so kasneje modificirali tudi v stroj za podiranje (feller-buncher). Na teleskopsko roko so namestili glavo za podiranje, ki je podrta drevesa nalagala nase (hidravlično prijemalo).



Slika 8: Prodajni uspešnici svojega časa, zgibni polprikoličar Volvo 868 z nameščenim procesorjem Ösa 710 (Drushka in Kontinen, 1997)

Z vidika nadaljnjega razvoja velja omeniti, da se je s koncem 60-ih let na skandinavskih tleh razvilo še nekaj velikih podjetij: Valmet, Volvo, Lokomo, Pika (Sakari Pinomäki – npr. Pino-Teho stroj za lupljenje, Pika 50 traktorska nadgradnja Valmet Terra 865BK, ki je

bil spodoben opraviti podiranje, kleščenje, krojenje in zbiranje). V tistem času se je postopek lupljenja iz kamionskih skladišč preselil na žage.

Konec 60-ih let se je tehnika tehnološkega razvoja gozdarske mehanizacije pričela prevažati na stran Evrope. Za ta čas je značilna tudi močna izvozna usmerjenost skandinavskih proizvajalcev strojev. Potrebe trga onkraj luže so bile relativno velike, zato so se skandinavski stroji dobro prodajali. Zaradi nerazvite distribucijske, vzdrževalske mreže in podpore uporabnikom pa je bil uspeh kratkotrajen. Številni skandinavski stroji so zaradi okvar kmalu obstali nedelujoči na tamkajšnjih deloviščih.

Na Švedskem je leta 1970 podjetje Kockum predstavilo lasten stroje za kleščenje. Izdelanih je bilo 125 kosov.

1972 – Finska, Sakari Pinomäki je nadgradil obstoječo verzijo procesorja Pika 50, z modelom Pika 75. Omenjeni stroj ima možnost kontroliranega-usmerjenega podiranja z 5,7 metrsko nakladalno roko s hidravlično verižno žago za podiranje in krojenje. Enota za kleščenje je bila, tako kot večina ostalih tistega časa, nameščena na samem ohišju stroja. Gre za enega prvih finskih harvesterjev.



Slika 9: Pika 75 iz leta 1972, kot eden prvih finskih harvesterjev (Drushka in Kontinen, 1997)

Za obdobje začetka 70-ih let se je na območju Skandinavije število kmetijskih traktorjev (za delo v gozdu) prepolovilo. Število strojev za podiranje in spravilo (feller-skider) je iz 4 naraslo na več kot 60, močno pa je naraslo tudi število namenskih gozdarskih strojev.

Švedski gozdarskih inštitut (Forest Operations Institute of Sweden, ustanovljen 1964) navaja, da je v desetletju delež strojne sečnje iz 5-ih odstotkov narasel na 75 odstotkov, hkrati pa je postala prevladujoča metoda mnogokratnikov. Na drugi strani pa se je drevesna metoda uporabljala zgolj izjemoma.

Med vodilnim tehnologom Larsom Bruunom in podjetjem Kockums je prišlo do različnih interesov in razhoda. Bruun se je kmalu povezal z Volvom in nadaljeval uspešno zgodbo izgradnje procesorjev. Najuspešnejši modeli tistega časa so bili: Volvo BM 980 kateremu je sledil BM 995 (1975). Oba stroja sta bila opremljena z glavo za podiranje (en. felling-head), ki je drevo podrlo in prestavilo na procesor. Na procesorju je bilo opravljeno kleščenje in krojenje ter zbiranje v začasni zalogovnik. Ko se je le-ta napolnil, so debla »stresli« na tla, kjer jih je prevzel namenski stroj za spravilo – forwarder.

Kot pomembnega proizvajalca hidravličnih rok tistega časa velja omeniti podjetje Jonsered. Razvili so 10 in 15 metrsko hidravlični roki, ki sta omogočali namestitvev glave za podiranje. Oprema je bila pretežno namenjena manjšim strojem za sečnjo.

1971 - Ösa je na trgu predstavila nov procesor z dvema kabinama. Le-ta je hkrati opremljen z merilnim sistemom, ki je plod njihovega lastnega razvoja. Gre za prvi tovrstni sistem razvit v Evropi (Stina Mickelson). Merilni sistem so se optimizirali v smer izračunavanja optimalnih dimenzij za vsako drevo posebej. Švedi so sistem takrat razglasili za »the world's first processor«. V istem obdobju švedsko podjetja Ösa kot prvo ustanovi izobraževalni center namenjen šolanju strojnikov upravljalcev strojev za sečnjo.

Za izboljšano udobje je poskrbelo podjetje Domän, ki v strojniško kabino kot prvo vgradilo klimatsko napravo.

1973 - Ösa kot prva namesti kabino s sistemom avtomatskega reguliranja naklonov. Še večjo revolucijo pa je predstavljal stroj za sečnjo Ösa 710, ki je kot prvi opravil samostojno vse operacije na enem mestu (podiranje, kleščenje, krojenje in zbiranje). Omenjeni stroj je imel dve kabini in tehtal preko 20 ton. Ne glede na okornost in visoko težo je bil to

pomemben korak k še danes uveljavljeni delovni skupini: stroj za sečnjo – harvester, stroj za spravilo – forwarder.



Slika 10: Ösa 710 procesor s prikazanimi glavnimi funkcijami (Ösa arhiv, 2016)

1974 – za sečnjo v arktičnih (borealnih) razmerah na trgu praktično ni bilo ustrezno opremljenih strojev. V mestu Rovaniemi je Lauri Marttiini namensko predelal kmetijski traktor in kolesni dvojici opremil s t. i. polgosenicami (half-track). Tako je bil dodelan tudi stroj za podiranje feller-buncher Muisto Laine, sicer zgrajen na Bobcat platformi.



Slika 11: Finski Mäki harvester montiran na Bobcat osnovo (Drushka in Kontinen, 1997)

Usmerjena usposabljanja gozdnih delavcev in vse večja tehnična opremljenost sta postali gonili za nadaljnje raziskave in razvoj tehnologije strojne sečnje. Skupina inženirjev je pod okriljem več papirniških korporacij v ZDA in American Pulpwood Association ter Harvesting research Project, zastavila 5-letni projekt razvoja in implementacije idej vezanih na strojno sečnjo in ostalo gozdno mehanizacijo. Iz tega naslova so razvili stroj za podiranje (feller-buncher) nameščen na Bobcat bagrsko osnovo.

1972 - ZDA, verižni stroj za kleščenje. Pred razvojem motornih žag so klestili s sekirami. Potrebno je vedeti, da so bile prve motorne žage zelo težke in okorne in kot take dokaj neprimerne za kleščenje. Tako je bilo vse dokler se niso uveljavile enoročne motorne žage. V vsakem primeru gre v fazi ročnega kleščenja za zamudno in nevarno delo, ki je predstavljalo zaznaven problem, ki je postal še izrazitejši v kombinaciji z drevesno metodo spravila. Kot eno izmed rešitev so predstavili t. i. verižne stroje za kleščenje (en. chain flail delimber). V osnovi ti stroji izhajajo iz Švedske, kjer so jih uporabljali za lupljenje. Na tej platformi je Gordon Franklin (Manitoba Forestry Resources Ltd. at The Pas) predstavil svojo verzijo stroja za kleščenje. Agregat za kleščenje je bil nameščen na prednji del zgibnega traktorja, ki se je zapeljal preko podrtih dreves. Ob tem je hidravlično gnani agregat poganjal valj z masivnimi verižnimi trakovi. Le ti so z visoko hitrostjo udarjali ob veje ter jih na ta način odstranjevali (delno tudi skorjo). Zaradi ne-temeljito opravljenega kleščenja (vedno je na deblu ostalo nekaj vej) se na tržišču naprava nikoli ni uveljavila.



Slika 12: Hydro-Ax verižni stroj za kleščenje iz leta 1972, Manitoba, Kanada (Drushka in Kontinen, 1997)

1975 - zametki daljinskega upravljanja strojev, ZDA, Forest Ant. Platforma naprave narejena za nadgradnjo v stroj za podiranje, stroj za podiranje in spravilo. Strojnik je stroj upravljal daljinsko s pomočjo komandne plošče, preko kablov povezane s strojem. Ostalo je pri prototipu, a omenjeno izvedbo vseeno štejemo k zametkom daljinskega upravljanja gozdarske mehanizacije.

Kot najpomembnejšo tehnološko izboljšavo tistega časa štejemo prvi skandinavski eno-prijemni stroj za sečnjo. Enega prvih je razvilo švedsko podjetje Rosenberg an Kruuse (v mestu Halmstad). Šlo je za alternativo takratnim dvo-prijemnih harvesterjem.

1978 - na Švedskem RK Skogsjan 450 procesorska glava dobi novo harvestersko glavo. Namestili so jo na hidravlično roko pravega stroja - forwarderja. Hidravlične klešče so prijele deblo, podiranje pa je opravila integrirana verižna žaga. Garnitura kovinskih podajalnih koles je nato podrto drevo potiskala skozi nože za kleščenje, verižna žaga pa je sproti opravljala krojenje. Izdelali so 10 kosov in nato pravice prodali Volvu. Finska izvedenka procesorske glave (izdelal Sakari Mononen) se je imenovala Finko.

Vse večje zahteve po kvalitetnih lesnih sortimentih so narekovale izboljšave tudi na zobatih podajalnih glavah (procesorske, harvesterske), saj so le-te povzročale poškodbe debel in s tem zmanjševale vrednost sortimentov na najvrednejšem delu (zunani obod). Ena izmed rešitev je bila namestitev gumijastih podajalnih koles. K razvoju t. i. eno-prijemnih harvesterjev – strojev za sečnjo (en. single-grip harvester) sta pripomogla še napredek manjših traktorjev za uporabo v redčenjih in uvedba računalniškega upravljanja procesorskih glav. Pred tem so meritveni elementi procesorskih glav bazirali na relejih in občutljivih mikro-vozliščih. Zaradi občutljivosti relejnega sistema na vibracije je zato pogosto prihajalo do okvar. Tako je uvedba mikroprocesorjev omogočala hiter razvoj metode merjenja in krojenja.

1978 - Volvo predstavi nov model stroja za sečnjo z oznako 900. Opremljen z avtomatskim merilnim sistemom in računalniško podporo. Glava za podiranje je omogočala podiranje do 50 cm debelega drevja, v sklopu procesorja pa je bila nameščena podajalna glava s stožčastimi podajalnimi valji. To je bil prvi gozdarski stroj, ki je

učinkovito opravljalo delo v redčenjih in pri tem ni povzročal večjih poškodb okoliških dreves in gozdnih tal.



Slika 14: Stožčasti podajalni valji na procesorju stroja Volvo 900 (Solhem 9, 2016)



Slika 13: Volvo 900 pri delu v gozdu (Solhem 9, 2016)

Leta 1975 je bilo na Švedskem 5 % polno avtomatiziranih strojev za sečnjo v redčenjih, do leta 1992 pa je delež narasel na 68 %.

Pozna sedemdeseta leta dvajsetega stoletja je gospodarstvo zajela recesija. Stanje se je močno odražalo tudi v gozdarski panogi. Prodaja gozdarske mehanizacije je močno upadla, posledično pa se je zmanjšalo število raziskav. Kljub temu pa se je razvoj opreme za strojno sečnjo odvijal naprej (večkrat tudi samo v glavah in na risalnih mizah strokovnjakov).

Kot primer uspešnega stroja za podiranje iz začetka osemdesetih let navajamo Koeheringov gosenični stroj za podiranje – Model 620. Leta 1988 je to podjetje prevzel Timberjack in na podlagi modela 620 predstavil različici 618 in 628. Samo leto kasneje so se ti stroji že prodajali pod blagovno znamko Timberjack.

1976 - ZDA, Len Vizina predstavi kolesni stroj za podiranje imenovan Hydro-Ax. Stroj je veljal za uporabniku prijaznega, saj je bil okreten in enostavno vodljiv. Vse to mu je omogočal hidrostatski pogon z ločenim hidravličnim motorjem (črpalko) za vsako kolo posebej. Tako je bilo mogoče natančno nadzirati hitrost. Omeniti velja, da so prvi stroji na hidrostatski pogon imeli problem s pregrevanjem hidravličnih komponent. Vizinin stroj je prvi odpravil to pomanjkljivost in ko so tudi škarje zamenjali za hitrejšo krožno žago, je

priljubljenost še narasla. Sredi osemdesetih let so hidrostatski pogon na stroje za podiranje uvedli tudi proizvajalci kot so John Deere in Franklin.

Kot zanimivost navajamo še 3-kolesni stroj za podiranje iz Severne Amerike iz konca 70-ih let. Naprava ima korenine v Južni Afriki, njen »oče« Irvin Bell pa je sprva naprave uporabljal za spravilo sladkornega trsa. Za razvojem papirniške industrije v Južni Afriki so stroj predelali v namenski stroj za spravilo celuloznega lesa. S podpisom pogodbe z ameriškim podjetjem Norval Morney pa so ga nadgradili še v stroj za podiranje. Sprva je bilo zanimanje za stroj majhno, z nekaj nadgradnjami pa se je uveljavil kot popularen stroj za delo v ravninskih legah. Prodaja je stekla leta 1983. Potrebno je vedeti, da ne gre za prvi 3-kolesni gozdarski stroj na trgu, a nedvomno je to prvi, ki se je uspel uveljaviti. Na podlagi Bell-ovega stroja so ameriška podjetja: Franklin, Hydro-Ax, Gafner and CTR pričela s proizvodnjo 3-kolesnih strojev (tako za podiranje, kot tudi za spravilo).

1980 - ZDA, Pat Crawford ustanovi podjetje Timbco Hydraulic z lastnim razvojem in proizvodnjo. Tega leta na trgu predstavijo svoj prvi stroj za podiranje. Naprava je bila izpopolnjena z dvema unikatnima konceptoma. Prvič: težišče gibljive hidravlične roke so prestavili tako, da so odpravili potrebo po nasprotni obtežbi. Drugič: kompaktna zasnova iztegljive hidravlične roke je omogočala majhen obračalni krog in s tem delo v strnjenih sestojih ter selektivno podiranje dreves v sestoju.



Slika 15: Inovativno 2-smerno niveliranje strojniške kabine (TimberPro History, 2016)

Kot izum Pata Crawforda predstavljamo inovativno samonivelirno kabino in roko. Sprva je šlo za niveliranje v dve smeri (paralelna os), prenovljeni model pa je leta 1982 imel 4-smerno niveliranje v paralelni in prečni osi. Sistem je omogočal dela v naklonih 50 in več odstotkov, kar je bilo bistveno več od kateregakoli stroja za podiranje na takratnem tržišču. Po uspešni predstavitvi so po celem svetu prodali 300 strojev letno.

Leta 1987 je skupina inženirjev pod vodstvom Johna Kureleka zapustila podjetje Timberjack, kateri je takrat prevzel podjetje Koehring-Waterous. Z jeklarskim podjetjem MacDonald Steel so kmalu ustanovili podjetje Tigercat Industries in pričeli z lastno izdelavo gozdarske mehanizacije. Njihov stroj za podiranje (Tigercat, l.1992) je bil na voljo tako z gosenicami, kot na pnevmatikah in gnan preko hidrostatskega pogona.

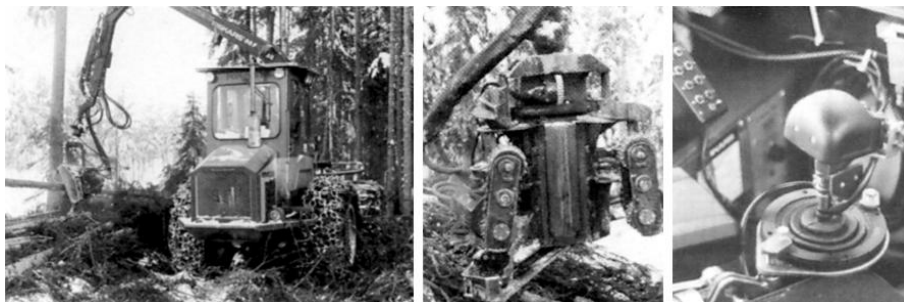
Na severnoameriških tleh je v obdobju osemdesetih let prišlo do razvoja sečne glave na strojih za podiranje. Uveljavil se je princip hidravlično gnanih krožnih žag. Omenjeni princip je delo inženirja Johna Kureleka (Koehring Waterous) ter Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC). Gre za izredno močne in zmogljive sisteme, ki so deblo drevesa prežagali v 1-2 sekundah, pri tem zmrznjen les ni bil nikakršna ovira. Diski krožnih žag so imeli na konicah zobe karbidne trdine. Sistem se je uveljavil po celotni Severni Ameriki. Na ta način so izdelali nekaj, za tisti čas, izredno zmogljivih strojev za podiranje. Omeniti velja model Timbco 75. Gre za gosenični stroj za podiranje z zmogljivostjo podiranja 75 cm premera in 40 m drevesne višine. Na zahodni obali ZDA se je uveljavil podobno zmogljiv Madill.



Slika 16: Timbco stroj za podiranje
(Drushka in Konttinen, 1997)

Zametki izkoriščanja biomase v gozdarstvu - v osemdesetih je zaradi ustvarjene dodane vrednosti močno narasla izkoriščenost sečnih ostankov. Za pridobivanje lesnih sekancev so vse do poznih osemdesetih let dvajsetega stoletja les transportirali do centraliziranih sekalnikov v papirniški industriji. Pridobivanje lesnih sekancev na sečišču je bila takrat redko uporabljena metoda. K temu so pripomogle tudi zahteve papirniške industrije po čistosti sekancev (pred sekanjem je bilo potrebno iz debel odstraniti skorjo) in nezadostna zmogljivost takratnih lupilnih strojev. Podjetji Morbark in Peterson Pacific sta razvili zmogljive premične sekalnike, ki so izpolnjevali zahteve papirniške industrije. Šlo je za izredno drage in potratne stroje, ki so delovali na naslednji način. S kleščami na hidravlični roki so debela naložili na procesor kjer je verižni lupilnik (en. chain-flail) odstranil skorjo z debel ter ga hkrati oklestil. Sledil je izmet skorje, vej, vrhačev, iglic in listja. Te ostanke so uporabili kot kurilno sredstvo, primes k nekaterim drugim produktom, ali pa so jih odložili nazaj v gozd. Na ta način obdelano deblo je šlo nato skozi sekalnik in direktno v kamionsko prikolico. Zmogljivost teh naprav je znašala okoli 500 ton dnevno. Delež v gozdu proizvedenih sekancev je tako narasel na 25 %, k čemur sta pripomogli dve pglavitni prednosti. Prvič: volumenska zapolnitev kamionske prikolice s sekanci je optimalnejša v primerjavi s hlodovino. Drugič: vračanje sečnih ostankov direktno v gozd je papirnicam odpravil problematiko glede ravnanja s sečnimi ostanki (veje, iglice, skorja, vrhači,...). V tistem času namreč te surovine še niso znali ustrezno izkoristiti.

V Evropi, še zlasti pa v Skandinaviji, je na dodatno povečevanje deleža strojne sečnje vplival pojav kislega dežja. Posledica tega so bile številne golosečnje. V tistem času (zgodnja 80. leta 20. stoletja) je finski proizvajalec Ponsse pričel z izdelavo aluminijastih šasij za traktorje (model: S-20) ter na enakih osnovah tudi stroje za podiranje (model: 520). V sodelovanju z Kajaanin Automatiikka so hkrati razvili lasten merilni sistem.



Slika 17: Ponsse 520H harvester (levo), harvesterksa glava (sredina) in komandna ročina (desno) iz leta 1987 (Metstaheo, 2016)

Obdobje konec osemdesetih in začetek devetdesetih let so zaznamovala številna povezovanja in nakupi vodilnih proizvodnih podjetij gozdarske mehanizacije. Ameriški Timberjack se je v tem obdobju združil s finskim Rauma-Repola in francoskim FMG (Forest Machine Group) ter nekoliko kasneje kupil še ameriško podjetje Hudson Sales (proizvajalec strojev za kleščenje) ter finsko raziskovalno-razvojno podjetje Plustech. S tem je nastalo največje podjetje za proizvodnjo gozdarske mehanizacije na svetu. To medcelinsko združevanje je hkrati podpiralo dva prevladujoča načina pridobivanja lesa. Na področju Severne Amerike (90 %) ter ponekod po Evropi (Nemčija, Avstrija) je prevladovala drevesna metoda. Na področju Skandinavije pa je z 80 % prednjačila metoda mnogokratnikov.

Proizvodnja strojev za sečnjo se je globalno gledano pomaknila v smer eno-prijemnih harvesterjev. Glavni poudarki na proizvodnji strojev so bili nagnjeni v smer selektivne in nizko-vplivne sečnje (poškodbe tal, poraba goriva in izpusti). Razvoj elektronske opreme je omogočal vgradnjo avtomatiziranih in računalniško vodenih merilnih sistemov s celovitim beleženjem podatkov. Prvi vgrajeni merilni sistemi so merili zgolj dolžine, v sredini osemdesetih let pa so sisteme izpopolnili in tako zagotovili celovitejše beleženje podatkov (volumen, premer, dolžina, drevesna vrsta,...). Vzpostavitev brezžičnih povezav in omrežij je omogočala popoln nadzor in takojšnje prilagajanje razmeram (na trgu, v sestoji,...).

Kompleksnost in preciznost upravljanja moderniziranih strojev za sečnjo je že v začetku devetdesetih let dvignila potrebno raven usposobljenosti za upravljanje tovrstne mehanizacije. Manj kot dvajset let pred tem je gozdarstvo zaposlovalo pretežno neusposobljeno in nizko plačano delovno silo. Z razvojem tehnologij pa se je močno povečala potreba po visoko usposobljenih strojnikih. Star način dela je deloval po principu kratkih (nekajurnih) usposabljanj delavcev na terenu. Kompleksnost upravljanja več kot pol milijona vrednih strojev pa takšnega načina nikakor ne omogoča. Za potrebe izobraževanj in praktičnih urjenj so pričeli z razvojem t. i. simulatorjev. Finsko podjetje Plustech (član skupine Timberjack) je predelalo simulator za igranje golfa. Namesto travnika so namestili virtualni gozd, v katerem je učeči se strojnik upravljal s procesorsko glavo in tako podiral in krojil les. Sistem je sproti meril učinke, opozarjal na napake in

projeciral zaključke - torej kdaj je strojnik zadosti usposobljen za delo na terenu. Po drugi strani so izdelali tudi prve simulatorje za načrtovanje sečnje v gozdu. S pomočjo digitalnih kart, zračnih posnetkov, topografskih kart in podatkov gozdne inventure so izdelali plan sečnje in simulacijo stanja gozda po sečnji.

V sistem izgradnje mehanizacije za strojno sečnjo (in tudi ostale mehanizacije) so v začetku devetdesetih let 20. stoletja močno vplivali industrijski oblikovalci. Oblika strojev naenkrat ni delovala več zgolj po načelu učinkovitosti, temveč je iz praktičnih in emocionalnih razlogov vplivala na podobo strojev za sečnjo. Podobno kot pri proizvodnji vozil so tudi proizvajalci gozdarske mehanizacije želeli, da njihov stroj že na pogled deluje privlačnejši od konkurence ter tako izraža ravnovesje med močjo in natančnostjo. Praktični vidik industrijskega oblikovanja se je na strojih za sečnjo najbolj odražal v podobi kabine. Strojniška kabina kot delovni prostor je postala prostornejša, ergonomsko zasnovana ter praktično brez izjeme opremljena s klimatskim sistemom. Močno se je znižala tudi obremenitev s hrupom in vibracijami. Za boljši pregled nad terenom pa so kot v helikopterskih kabinah vgradili ukrivljena panoramska stekla.

Sredi devetdesetih let smo bili priča močni globalizaciji in standardizaciji gozdarske mehanizacije, ki je strojno sečnjo razširila na številne konce sveta (npr. Čile, Indonezija, Sibirija, ...). Stroji so od takrat dalje z manjšimi modifikacijami uporabni v večini gozdov po svetu. To pomeni hitrejšo prilagodljivost in zmanjšano vlaganje v razvoj iz razloga adaptacije lokalnim naravnim razmeram in tržiščem. Za zagotavljanje učinkovitega transporta na strmih terenih (60 %) so Japonci leta 1995 – izdelali Tri-Track Mover, Forest Product Research Institute (Ibaraki). Naprava je postavljena na tri pare goseničnih enot, vsaka posebej opremljena z lastnim dizelskim motorjem in hidrostatskim pogonom. Zasnova je omogočala odlično stabilnost na strmih terenih in prehodnost tudi preko 1,3 metra visokih ovir (skale, ležeča drevesa, ...).



Slika 18: Prototipni Tri-Track Mover je omogočal delo na strmih in zaradi odlične prehodnosti tudi skalovitih terenih (Drushka in Konttinen, 1997)

Hodeči stroji za sečnjo - sredi devetdesetih let dvajsetega stoletja je finsko podjetje Plustech (skupina Timberjack) izdelalo prototip hodečega stroja za sečnjo, predstavljenega pod imenom Walking machine. Ideja hodečega stroja sicer ni bila novost. Štiri-nožni hodeči stroj je leta 1968 izumil R. Mosher (mini kamion s hitrostjo do 4 km/h), prvi hodeči stroj za sečnjo pa je konec sedemdesetih let izdelal Menzie Muck (Švica). Njegovo premikanje je bilo krmiljeno s strani strojnika, zato so bili gibi počasni in okorni. Plustechov Walking Machine je bil tehnološko precej naprednejši. Vseh šest nog je bilo računalniško vodenih. Strojnik je stroju zgolj »narekoval« smer gibanja, računalnik pa je nadzoroval gibanje nog in prek senzorjev dobival podatke o pozicijah in stabilnosti postavitve na tleh. Namen naprave je bil omogočiti strojno sečnjo na zelo strmih terenih in na občutljivih tleh. Glede na vrsto podlage in naklon terena so na konce nog nameščali različne plošče (obutev), še vedno pa je bila velika pomanjkljivost nizka hitrost premikanja.



Slika 19: Revolucionarni Plustech Walking machine na demonstraciji leta 1996 (Drushka / Kontinen, 1997)

Vse do leta 2011 je razvoj hodečih naprav na videz zamrl. Britansko podjetje Micromagic Systems je izdelalo hodečo napravo imenovano Mantis. Oče projekta Matt Denton je zasnoval šest nožni koncept. V osnovi je bila naprava izdelana za potrebe rudarske industrije. Naredili so ga za rudarsko podjetje iz Brazilije. Stroj so koristili za izvajanje testnih vrtanj v deževnem gozdu. Zaradi nizke teže in majhnega pritiska posamezne noge na podlago ter splošne okretnosti naprave je omogočala raziskovalno delo z manj ali celo nič predhodnih posegov v okolje. Čeprav je Mantisov koncept z več vidikov gozdarskih problematik deloval obetavno pa dejanska uporaba takšnega stroja v gozdarstvu ni znana. Zadnjikrat smo ga videli na gozdarskem sejmu Elmia (2013), vendar ni bil opremljen za delo v gozdu.

V posebno kategorijo hodečih strojev nekateri uvrščajo tudi stroje za sečnjo v zahtevnih terenskih razmerah oziroma t. i. walking ekskavatorje. Dejansko ti stroji za premikanje ne uporabljajo nog, torej ne hodijo. Njihove iztegljive noge služijo stabilizaciji na zahtevnih terenih in ne premikanju. S tem razlogom smo jih opisali v posebnem poglavju kategorizacije strojev za strojno sečnjo.

Tehnologija avtonomnih in robotiziranih strojev se danes uporablja v številnih proizvodnjah, na terenu pa predvsem za potrebe vojske (brezpilotna letala, stroji za

razminiranje,...), podvodne aktivnosti, raziskovanje vesolja in vse pogostejše tudi pri uporabi civilnih potniških vozil. Ne glede na namembnost pa lahko trdimo, da se roboti uporabljajo predvsem za kontrolirane naloge z velikim številom ponovitev. Za uporabo v manj kontroliranih pogojih kot je npr. področje gozdarstva, miniranja in vojnih bojišč, pa stroji vsaj deloma potrebujejo človeško kontrolo in upravljanje (Parker, 2009). Gre za t. i. daljinsko upravljanje naprav, ki so ga v začetku osemdesetih let 20. stoletja uporabljali za transport radioaktivnih odpadkov.

Postopek daljinskega vodenja (en. teleoperation ali telerobotics) je sistem upravljanja naprav pod človeško kontrolo. Človek - operater nadzoruje gibanje robota iz razdalje. Pri tem signali potujejo do robota, ki s tem izvaja gibanje (oz. delovne operacije), s strani robota pa povratni signali potujejo do operaterja, kar mu daje povratne informacije o tem, da robot sledi "navodilom". Opisani koncept imenujemo bilateralno daljinsko upravljanje. Kadar pa naprava, s pomočjo senzorjev, sama zaznava informacije iz okolja (slika, zvok, pritisk, tekstura,...) in jih posreduje operaterju, to tehnologijo imenujemo tele-prezenca (en. telepresence). Gre za nenehno posredovanje povratnih informacij do operaterja (slika, zvok, vibracije, pospeški-pojemki,...), na podlagi katerih operater napravo krmili.

Začetki avtomatizacije gozdarskih del segajo približno 25 let v zgodovino. Glavni cilji avtomatizacije strojev v gozdarstvu so: znižanje stroškov in povečevanje produktivnosti, zmanjševanje časa za izobraževanje operaterjev in človeškega vpliva na produktivnost (utrujenost, stres,...), manjši vplivi na okolje (nižja teža strojev,...).

Kot primer daljinsko vodenega gozdarskega stroja navajamo: Fiberpac AB "Besten" (en. Beast), ki so ga razvili na švedskem. Imenuje se "Besten & Kuriren", kar po slovensko pomeni "Zver in njene pismonoše" (en. the Beast and her Messengers). Sistem sestavljata dva pravilna stroja - forwarderja in stroj za sečnjo - harvester brez človeške posadke.



Slika 20: The Beast daljinsko vodeni harvester v delovni skupini z dvema forwarderjema (Skogforsk, 2006)

Harvesterski agregat je na 6-kolesni osnovi, iztegljiva hidravlična roka pa ima nameščeno Voltec 850 harvestersko glavo. Posamezen operater je na forwarderju in hkrati upravlja tudi harvester. To pomeni, da so merilni sistem, računalnik, ekran in kontrolni elementi nameščeni v forwarderju. Medtem ko prvi forwarder opravlja premik tovora do kamionske ceste, drugi operater s harvesterjem podira, klesti in kroji les ter ga istočasno nalaga na forwarder. Nato se stroja v vlogah zamenjata. Omenjena metoda dela zahteva specifične sestojne razmere in primerne pravilne razdalje. Zgolj v takšnih razmerah so lahko stroški sečnje (€/m³) nižji v primerjavi s klasično delovno skupino: harvester + forwarder.

Švedska gozdarska industrija je v sodelovanju z znanstveno - raziskovalnimi inštitucijami razvila t. i. Wood Shuttle v sklopu projekta "Intelligent Off-Road Vehicle". Stroj je namenjen za transport lesa in deluje v delovni skupini s klasičnim strojem za sečnjo-harvesterjem. Za učinkovito in pravilno usmerjeno premikanje po terenu skrbi dvofazni sistem beleženja smeri. Prva faza predstavlja snemanje smeri (en. path recording), ko s pomočjo daljinskega upravljanja operater vodi napravo po načrtovani smeri (v tem primeru od podrtega drevja do kamionske ceste). Položaji in hitrost gibanja se sproti zapisujejo v spomin stroja-robotu. V drugi fazi se podatki naložijo in obdelajo v procesorju, na podlagi česar stroj avtomatsko sledi pred-nastavljenim smerem gibanja (en. path tracking). Opisani koncept ima v primerjavi s konvencionalnimi tehnologijami sledeče prednosti: nižji stroški

dela (manjše število delavcev), nižja masa strojev (prihranek do nekaj ton) in s tem povezana poraba goriva, nižje težišče naprav (brez kabine) pa hkrati omogoča boljšo terensko stabilnost.

Raziskave so pokazale, da je stroje možno "naučiti" sledenja predhodno posneti smeri gibanja. Za varno in učinkovito vožnjo po terenu -gozdu, je odločilnega pomena zaznavanje terenski ovir. S tem namenom so bili razviti, vgrajeni in uspešno preizkušeni številni namenski sistemi (Hellström, T., 2009).

Strokovnjaki te nišne gozdarske panoge, predvidevajo uvajalno obdobje avtonomnih gozdarskih strojev še nadaljnjih 10-20 let. Kdaj, v kakšni obliki in obsegu bomo v prihodnosti uporabljali avtonomne gozdarske stroje, bo odločila zainteresiranost proizvajalcev, število opravljenih raziskav ter kvaliteta sodelovanja raziskovalnih institucij ter operative v gozdni proizvodnji.

5.1.3 Morfološke značilnosti sodobnih naprav za strojno sečnjo

Zgradba sodobnih naprav za strojno sečnjo je kompleksna in združuje številne konstrukcijske, motorne, hidravlične, transmisijske, merilne, komunikacijske ter ostale elektronske komponente.

Glede na način konstruiranja sodobne stroje za sečnjo delimo na dve kategoriji:

- stroji na podvozjih delovnih strojev (univerzalni stroji),
- stroji, ki so grajeni za delo v gozdu (specialni stroji).

V kategoriji univerzalnih strojev za sečnjo proizvajalci za osnovo pogosto uporabljajo gosenično, deloma pa tudi kolesno osnovo gradbenega stroja - bagra. Na hidravlično roko je namesto žlice ali kladiva nameščena harvesterska glava podprta z računalniškim sistemom za beleženje podatkov in večpodročno komunikacijo. Poznamo tudi nadgradnje z glavami za podiranje (feller-buncher), ščipalnimi glavami (področje pridobivanja biomase), namenski čeljustmi za izruvanje panjev (stump harvester) in možnosti

direktne montaže krajše pomožne roke s harvesterko glavo na glavno hidravlično roko z nameščeno bagrsko žlico (primer: THXtender preparation kit, LOGSET, Finska).



Slika 21: Primer univerzalnega stroja za sečnjo - CAT 501HD (Cat, 2016)

Prednost univerzalnih strojev vidimo predvsem v: možnostih večnamenske uporabe, zmanjšanih potrebah po vlaganju v razvoj, manjši obseg in povezani riziko lastne proizvodnje, večja zanesljivost in vzdržljivost komponent, hitrejša dobava in manjša količina specifičnih nadomestnih delov in nižjih prodajnih cenah. Pomanjkljivosti univerzalnih naprav pa se kažejo v: okornosti in praviloma nižjih potovalnih hitrostih, njihova masa je višja, vendar s tem ni nujno povezan tudi negativni vpliv na gozdna tla. Manj primerni so za delo na ekstremnih naklonih in v povprečju je raven udobja in vgrajenih ergonomskih izboljšav nižja kot pri specialnih strojih za delo v gozdu.

Specialne stroje za sečnjo proizvajajo specializirani proizvajalci. Osnovne komponente in gradniki kot npr. motor, hidravlične črpalke, pogonski elementi, so tudi v tej kategoriji strojev uporabljeni od konvencionalnih ponudnikov. Ostale komponente pa so večinoma prilagojene s cilji za doseganje optimalne razporeditve teže, maksimiranju sile vleka (en. tractive force), dodatnimi možnostmi stabilizacije in ostalih terenskih prilagoditev, izboljšanimi vzdržljivostmi najbolj obremenjenih sestavnih delov in v veliki meri tudi z ergonomijo strojniške kabine in vzdrževalnih mest. Izgradnja namenskih strojev za sečnjo

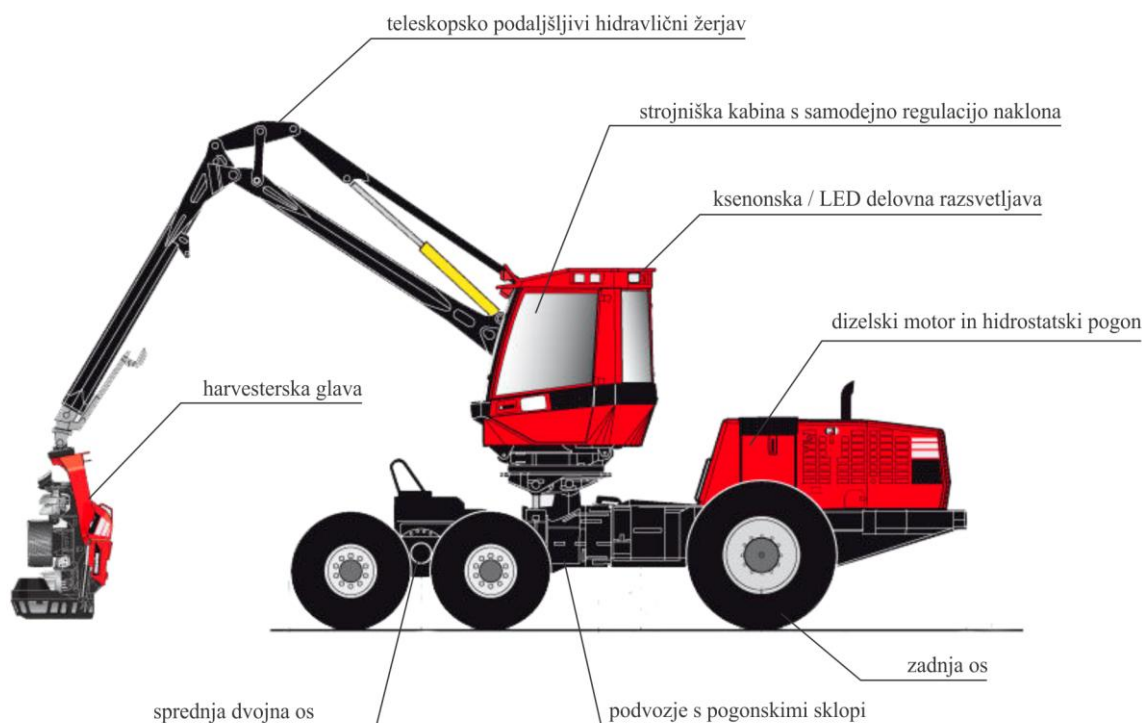
omogoča specializacijo in oblikovanje številnih različic (npr. namenski stroji za prva redčenja, prilagojeni stroji za delo na zahtevnih terenih). Na podlagi tega je bil razvit tudi sodobni koncept združevanja funkcij stroja za sečnjo in spravilo v t. i. integrirane sisteme. Združevanje funkcij harvesterja in forvarderja omogoča znižanje transportnih stroškov v primerjavi s konvencionalnim sistemom dveh strojev (Affenzeller in Stampfer, 2007).



Slika 22: Specialni harvester Ponsse Scorpion (Ponsse, 2016)

Trend razvoja strojne sečnje je v svojih začetkih baziral na univerzalnih strojih za sečnjo in nato sčasoma prešel v specialne stroje za sečnjo. Ob tehnološkem napredku gradbenih strojev so le-ti kot uporabljena več-funkcionalna osnova ponovno pridobili na veljavi. Nedvomno pa se je bistvo strojne sečnje v večji meri preusmerilo na področje harvesterjskih glav in s tem vprašanje glede osnove za namestitve le-te ni ključnega pomena (Košir, 2016a).

5.1.3.1 Glavni sestavni deli - harvester



Slika 23: Shematski prikaz glavnih sestavnih delov sodobnega harvesterja (Komatsu Forest, 2016)

5.1.3.2 Kolesni stroji

Na rastiščih z naklonom do 30 % (zapis velja za slovenske razmere) v mladih in srednjedobnih sestojih priporočajo uporabo kolesnikov. Avtorji to utemeljujejo s prevladujočimi dimenzijami dreves, ki omogočajo uporabo lažjih in srednje težkih strojev. Pri naklonih terena večjih od 30 % imajo gosenični stroji prednost pred kolesnimi. Po drugi strani pa so za delo v velikih nagibih izdelali določene specialne stroje za sečnjo, ki so povečini kolesniki (npr. Menzi Muck, Highlander, Valmet Snake).

5.1.3.3 Gosenični stroji

Gosenični stroji se uporabljajo pretežno v srednjedobnih in starejših sestojih. Praviloma so ti strojih težji od kolesnih in imajo hkrati nameščene žerjave z večjim dosegom ter zmogljivejše sečne glave za obdelavo debelega drevja. Gosenice imajo v primeru s kolesi večjo dotikalno površino s tlemi, zato se teža stroja razporedi na večji površini tal.

Posledično lahko relativno težke gosenične stroje uporabljamo tudi na tleh, kjer bi sicer lahko uporabljali le stroje z manjšo težo. Poleg velikosti stroja je pomembna tudi velikost in vrsta sečne glave (podrobnejši opis in morfološko členitev je v prilogi 1), ki jo lahko prilagodimo razvojni fazi gozda.

5.1.3.4 Pnevmatike

Pri strojni sečnji je pogosto prisotno tveganje povzročitve trajnejših poškodb strukture tal. Za zmanjševanje poškodb tal lahko ukrepamo z vidika tal ali z vidika stroja. V našem primeru bomo obravnavali in opisali t. i. strojni vidik in pri tem obravnavali različne tipe števila in razporeditve koles, pomen pritiska v pnevmatikah in širina koles. Kremer (Kremer in sod., 2007) poroča, da k manjšemu tlaku na tla največ pripomore večje število koles, sledita pa zmanjšani pritisk v pnevmatikah in večja širina koles. Že pred 30 in več leti so ugotovili, da so nizkotlačne pnevmatike bistveno zmanjšujejo poškodbe tal v primerjavi z navadnimi pnevmatikami (Ryans, 1986).

Namenske pnevmatike s katerimi so opremljeni sodobni stroji za sečnjo morajo združevati naslednje lastnosti: visoka nosilnost, primerna širina pnevmatike, ki ustvarja možnost polnjenja z nizkim tlakom, zgradba profila, ki omogoča samoočiščenje, odpornost proti poškodbam tekalne plasti in bočnega dela. Praviloma gre za pnevmatike brez vgrajene zračnice (en. tubeless), ki so bistveno širše pnevmatike kot se uporabljajo npr. pri prilagojenih kmetijskih traktorjih (Intihar, 2010).

5.1.3.5 Verige in gosenične verige

Predvsem na dvojnih oseh je praktično povsod pogosta uporaba goseničnih verig. Učinki teh ukrepov so za tla ugodni, saj je dokazano, da so globine kolesnic pri uporabi goseničnih verig manjše, čeprav namestitev goseničnih verig poveča težo stroja. Še posebej na težavnih terenih jih lahko namestimo na npr. sprednjo dvojno os. Seveda pa so na tem področju mogoče številne kombinacije in različice. Možna je tudi uporaba posebnih goseničnih verig s širšimi členi, ki še dodatno zmanjšujejo poškodbe tal, a se zaradi drugih negativnih vplivov na učinke stroja uporabljajo le na problematičnih tleh (Byden G. in sod., 2004; Murgatroyd I. in Saunders C., 2005).

Za področje kolesnih, goseničnih in pol-goseničnih verig je značilno, da jih proizvajalci strojev za strojno sečnjo ne izdelujejo sami, temveč jih dobavljajo iz strani specializiranih proizvajalcev. Med najbolj znanimi so Olofsfors (Eco-Tracks), Clack Tracks, Babac - Traction Products itd..



Slika 24: Različni tipi kolesnih pol-gosenic za uporabo na dvojnih oseh (Eco-Tracks, 2016)

Polgosenice oz. gosenične verige navadno povezujejo dva kolesna para. Za boljše prilagajanje terenskim razmeram ter zmanjševanje poškodb tal jih nameščamo tako, da povezujejo dve osi ali pa so nameščene na posamezno kolo (npr. zadnja enojna os).

Ločujemo tri tipe pol-gosenic (slovenski izrazi za njih še niso določeni):

- forward tracks (univerzalno uporaben tip gosenic z ugodnimi vplivi na pnevmatike in okolje),
- upward tracks (uporabljamo kadar je cilj zagotoviti maksimalno možno trakcijo - delo na skalovitem, strmem ali zasneženem terenu),
- over tracks (primerna izbira za uporabo v nestabilnih razmerah oz. na mehkih terenih).

Dimenzijsko so verige prilagojene pnevmatikam na posameznem stroju, njihova geometrija pa je skonstruirana glede na velikost (težo) stroja in vrsto podlage (tal) na katerih bomo opravljali sečnjo.

5.1.3.6 Osi in podvozja

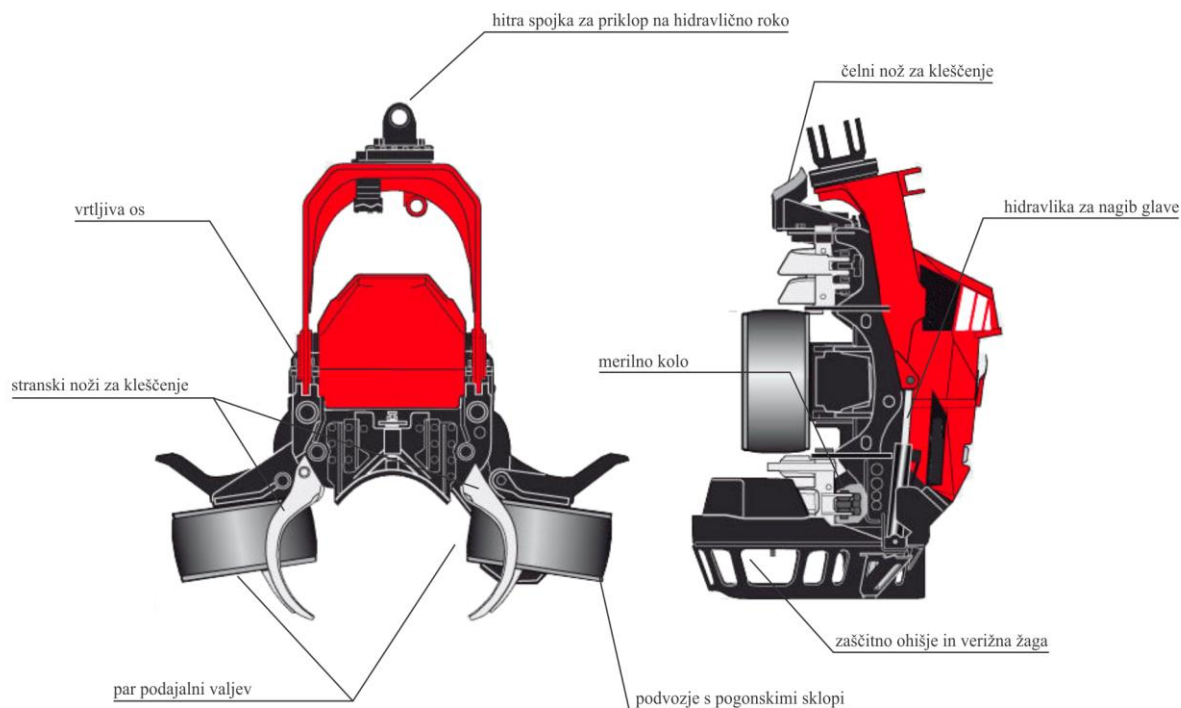
Današnji harvesterji imajo dvoosno zasnovo podvozja. Razlike so predvsem v številu koles oz. kolesnih parov, ki jih proizvajalci namestijo na posamezno os. V grobem lahko zapišemo, da število koles varira od štiri do deset, prevladujejo pa stroji s po šest ali več kolesi. Značilno je, da imajo v kategoriji manjših strojev le-ti manjše število koles. Spretni kolesni par pri šest-kolesni izvedbi je največkrat združen v t. i. dvojno os (en. boogie os). Omenjene osi so pomembne za povečanje dotikalne površine koles in tal. Na ta način zmanjšamo tlak na tla (Pandur in sod. 2010). Poleg tega imajo ugoden učinek za povečevanje trakcije in stabilnosti stroja, izboljšujejo pa tudi udobje vožnje.

V Sloveniji po naših podatkih prevladujejo 6-kolesni harvesterji. Finski proizvajalec Rottne pa navaja, da prodaja 8 kolesnih strojev v njihovem primeru dosega 50 % delež.

Podvozja strojev imajo poleg koles, njihovih vpetij in zavor, vgrajene tudi kardanske prenose, ki pogonsko silo na kolesa prenašajo prek diferencialov z (elektronskimi) zaporami. Na podvozja je pritrjena tudi konzola za strojniško kabino, s strani nameščeno hidravlično roko (takšna zasnova omogoča istočasno in kotno neomejeno vrtenje strojniške kabine in dvigala). Nekatere različice imajo hidravlično roko nameščeno na prednjem delu podvozja, zadaj pa je prostor za motor in agregat hidrostatskega pogona. Omenjeni princip gradnje omogoča ugodno razporeditev teže za doseganje dobre stabilnosti.

5.1.3.7 Harvesterska glava

Harvesterska glava je eden najpomembnejših elementov sodobnega stroja za sečnjo. Skozi čas so bile izdelane številne različice, od katerih se je najboljše uveljavila verzija s hidravlično gnano verižno žago. Razvoj harvesterskih glav gre v smer dodajanja različnih funkcij. Posebni tipi glav so proizvedeni za podiranje okroglega lesa večjih dimenzij. Za potrebe pridobivanja biomase in redčenja v sestojih s prevladujočimi drevesi nižjih debelinskih stopenj pa so izdelali glave z možnostjo zbiranja (akumulacije) več debel hkrati. Nekatere različice glav so prirejene za prekladanje in nakladanje lesa (tip stroja: harwarder, forwester) ter tudi za lupljenje (PONSSE H7EUCA).



Slika 25: Shematska prikaz harvesterske glave (Komatsu Forest, 2016)

Opisujemo glavne sestavne dele za lažjo predstavo in razumevanje delovanja:

- Verižna žaga: opravlja prežagovanje na panju in vse prereze v fazi krojenja. V večini primerov jo poganja hidravlika, pri čemur se bistveno razlikuje od klasične ročne motorne žage z dvo-taktnimi motorji. Veriga je dodatno ojačana in dosega bistveno večje učinke prežagovanja.
- Noži za kleščanje: število nožev, njihove funkcije in postavitve se razlikujejo v odvisnosti od proizvajalca in namembnosti (npr. dodatna funkcija za lupljenje, zbiranje več debel,...). Tipičen primer harvesterske glave ima štiri gibljive in en fiksni nož za kleščanje. Velja poudariti, da so še posebej pri kleščanju trdih listavcev klesilni noži izredno obremenjeni in pogosto poškodovani / polomljeni (Kastelic, 2016b).
- Valji za pomik lesa (en. feed rollers): par valjev ali goseničnih trakov (soosna postavitve) skupaj z noži za kleščanje skrbi za trden oprijem drevesa pri podiranju ter v nadaljnji fazi pomik podrtga debla skozi harvestersko glavo. Podajalna hitrost (m/s) in sila s pomočjo valjev (ali gosenic) ustvarjenega potiska sta pomembna faktorja za učinkovito kleščanje. Obodna površina valjev mora biti

oblikovana tako, da omogoča dober oprijem in hkrati ne poškoduje zunanjega-najvrednejšega dela debla.

- Merilno kolo: meri dolžino debla, ki potuje skozi glavo in informacije "posreduje" v računalnik.
- Senzorji premera: na podlagi senzorsko izmerjenega premera in dolžin (merilno kolo) se avtomatizirano izračuna in v elektronsko bazo zabeleži volumen sortimenta.

Opisani elementi so pod kontrolo strojnika, ki sedi v strojniški kabini. Nadzorni računalniški sistem sproti beleži premike ter pobira podatke o dolžinah in premerih sortimentov. Podatek o dolžini je pridobljen na podlagi štetja obratov merilnega kolesa s kalibriranim premerom. Merjenje premera je zabeleženo na osnovi kota valjev ali nožev za kleščenje v položaju prileganja oboda drevesa. Programska oprema na podlagi prejetih podatkov vnaprej predvidi volumen vsakega nadaljnjega sortimenta iz posameznega drevesa. Podatek o volumnu sortimenta v povezavi s tarifami za posamezno debelinsko stopnjo omogoča optimizirano krojenje lesa.

Harvesterske glave delimo na tri različne kategorije z ozirom na težo in maksimalni premer podiranja (Uusitalo, 2010):

- lahke (300-600 kg), harvesterske glave za manjše premere (5-40 cm),
- srednje (700-1000 kg), večnamenske harvesterske glave (5-50 cm),
- težke (1000-1200 kg), harvesterske glave za končne sečnje (10-60 cm).

Standardne harvesterske glave omogočajo podiranje dreves do premera 90 cm. Mogoče jih je namestiti na številne namenske in nenamenske stroje za sečnjo vključno s traktorskimi nadgradnjami in žičniškimi sistemi. Predvsem njihova teža je pomemben dejavnik pri izbiri ustreznega stroja in zelenega dosega hidravlične roke.

5.1.3.8 Sistemi za prežagovanja lesa

Hidravlično gnana verižna žaga - omenjeni sistem prežagovanja je danes močno razširjen in uveljavljen. V primerjavi s klasično motorno žago sta meč in veriga izdelana iz posebej odpornih materialov, saj so obremenitve tega segmenta bistveno večje kot pri enoročni

motorni žagi. Nekatere izvedbe harvesterških glav imajo nameščeni dve verižni žagi. Pri tem večja verižna žaga opravlja prežagovanje in podiranje, manjša pa precizno krojenje in prežagovanje sortimentov. Generalno gledano proizvajalci še vedno nimajo rešitve za kleščanje lesa trdih listavcev.



Slika 26: Harvesterska glava z verižno žago na hidro-pogon (Waratah, 2016)

Krožna žaga (en. disc saw) - princip se je uveljavil predvsem v kombinaciji s sodobnimi goseničnimi stroji za podiranje in zbiranje lesa (en. feller bucher), ki delajo v tehnologijah dolgega lesa. Zasnova sega v čas pred pojavom verižnih žag za harvesterške glave in se je pogosto uporabljala za krojenje lesa na procesorjih. Pri pregledu aktualnih modelov velikih goseničnih strojev za podiranje in zbiranje lesa smo opazili, da je krožna žaga z zobmi karbidne trdine pogosto vgrajena v sečne glave. Z njimi je mogoče opraviti podiranje dreves velikih premerov (60+ cm). Zaradi višje teže in direktnih pogonov je vrtilna hitrost diskov (cca. 1200 obr./minuto) bistveno manjša od tistih pri verižnih žagah.



Slika 27: Krožna žaga na glavi za podiranje in zbiranje lesa (John Deere, 2016)

Ščipalne klešče (škarje, en. shears) - v današnjih razmerah tovrstne glave uporabljamo v kombinaciji z glavami, ki imajo možnost akumuliranja več drevesnih debel hkrati. Tovrstni sistemi so pogosto v uporabi pri delu na plantažah (kratke obhodnje, drevesa majhnih premerov), pridobivanju biomase ter deloma tudi pri prvih redčenjih. Zaradi fizikalnih omejitev ščipalne klešče uporabljamo pri podiranju dreves nižjih debelinskih stopenj in drevesno metodo spravila. Glavna pomanjkljivost tega sistema so stisnjena lesna vlakna kot fizikalna posledica prereza debla s škarjami. Efekt je še posebej očiten pri prerezovanju zmrznjenih lesnih vlaken. S tem prihaja do razvrednotenja sortimentov, zato je uporaba omejena na pridobivanje lesa nižje kakovosti.



Slika 28: Ščipalna glava z možnostjo akumuliranja debel (CAT, 2016)

5.1.3.9 Tipi podajalnih koles v glavi

Tekom razvoja so se v harvesterskih in procesorskih glavah zamenjale številne različice podajalnih koles oz. valjev. Vsem je skupno, da morajo zagotavljati dober oprijem z deblom. Praviloma so valji (največkrat dva kosa) paroma in vzporedno postavljeni. Na ta način je zagotovljena zadostna hitrost in sila pomika, da kleščenje poteka tekoče, brez večkratnih ponovitev. V začetni fazi razvoja strojne sečnje so prevladovali kovinski valji z bodicami. Pri tem so se bodice velikokrat zarile skozi skorjo in tako poškodovale najvrednejši zunanji del sortimenta. Nadomestili so jih valji z verigami, poizkušali so z nekakšnimi gosenicami ter tudi povsem gumijastimi različicami.

Sodobne različice podajalnih koles se med seboj precej razlikujejo. Dovršeni materiali in tehnologija mehanske, toplotne in kemične obdelave kovin danes omogočajo izdelavo na način, da ob nizki teži (npr. peresasta odprta oblika, diskasta oblika), vzdržljivost ostaja na visoki ravni. Posebne oblike zob na obodu podajalnih koles so zasnovane tako, da omogočajo učinkovito samoočiščenje (odpadajoča skorja), visoke vlečne sile in hitrosti ter nizko stopnjo penetracije. Specialni modeli valjev imajo poleg podajalne funkcije še funkcijo lupljenja (za npr. evkaliptus).



Slika 29: Različni tipi podajalnih valjev harvesterskih glav (Moisioforest, Log Max, 2016)

5.2. KLASIFIKACIJA STROJEV ZA STROJNO SEČNJO

5.2.1 Procesorji z vgrajenim vitlom

Ti stroji so namenjeni za dodelavo lesa oz. izdelavo sortimentov. Najpogosteje jih uporabljamo pri drevesni metodi in obdelavi drobnega lesa. Procesorji so večinoma grajeni za traktorske priključke in so primeri za delo na lažji traktorskih terenih. Običajno delajo na vlaki, tako da privlačujejo les od panja ali pa je les vnaprej pripravljen (predspravilo) in ga z vitlom ali s hidravlično roko le približujejo iz kupa. Prečni naklon terena, ki določa lego lesa glede na procesorsko glavo, ne sme biti večji od vertikalnega kota premikanja procesorske glave. V praksi to pomeni, da ti ne morejo delati na večjih strminah, tudi če je les pripravljen vnaprej. Ti stroji so grajeni za obdelavo drobnega lesa premerov (12- 18 cm), torej so primerni le v redčenjih. Delo z njimi je gospodarno, če so izkoriščeni več kot 600 obr. ur. / leto in če je povprečni premer okrog 14 cm (Košir, 1997).

Procesorji opravljajo naslednje postopke: privlačevanje lesa, kleščenje, merjenje dolžin, krojenje in prežagovanje, odlaganje sortimentov. Uporabni so v različnih tehnologijah, saj lahko delamo z njimi v gozdu ali pa na pomožnem skladišču oz. kamionski cesti. V teh primerih je potrebno cela drevesa spraviti tja s traktorjem ali žičnico. V primeru, da delamo z njimi ob vlaki, moramo sortimente spraviti do ceste s forwarderjem oz. traktorjem z nakladalno napravo in prikolico.

Procesorska glava ima lahko 3 ali 5 nožev. Med njimi je eden (čelni) zvezdast, 2-4 pa so stranski v obliki polmeseca. Ob večjem številu nožev lahko govorimo o boljši kvaliteti kleščanja. Verižna žaga na hidravlični pogon opravlja prežagovanje lesa. Meritev dolžin sortimentov poteka s pomočjo merilnega kolesčka. Analiza natančnosti merjenja je pokazala, da je 90% vseh izmerjenih dolžin znotraj razmika 4 cm pri krojenju 2-3 m lesa.

V primeru, da procesorji delajo na vlaki, le-ta na trdi podlagi ne sme biti strmejša od 20% ter pri mehki ali slabi vlaki maksimalno 15 %. Poleg tega vlaka ne sme imeti prečnega naklona sicer je ogrožena stabilnost traktorja s priključenim procesorjem. V primeru, da s procesorjem privlačujemo les od panja do vlake, mora biti gostota vlak zelo velika. V primeru redkejših vlak je potrebno predspravilo, pri čemer mora biti les zložen primerno

horizontalnemu kotu, vertikalni kot gibljivosti procesorja pa določa največji naklon terena, pri katerem lahko ti stroji še delajo.

5.2.2 Procesorji z dvojno procesorsko glavo in hidravličnim žerjavom

Ti procesorji so se razvili iz velikih procesorjev, ki so montirani na ohišje forwarderja. Obstaja možnost, da se tudi ti priključijo na traktor in njegov hidravlični sistem. Osnovni sestavni deli procesorja so: oljni tank, črpalka, ventili za upravljanje in hladilnik olja. Les premikajo s pomočjo valjev (različni tipi: zobati, verižni, valji s pnevmatikami,...), klestijo pa z različnim številom nožev. Merilno kolo je namenjeno merjenju dolžin. Na traktorju, praviloma nad zadnjo osjo, je montiran hidravlični žerjav. Pri montaži procesorja in žerjava je potrebno izbrati primerno močan in težak traktor, da ni presežena njegova nosilnost.



Slika 30: Procesor Nokka 400 RS z dvema procesorskima glavama priključen na traktor (James Sharp Youtube kanal, 2016)

Opisani procesorji so namenjeni za delo na lahkih terenih in za drobno drevje. Optimalni razpon premerov lesa je med 14 in 22 cm. Krmiljenje procesorja poteka iz traktorske kabine z vrtljivim sedežem. Mogoča je tudi montaža procesorja na prednji del traktorja. Uporaba procesorje praviloma terja ustrezno pripravo lesa, saj je doseg roke relativno kratek in zato ti stroji npr. težje prijemajo les na strmih brežinah. Z omenjenimi stroji je mogoče delati na obeh straneh vlake, ob upoštevanju krajšega dosega, v primerjavi s procesorji z vgrajenim vitlom. Zahteve glede terenskih razmer so identične tistim za procesorje z vgrajenim vitlom, nujno potrebno pa je trdno stojišče zaradi dvigalnega žerjava. Kvaliteta kleščanja je dobra v primeru, da so veje debele manj kot 2 cm,

maksimalni premer debel pa lahko znaša 40 cm. Za gospodarno delo je potrebna velika gostota vlak ali predspravilo. Stroji iz te skupine dosegajo letne učinke do 4.800 m³, najnižja raven gospodarnosti pa znaša 1.800 m³/leto.

5.2.3 Veliki procesorji za sečnjo - harvesterji

Harvesterji so stroji za sečnjo, ki lahko opravijo vsa dela pri sečnji in izdelavi gozdnih lesnih sortimentov. Navadno delajo v kombinaciji s forwarderji. Gre za tehnologijo kratkega lesa z zmožnostjo velikih učinkov in potrebo po dobri organizaciji dela. Med te stroje štejemo tudi harvesterje za izdelavo gozdnih lesnih sekancev. Omenjena skupina strojev je heterogena.

Opravljenе operacije so sledeče (vsi stroji v tej kategoriji ne opravljajo vseh operacij):

- podiranje,
- zlaganje ali zbiranje do vlake
- podajanje lesa oz. odlaganje sortimentov,
- kleščenje,
- merjenje dolžin in premerov,
- krojenje in prežagovanje.

Harvesterji za izdelavo gozdnih lesnih sekancev pa lahko opravijo:

- podiranje,
- kleščenje,
- lupljenje,
- sekanje,
- transport izdelanih sekancev do kamionske ceste,
- razkladanje izdelanih sekancev v kamion ali kontejner (Košir, 1997).

Poznamo tudi stroje za sečnjo – harvesterje z dvema glavama. Harvesterska glava s katero podirajo drevje in lahko opravijo vse ostale postopke je montirana na hidravlični roki (dvigalu), ki je pri največjih še dodatno podaljšljiva. Procesorska glava na šasiji stroja samostojno opravi vse postopke, potem ko s prvo (harvestersko) glavo strojnik položil

drevo nanjo. Na ta način je možna hkratna obdelava dveh dreves. Vsi postopki so danes računalniško vodeni in do neke mere avtomatizirani. V primeru uporabe harvesterja z dvema glavama praviloma dosegamo večje delovne učinke, hkrati pa so stroji večji, težji, manj okretni ter povzročajo večje poškodbe tal in potrebujejo odprte sestojne razmere.

Veliki delovni učinki strojev za sečnjo – harvesterjev terjajo praviloma večje koncentracije lesa. Manjši in cenejši stroji so uporabni tudi v prvih redčenjih, kjer so koncentracije manjše. Le-ti so grajeni za delo na položnejših terenih, kjer si stroj sam krči prostor za vlako (sečna pot), po kateri forwarder v naslednji fazi odvaža les. Z željo po zmanjšanju poškodb gozdnih tal ti stroji sečne ostanke polagajo na sečne poti, s čimer se zmanjša globina kolesnic. Večinoma gre za kolesne stroje, predvsem večji harvesterji pa so tudi gosenični. V to skupino strojev štejemo tudi procesorje, ki so izdelani v osnovni obliki kot procesorski agregat (glava), katerega lahko montiramo na hidravlično roko nakladalnega žerjava ali celo na roko bagra. Osnovni stroj je lahko kamion, bager ali večji traktor. Poznamo tudi kombinacije z žičnico na kamionu, kjer je takšen procesor montiran na hidravlični roki nakladalnega žerjava. Čeprav so mogoče različne kombinacije pa procesor ponavadi opravi: kleščenje, merjenje dolžin, krojenje in prežagovanje.

Preglednica 1: Orientacijski podatki za majhne, srednje in velike stroje za sečnjo (Krč in sod., 2014 cit. po FHP, 2010)

Podatek o stroju	Enota	MINI	MAJHNI	SREDNJI	VELIKI
Masa	t	4-8	9-15	15-22	21-30 (50)
Širina stroja	cm	160-240	230-290	260-305	290-310
Dolžina roke	m	5-7,4	8,1-11,6	8,3-10,7	8,3-15,5
Maksimalni premer drevesa	cm	35	50	65	80
Učinek	m ³ /h	3-5	4-12	9-20	9-28
	m ³ /leto	7.000	15.000	26.000	33.000

Zaradi časovne distance smo se odločili predstaviti razvoj Timberjack / John Deere harvesterja z modelno oznako 1270 (glej priloga B). Omenjeni stroj za sečnjo je praktično od samih začetkov pa do danes zastopan tudi v Sloveniji in hkrati modelna oznaka, ki se je

pri proizvajalcu obdržala vse od leta 1992 pa do danes, ko je na trgu že šesta generacija teh strojev.

5.2.4 Stroji za podiranje in zbiranje dreves

Ti stroji se uporabljajo v tehnoloških sistemih dolgega in kratkega lesa. V prvem primeru opravijo podiranje drevesa in, če gre za redčenja, tudi zbiranje v primerne svežnje ob traktorskih vlakah, po katerih opravi spravilo celih dreves traktor s kleščami (en. grapple skidder). Seveda je mogoče tudi v tem primeru sortimente izdelati s kakšnim izmed procesorjev na vlaki in opravili spravilo kratkega lesa z zgibno polprikolico. Stroji za podiranje so uporabni tudi v golosečnjah, kjer drevje podirajo, spravilo pa opravimo s traktorji z velikimi zgibnimi kleščami.

Stroji za podiranje so različnih velikosti in dimenzij. Lahko so kolesni ali pa gosenični. Za potrebe dela v redčenjih so stroji veliko manjši in lažji. Agregat za podiranje je v tem primeru nameščen na prednji strani zelo blizu stroja in ni na dolgi hidravlični roki kot pri procesorjih. To pomeni manjši moment, ki skuša stroj prevrniti. Stroj je zato lahko lažji, vendar mora priti zelo blizu drevesa. V primeru podiranja velikih dreves (premer do 90 cm) so potrebni težji stroji z podiralnim agregatom nameščenim tik ob stroju.

V primeru tanjšega drevja je podiranje mogoče opraviti s škarjami (do debeline nekje 30 cm) ali s hidrostatsko gnano verižno žago. Različica z verižno žago je pogostejša, ker so poškodbe lesnih vlaken bistveno manjše (še posebej v primeru zmrznjenega lesa) ter je hkrati univerzalnejša. Značilnost teh strojev je velika stabilnost in sposobnost premagovanja terenskih ovir. Predvsem starejše zasnove so za podiranje morale opraviti premik do drevesa. Novejši gosenični stroji pa imajo nameščene zmogljive hidravlične roke z glavami za podiranje, ki omogočajo istočasno podiranje celih šopov dreves ali zbiranje posameznih.

Raziskava in podrobnejša analiza spletnih strani proizvajalcev strojev za sečnjo je pokazala, da še danes glavno tržišče strojev za podiranje predstavljajo neevropske države. Tako nekateri modeli strojev za podiranje za evropsko tržišče niso na voljo. Za boljši

pregled naštevamo glavno danes prisotnih proizvajalcev strojev te kategorije in nekatere njihove aktualne modele:

Preglednica 2: Aktualna ponudba strojev za podiranje in zbiranje lesa (spletne strani naštetih proizvajalcev, 2016)

PROIZVAJALEC	KOLESNi	GOSENIČNI
John Deere (ZDA)	643L / 843L	803M / 959M
Komatsu (ŠVE)	ni v ponudbi	XT430-3 / XT460L-3
Tigercat (KAN)	718E / 724G / 726G	822C / LX830C / 870C
Timberpro (ZDA)	ni v ponudbi	TL765C / 725-C / 830-C
Impex - Könhstiger (NEM)	ni v ponudbi	T25 / T30
Eltec (KAN)	ni v ponudbi	220 / 270 / 310
Hitachi (JAP)	ni v ponudbi	ZX210F-3 / ZX370F-3
Prentice (ZDA)	2470C / 2570C / 2670C	ni v ponudbi
Madill (KAN)	2250C	ni v ponudbi
Caterpillar (ZDA)	553C / 573C	522B / 552 Series 2
Volvo (ŠVE)	ni v ponudbi	FBR2800C / FB3800C



Slika 31: Sodobni stroji za podiranje in zbiranje lesa, L-D: John Deere, Madill, Timbercat (spletne strani proizvajalcev, 2016)

5.2.5 Kombinirani stroji za sečnjo in spravilo

Povečano produktivnost lahko iz vidika tehnologije dosežemo na več načinov. Eden izmed njih je, da zmanjšamo število delovnih elementov /sredstev (Bergkvist in sod. 2007). Gre

za t. i. koncept združevanja funkcij, ki ga v tej nalogi predstavljamo z vidika sečno-spravlilnega stroja (en. harwarder). V tem primeru sta torej združeni funkciji stroja za sečnjo - harvesterja in spravlilnega stroja - forvarderja / traktorja s sedlastim prijemalom. Stroji te kategorije nalagajo les direktno na integrirano prikolico ali na sedlasto prijemalo, kar pomeni, da se izognemo oz. minimaliziramo pobiranje lesa iz tal. S tem je omogočeno krojenje lesa direktno na prikolico/sedlasto prijemalo. Sistemi so torej ločeno prilagojeni za delo po drevesni metodi ali metodi kratkega lesa. Ko strojnik nalagalni prostor napolni, sledi premik in raztovarjanje na kamionski cesti. Uporaba enega stroja je cenejša (št. operaterjev, poraba goriva, maziv, vzdrževanje) in ugodnejša tudi z vidika premikov med delovišči (potrebno je transportirati en stroj namesto dveh). Slabost sistema je občutljivost na dolge spravlilne razdalje. Povsem razumljivo je, da se v času vožnje-spravila sečnja ne odvija.

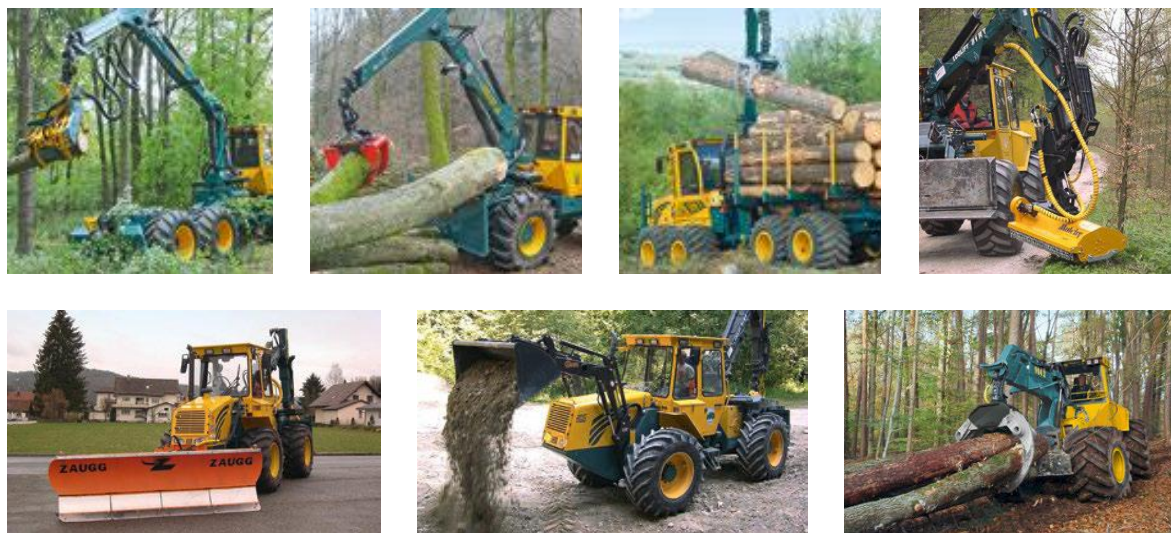
Pri odločitvi za nakup tovrstnih strojev je možen scenarij, da lastniki preučijo kategorizacijo terena, zmogljivosti strojev in možnosti poseka na njihovem območju. Ob ugotovitvi, da je količina možnega poseka premajhna za zaposlitev kompletne garniture (harvester + forvarder) in ekonomično izrabo stroja pride v poštev kombiniran stroj. Ponavadi imajo takšni stroji nameščeni nekoliko manjšo in lažjo harvestersko glavo. S tem je zagotovljena primerna stabilnost stroja (Jandl 2016a).

V nadaljevanju navajamo in na kratko opisujemo nekatere tipične predstavnike strojev te kategorije:

5.2.5.1 HSM 805F Kombi

Poleg namestitve harvesterske glave imajo stroji tipa HSM 805F Kombi možnost še obilice drugih priključkov: dvojni vitel na prednji hidravlični deski (2×80 kN) z nastavljivima vrvenicama do višine 2100 mm, sedlasto prijemalo za spravilo lesa (drevesna in pol-drevesna metoda spravila), hidravlične klešče, možnost priklopa gozdarske ali prekučne prikolice. Poleg deske za rampanje lahko na čelno hidravliko namestimo še bagersko žlico ali snežni plug, hidravlična roka pa omogoča poleg naštetih funkcij tudi priklop drobilnika - mulčerja. Gre torej za večnamenski gozdarski stroj, ki na nobenem področju ne daje

superiornih rezultatov, a po drugi strani omogoča vsestransko uporabnost in lahko zagotavlja vir prihodkov tudi takrat, ko strojne sečnje ni mogoče izvajati.



Slika 32: Večnamenski stroj HSM 805F Kombi s prikazanimi možnostmi delovnih operacij (HSM GmbH & Co. KG, 2016)

5.2.5.2 Konrad Highlander II

Stroj je prilagojen za delo na zahtevnih terenih (na voljo je 4 in 6 kolesna različica) in s svojo inovativno tehnologijo združuje funkcije stroja za sečnjo - harvesterja in traktorja s prižemnimi čeljustmi (en. clam-bunk skidder). Za boljšo stabilnost in prehodnost na strmih terenih je medosno razdaljo mogoče podaljšati s pomočjo t. i. step-drive tehnologijo (možnost ločenega iztegovanja na vsaki strani). Večjo varnost pri vožnji v ekstremnih strminah ali za primer privlačevanja dreves je naprava opremljena z zmogljivim vitlom. Strojniška kabina se vrti brez omejitev. Napravo odlikuje dobra razporeditev teže, k čemur močno pripomore sredinsko nameščeno vpetje hidravlične roke z nameščeno harvesterjsko glavo in pa (za ta tip naprav) visoka hitrost vožnje po gozdnih cestah (do 30 km/h).



Slika 33: Raztegljiva kolesna platforma stroja Highlander za prilagajanje terenskim razmeram (levo) in prikaz funkcije sečnje in spravila na strmih terenih (desno) (Forsttechnik, 2016)

5.2.5.3 Valmet 801 C

Ta kombiniran stroj za sečnjo in spravilo je bil leta 2002 osnovan za delo v redčenjih in selektivnih končnih sečnjah. Inovativni pristop odraža vrtljiva nakladalna ploščad z možnostjo niveliranja (do 15°). Nalaganje sortimentov poteka direktno na sedlasti zbiralnik (kapaciteta 13.000 kg), kar omogoča znatne časovne prihranke, ohranja sortimente čiste in preprečuje, da bi le-ti ostali v sestoju. Na stransko nameščeni iztegljivi hidravlični roki dolžine 11 metrov se nahaja harvesterska glava Valmet 330.2 DUO (do 50 cm premera pri podiranju), posebej prilagojena na nakladanje in razkladanje.



Slika 34: Kombinirani stroj za sečnjo in spravilo Valmet 801 C (IHB-Fordaq, 2016)

5.2.6 Stroji za klešččenje

Stroji za klešččenje (en. delimber) so specializirani stroji za klešččenje in prežagovanje debel. Namenjeni so dodelavi lesa, ki so ga podrli z motorno žago ali s stroji za podiranje dreves. Običajno delajo na začasnih skladiščih v gozdu ali ob kamionski cesti, saj

potrebujejo za delo veliko prostora. Možni sta različici na kolesih ali gosenicah. Do začasnega skladišča je potrebno spraviti celo drevje s traktorji ali žičnicami in ga pripraviti v primerne kupe.



Slika 35: JohnDeere 2154 z Pro Pac agregatom za kleščenje (John Deere spletna stran, 2016)

Delimberji so različnih dimenzij, praviloma primernejši za kleščenje drobnega ali srednje debelega lesa. Značilna je dolga roka ali letev (stroke delimber), ki je tako dolga, da podpira deblo, ki ga klestijo in pomični noži za kleščenje vej. Na letvi je lahko še naprava za prežagovanje – krožna žaga, škarje ali verižna žaga. Manjši delimberji so neke vrste traktorski priključki in za podajanje celih dreves(c) uporabljajo hidravlično nakladalno roko. Z njimi lahko klestimo drobno drevje iz redčenj.

5.2.7 Sekalni harvesterji

Sekalni harvesterji (en. chipper harvester) iz te kategorije spadajo v posebno skupino strojev za sečnjo. Grajeni so kot zgibni polprikoličarji z zaprtim prostorom za lesne sekance ter opremljeni s sekalnikom in harvestersko glavo, s katero opravijo podiranje (po potrebi tudi krojenje) in podajanje lesne mase v sekalnik. Izdelane sekance vozijo po brezpotju oz. po vlaki do kamionske ceste, kjer jih preložijo v ustrezne kontejnerje oz. direktno v kamion ali priklopnik za prevoz sekancev. Večinoma se takšni stroji uporabljajo v redčenjih iglavcev. V primeru, da stroj izdeluje bele sekance, s harvestersko glavo podre drevo, ga oklesti ter poda v lupilni stroj. Od tu dalje je proces avtomatiziran. Iz lupilnega stroja gre obeljen les v sekalnik, ki preko vgrajene cevi naklada sekance v kontejner na

vozilu. Ko je kontejner poln, stroj odpelje tovor do kamionske ceste, kjer ga zvrne v kamion ali priklopnik za prevoz sekancev.



Slika 36: Silvatec sekalni harvester na polgosenicah namenjen za pridobivanje biomase (Silvatec spletna stran proizvajalca, 2016)

5.2.8 Stroji za ruvanje panjev

Stroji za ruvanje panjev (en. stump harvester) spadajo v kategorijo specialnih strojev za strojno sečnjo. Od devetih opisanih kategorij strojev za sečnjo v tej nalogi, so ti stroji najmanj kompleksni. Namensko oblikovane prijemalne čeljusti za ruvanje panjev so v večini primerov nameščene na hidravlično roko, osnovno vozilo pa je bager. Njihov priklop in upravljanje sta identična tistemu za bagrsko žlico ali rušilno kladivo. Tudi klasični bagrski priključki ali buldožerji lahko opravijo ekstrakcijo panjev, vendar pri tem med koreninami ostane veliko zemlje in kamenja. Pred nadaljnjo uporabo je potrebno takšne panje posušiti in očistiti. Z namenskimi čeljustmi za ruvanje panjev pa posamezni panj zdrobimo na več delov in tako sproti odstranimo odvečni material. S tem pridobimo možnost takojšnje uporabe biomase. Tako pridobljena lesa masa ima 17 % višjo energijsko vrednost od standardnih sečnih ostankov.



Slika 38: Ösa 250 (Drushka in Kontinen, 1997)



Slika 37: Ösa 670 z namensko glavo za ruvanje panje (Drushka in Kontinen, 1997)



Slika 39: Sodobne čeljusti za ruvanje panjev (Fravizel, 2016)

5.2.9 Stroji za sečnjo v ekstremnih terenskih razmerah

V kategorijo strojev za sečnjo v ekstremnih terenskih razmerah (en. walking machines, spiders) spadajo t. i. kolesni ekskavatorji. Ti stroji za stabilizacijo uporabljajo iztegljive »noge«. Večina teh je bila izdelanih za delo na zelo strmih terenih z možnostjo dela v kombinaciji z žičnicami ali celo nadomestitev žičniškega ter ponekod tudi helikopterskega spravila. Razvoj tovrstnih naprav se opira na vzporedni razvoj hidravlike in elektronike. Danes je proizvajalcev teh naprav že kar precej, zato bomo izpostavili le glavne in tiste, ki so uvajali bistvene tehnološke izboljšave v tem segmentu naprav. V Evropi za glavne proizvajalce štejemo podjetja Kaiser iz Liechtenstein-a, švicarski Menzi Muck ter italijanski Euromach (Amishev in Evanson, 2011).



Slika 40: Švicarski Menzi Muck A91 z glavo Woody 50 (Menzi Muck, 2016)

Delovišča omenjenih naprav predstavljajo strmi in večkrat tudi ekološko občutljivi tereni. Učinkovito in varno gibanje ter opravljanje sečnje na zahtevnih terenih tem strojem omogočajo zmogljive hidravlične črpalke. Na primeru stroja Kaiser Spyder S2 gre za tri ločene hidravlične sisteme. Prvi napaja nakladalno roko s harvestersko glavo (ali hidravličnimi kleščami v primeru, da gre za pravilni stroj), drugi oskrbuje 4-kolesni pogon in stabilizatorje, tretji pa poganja preostale servisne funkcije. Sinhronizacija črpalk in motorjev je elektronsko nadzorovana. Med posebno opremo tovrstnih naprav spadajo neprebojna stekla (za primer obratovanja ob žičniških linijah) ter dodatne ojačitve kabine ter motornega sklopa. V 20-ih letih razvoja tovrstnih naprav za uporabo v gozdarstvu se je moč motorjev povečala iz 60 kW na 117 kW, komponente pa so robustnejše in bolj vzdržljive. Največji hodeči stroji danes tehtajo do 12,5 ton. Zaradi zmogljivih črpalk, visoke specifične moči (razmerje med močjo motorja in težo stroja), visokih pretokov in učinkovite stabilizacije pa zmogljivosti teh naprav primerjajo z 20 tonskimi goseničarji. Kanadske raziskave kažejo, da čas faze premikanja strojev po delovišču znaša 37 %. Kot ekonomsko učinkovit način uporabe omenjajo kombinacijo sečnje in zbiranje s hodečim strojem ter helikopterskim pravilom lesa. Cene tovrstnih naprav se gibljejo okoli 500.000 NZ\$ (Menzi Muck A91), rabljene pa smo na spletu našli po cenah od 100.000 do 160.000 US\$ (Amishev in Evanson 2011).

Preglednica 3: Pregled strojev za delo v ekstremnih razmerah s podanimi lastnostmi (spletne strani proizvajalcev: Kaiese, Menzi Muck, Euromach in Schaeff, 2016)

	Kaiser Spyder S2	Menzi Muck A91	Euromach R55 100HP Forester	Schaeff Walking Excavator HS 40 D
				
Teža (kg)	9980	10500	8850	6600
Moč motorja (kW)	117	104	74	38
Zmogljivost dvižne roke	5,5 t/ 3m, 2,8 t/ 5m	6,0 t/ 2,8m, 2,0 t/ 5m	Ni podatka	
Brake out force (zaviralna sila, kN)	92	74	68	
Doseg roke (m)	8,22	8,27	8,73	
Slew Torque (navor Nm)	48000	46000	56000	
Glava (tip) in max. Premer	Konrad Woody 50 (65 cm)	Konrad Woody 50 (65 cm)	Ni podatka	

Takšne naprave omogočajo delo na terenih z naklonom do 100 % (45°). Poleg vprašanja varnosti so ključnega pomena tudi talne razmere (število prehodov, kohezija in vlažnost tal). Na slabo sprijetih tleh je priporočljiva omejitev za delo teh naprav 80 % (40°) naklona terena. Produktivnost naprav na strmih terenih zmanjšujejo: naraščajoči časi premikov in iz vidika stabilnosti manjši doseg hidravlične roke ter maksimalni premer dreves (Amishev in Evanson, 2011). Za lažje premagovanje strmine so nekatere tovrstne naprave opremljene z vitlom, hkrati pa si pomagajo tudi z iztegljivo teleskopsko hidravlično roko.

5.3 STROJNA SEČNJA V SLOVENIJI

V slovenskem gozdarstvu je v tehnološkem smislu kar nekaj področij, kjer za razvitimi gozdarskimi državami EU zaostajamo vsaj za 10 let. Velik zaostanek je prav gotovo v deležu uporabe sodobnih tehnologij sečnje in spravila lesa. Vsaka tehnološka sprememba je pri gozdarjih naletela na večji ali manjši odpor. Tudi pri zamenjavi ročne žage z motorno je bilo podobno. Še danes je delež strojno posekanega lesa iz rednih sečenj zelo majhen. Skupno povečanje se dviguje na račun uporabe strojne sečnje pri sanacijah ujm in gradacij podlubnikov. Na Finskem s stroji za sečnjo posekajo preko 90 % vsega lesa. V državah kot sta Nemčija (redčenja) in Avstrija (državni gozdovi) pa preko 50 % (Dvorak, 2010). Čeprav ima strojna sečnja zaradi naravnih omejitev gozdnih sestojev v Sloveniji omejen domet, so njene prednosti zaradi ekonomskega, ergonomskega in varnostnega vidika tako velike, da jo moramo uporabljati na primernih terenih. Zaradi težkega fizičnega dela z motorno žago številni poklicni gozdni delavci predčasno končajo delovno dobo kot invalidi.

Gozdarstvo v Sloveniji je tehnološko stagniralo že najmanj od konca sedemdesetih let 20. stoletja. Stanje gre pripisati drastičnim omejitvam uvoza, ki so preprečile nabavo sodobne strojne opreme ter zastarela ali nekvalitetna oprema na domačem trgu. Prognoze domačih strokovnjakov glede na možnosti uvajanja strojne sečnje v slovenske gozdove so ocenjevale, da do leta 2000 ne moremo pričakovati uporabe strojev za sečnjo in zbiranje (en. feller-buncher), ki so bili takrat po svetu že močno razširjeni. Za razloge so navedli posebnosti slovenskega načina gospodarjenja z gozdovi in značilnosti zemljišč (razdrobljena gozdna posest, vprašanje koncentracij). Uporabo strojev za sečnjo in zbiranje so predvideli le v plantažnih nasadih, ob izpolnjenem pogoju zadostnih koncentracij za posek možnega lesa. Domača gozdarska stroka je leta 1989 predvidela, da se bo v slovenskih gozdovih v večji meri pričel uporabljati mehaniziran postopek klešččenja iglavcev in to pri drobnem lesu, kjer je delež klešččenja v izdelavnem času drevesa zelo visok in kjer lažje uporabimo drevesno metodo pri spravilu lesa. Predvidevanja (do l. 2000) glede klešččenja debelejšega lesa so pokazala, da jih bomo še naprej opravljali izključno z motornimi žagami. Možnosti kombinirane tehnike dela (ročno podiranje,

strojno kleščenje) takratna stroka ni predvidela. Takrat so strojno kleščenje pripisali zgolj k drevesni metodi kot edini možni tehnologiji (Košir B., 1997).

Iz analize gozdnogospodarskih načrtov območij za obdobje 2000-2010 je moč razbrati, da strojna sečnja v tem obdobju še ni obravnavana kot realna tehnologija pridobivanja lesa. V drugi polovici tega obdobja je postalo jasno, da smo z vstopom v tretje tisočletje na področju gozdarstva vstopili tudi v novo tehnično obdobje, za katerega bo značilna uporaba strojne sečnje, vožnje lesa in izpopolnjene informacijske tehnologije (Košir, 2004). Uvajanje strojne sečnje je posledica sledenju razvojnim trendom, ki so v Evropi in svetu stalno prisotni. Strojna sečnja se v Sloveniji vedno bolj uveljavlja. Omogoča večjo varnost pri delu, je hitrejša in učinkovitejša pri sanacijah naravnih ujm (vetrolom, snegolom, žled,...) v primerjavi z ročno sečnjo.

5.3.1 Uvajanje strojne sečnje v Sloveniji

Po vseh raziskavah in uporabi v svetu, predvsem pa v Srednje-evropskem prostoru in še posebej v Alpah (Švica, Avstrija), se je strojna sečnja izkazala kot ekološko ustrezna in človeku prijazna tehnologija. Poškodbe na sestojih so ob pravilni uporabi strojne sečnje nižje kot pri klasičnih tehnologijah sečnje in spravila lesa.

Ob prvih srečanjih slovenske gozdarske stroke s strojno sečnjo (večinoma konec osemdesetih in začetek devetdesetih let prejšnjega stoletja) je večina zavzela odklonilno stališče. Le redki so se zavedali, da je to prava pot, še posebej na primerih sanacij po ujmah. Potrebno je vedeti, da podlubniki v tistem času slovenskih gozdov niti približno niso ogrožali do te mere, kot jo doživljamo danes. Zato za takšne primere nihče ni predvidel možnosti uporabe (Pogačnik, 2016a).

Prvi stroji v Sloveniji so se uporabljali že v 90. letih prejšnjega stoletja (1996, GGO Postojna, Königstiger in FMG Timberjack v najemu od avstrijskega ponudnika). K strojni sečnji lahko štejemo tudi procesorje, ki so na kamionu delali že koncem osemdesetih, na žičnicah pa koncem devetdesetih let. V večini primerov je šlo za stroje avstrijskih izvajalcev, ki so sodelovali pri sanaciji vetrolomov in kasneje tudi v redčenjih.

Prvi stroj za sečnjo v slovenski lasti je nabavil g. Moličnik, kmet in podjetnik iz Luč v Savinjski dolini. ZGS je ob sodelovanju ostalih subjektov v gozdarstvu v letih med 2002 in 2005 organiziral pet delavnic o uvajanju strojne sečnje v Sloveniji. Pomanjkanje delovne sile, večja varnost pri delu, večja ekonomska učinkovitost in konkurenčnost so razlogi za vedno večjo uporabo strojne sečnje kot tehnologije v Sloveniji (Debevc, 2009).



Slika 41: Participacija je pomemben del uvajanja strojne sečnje (Seppo, 2016)

Način, s katerim smo v našo državo "pripeljali" strojno sečnjo, je bil precej ponesrečen. Poleg splošne nejevolje in nestrinjanja stroke in širše javnosti pri nas noben proizvajalec ni imel urejene servisne in prodajne dejavnosti. Tako je vsaka nekoliko kompleksnejša okvara ali napaka na stroju za sečnjo za seboj potegnila drage in zelo zamudne servisne storitve (Jakše, 2016a).

Največ strojev za sečnjo imajo pri nas v posesti velika (do pred kratkim še koncesijska) upravljavska podjetja, ki večinoma delajo v državnih gozdovih. Okoli leta 2003 so ta podjetja kupila svoje prve garniture (harvester + forwarder) za strojno sečnjo. Zaradi neizkušenosti strojnikov, pomanjkanja organizacijskih izkušenj (kriteriji za uporabo so se začeli oblikovati po letu 2005) in neinformiranja javnosti je prihajalo do številnih prijav in intervencij inšpekcijskih služb. V želji, da bi konflikti postajali vse redkejši, so izvajalska podjetja skupaj z javno gozdarsko službo pričela organizirati delavnice in demonstracije strojne sečnje. Da bi še dodatno seznanili javnost, kje se odvija strojna sečnja, so nekateri izvajalci ob delovišča namestili posebne informativno-opozorilne table.

Ugodno je na uvajanje strojne sečnje v Sloveniji vplival razvoj tržnega gospodarstva ter reorganizacija družbe in gozdarstva. Prvi stroji so "služili kruh" na področjih gradnje avtocestne in električne infrastrukture (daljnovodi). Številne ujme in gradacije podlubnikov (2003-2006 ter od 2015 do danes) pa so vlogo strojne sečnje še dodatno okrepile. Dokazano je, da strojna sečnja tudi v takšnih primerih omogoča učinkovito sanacijo in predvsem zvišuje raven varnosti.

Enotna opažanja domačih strokovnjakov kažejo, da se je odnos stroke in javnosti do strojne sečnje od prvih uporab do danes močno spremenil. Še posebej so pohvalili sodelovanje z javno gozdarsko službo. Prijave in sankcije so danes redke. To lahko pripišemo tudi dejstvu, da po toliko letih za slovenskimi stroji sedijo usposobljeni in izkušeni strojniki (urejenost delovišč, manjše poškodbe tal in stoječega drevja).

Domači strokovnjaki navajajo sledeče prednosti in omejitve strojne sečnje (Debevc, 2009).

PREDNOSTI strojne sečnje:

- hitrejša izvedba dela po ujmah (škodljivci),
- bolj varno in humano delo v gozdu,
- nižji stroški in večji učinki na časovno enoto,
- hitrejša prilagajanje željam odjemalcev,
- sortimenti so bolj čisti za nadaljnjo predelavo.

OMEJITVE pri strojni sečnji, ki jih moramo upoštevati :

- prehodnost-prevoznost sečišča,
- atmosferski vplivi,
- optimalna velikost stroja glede na sestojne značilnosti,
- premiki strojev po javnih cestah,
- drevesna debelina,
- poškodbe tal in sestoja.

5.3.1.1 Zakonski okvir

Tehnologije strojne sečnje ne moremo predpisovati, lahko le izločimo terene, kjer ni dovoljena. Posebej za Pokljuko je bila v letošnjem letu izdelana detajlna karta površin primernih za strojno sečnjo. Strojna sečnja je opredeljena v Pravilniku o izvajanju sečnje, ravnanju s sečnimi ostanki, spravi in zlaganju gozdnih lesnih sortimentov, katerega sprememba je omogočila racionalnejšo rabo strojne sečnje v povezavi z izvajanjem gozdnega reda (Krč in sod., 2014).

5.3.1.2 Vloga javne gozdarske službe v Sloveniji

Dela pri strojni sečnji (pripravo delovišč, sečnih poti, svetovanje) izvaja ZGS, ki dela tudi nadzira, opozarja na nepravilnosti in sodeluje z izvajalci pri časovnem in prostorskem razporedu del. Poleg ZGS je organ nadzora še gozdarska inšpekcija. Posebna skrb je namenjena določanju sečnih poti, po katerih se stroji premikajo, še posebej njihovi sanaciji po končanih delih (Krč in sod., 2014).

5.3.2 Primeri uporabe strojne sečnje v Sloveniji

Po nam znanih podatkih prvi primeri uporabe strojne sečnje segajo v leto 1994. Na področju Peračice (GGO Bled) je bila s strani avstrijskega izvajalca narejena demonstracija strojne sečnje na primeru sanacije vetroloma. Na Notranjskem so prve stroje uporabili leta 1996, ko je v območju GE Ravnik prišlo do snegoloma in vetroloma. Takšne sanacije so nevarne in zamudne, povezane z visokimi stroški, pridobivamo pa večinoma manj vreden - prostorninski les. Zato se je izvajalsko podjetje (GOZD d.d.) odločilo za najem težkega gozdarskega stroja za sečnjo. Stroj za sečnjo in zgibna prikolica sta bila last MUJO FORST SERVICE iz Nemčije.

V Sloveniji je bil prvi lastnik stroja za sečnjo g. Moličnik iz Savinjske doline. S tem strojem so sečnjo izvajali v zasebnih gozdovih (primer krčitev gozdnih površin za osnivanje industrijske cone na današnji lokaciji podjetja Adria Mobil d.d., Novo mesto, leto 2005). Dve leti kasneje so prvo garnituro (harvester + forwarder) kupili v podjetju GG

Bled. Čeprav sta oba stroja (znamka: Timberjack, model: 1270D in 1010D) danes stara že več kot 12 let, ob rednem vzdrževanju povsem normalno obratujeta (Pogačnik, 2016c).

V gozdove Snežnika je bila strojna sečnja prvič pripeljana leta 2004. Šlo je za prvo uporabo strojne sečnje v naravnih bukovo-jelovih sestojih. Zavedajoč se pomembnosti izbire pravega stroja in potrebne kombinacije strojne sečnje z ročnim podiranjem na primeru debelega drevja in v pomlajenih sestojih, so dosegali zadovoljive rezultate. V prvem letu so tako v snežniških in javorniških gozdovih strojno posekali (in spravili) okoli 20.000 m³ lesa, še dodatnih 10.000 m³ pa izven območja. Ugotovili so sprejemljive sestojne in talne poškodbe, večinoma manjše kot pri klasičnim delu ter izvajali sprejemljiv gozdni red. Vseeno pa se je že leta 2009 zgodilo, da delavci Zavoda za gozdove Slovenije na tistem območju niso našli niti enega za strojno sečnjo primerne delovišča (Jež, 2009). To je zadosten pokazatelj odklanjanja strojne sečnje ter pasiven odnos do sprememb in napredka.

GG Bled je leta 2004 kot prvo uvedlo kompletno tehnologijo za strojno sečnjo (danes razpolagajo s tremi garniturami). Sprva so stroje najemali, pozneje pa s svojimi stroji začeli redno izvajati strojno sečnjo. Tako so leta 2009 v državnih gozdovih blejskega GGO posekali približno 30 % vsega lesa. Vse do danes to tehnologijo s pridom izkoriščajo predvsem v terensko in sestojno primernih gozdovih (visoke planote Pokljuke in Jelovice) ter pri tem upoštevajo najvišje standarde varovanja okolja.

GG Novo mesto in kočevska Grča so se leta 2008 skupaj odločili za nakup prve sečno-spravljalne garniture. Gre za John Deere harvester tipa 1470D in forwarder 1410D. Pri nakupu so se od samega začetka zavedali pomena bližine pooblaščenega serviserja. Ostali proizvajalci takšne opreme servisa in prodaje v Sloveniji nimajo urejene, zato so izvajalci ob okvarah velikokrat obsojeni na (pre)zamudno čakanje na nadomestne dele oz. ob intervenciji pooblaščenega serviserja na zelo visoke stroške popravil. Da bi zaradi elementarne okvare stroj stal 14 dni, je praktično nedopustno. Z vidika organizacije so obdobja rabe strojev vnaprej razdelili. V poletnem času so stroji delali na Kočevskem v iglavcih, v zimskem času pa so pri GG Novo mesto z njim sekali v mešanih bukovih sestojih. V nekaterih primerih se je strojna sečnja vršila tudi v sestojih z 80 % listavcev.

Glede na rastne značilnosti listavcev in omejitev pri sečnji zelo debelega drevja ter pri krojenju, je razumljivo, da se v takšnih razmerah uporablja kombinirana strojna sečnja (Kastelic, 2016c).

Na slovenjgraškem področju se je tamkajšnje gozdno gospodarstvo v letu 2010 odločilo za nakup stroja za spravilo lesa HSM 805F, proizvajalca Hohenloher Special – Maschinenbau GmbH & Co. KG (HSM). V osnovni izvedbi je zgibni polprikoličar (ang. forwarder), ki je namenjen spravilu predhodno pripravljene hlodovine ob gozdnih vlakah. Ključ za izbiro stroja je temeljil na kategorizaciji terena in zmogljivosti strojev. Ugotovili so, da imajo na svojem področju z uporabo strojne sečnje možnost posekati 10.000 m³ letno. To je za zaposlitev kompletne garniture (harvester + forwarder) premalo, da bi se stroji finančno pokrili. Zato so se odločili za kombinirani stroj (Jandl, 2016b).

Uporaba strojne sečnje prihaja v ospredje pri sanaciji naravnih ujm. Po prvih ocenah dejanskih poškodb je jasno, da je hitra sanacija mogoča le ob uporabi strojne sečnje. Po snegolomu na Jelovici so na ta način leta 2006 posekali 45.000 m³ in leta 2007 še dodatnih 33.000 m³ lesa. Največje možnosti uporabe strojne sečnje nam dajejo trenutne razmere. Za sanacijo trenutnih izrednih razmer (žledolom, podlubniki) v doglednem času v Sloveniji nimamo dovolj strojne opreme in usposobljenega kadra. Za doseganje zadostnih kapacitet in zmanjševanje števila težkih delovnih nesreč bo potrebno poiskati izvajalce iz Avstrije, Nemčije, Hrvaške in še od druge.

Uporaba strojev za sečnjo v Sloveniji narašča. Danes po naših ocenah v slovenskih gozdovih dela okoli 20 harvesterjev. Vse to kaže na pravi pristop iz naravnega, tehničnega, družbenega in tudi ekonomskega vidika. Brez zadostne količine dela za stroje v rednih deloviščih le-teh ne bomo imeli tudi takrat, ko jih bomo nujno potrebovali za sanacije po ujmah.

5.4 DEJAVNIKI PRIHODNJEGA RAZVOJA STROJNE SEČNJE

“I do believe in the horse. The automobile is no more than a transitory phenomenon.”

(nemški cesar Wihelm II, leta 1905)

Razvoj na tehnično-tehnološkem področju pomeni projektirati, oblikovati in vzpostaviti nove proizvodne in delovne sisteme ali z novimi organizacijskimi prijemi in raznimi izboljšavami stare sisteme narediti bolj produktivne, bolj prilagojene okolju in človeku in s tem dolgoročno bolj gospodarne za družbo kot celoto (Košir, 1997).

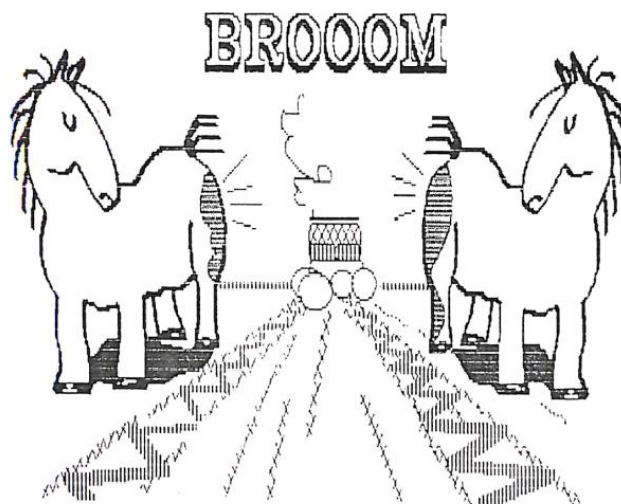
Industrija gozdarske mehanizacije je v primerjavi z ostalimi industrijskimi panogami relativno mlada. Avtomobilska industrija je stara približno 120 let, medtem ko so bili prvi gozdarski stroji zgrajeni okoli leta 1950. Prvi stroji so bili grajeni na osnovah kmetijskih traktorjev, a se je kmalu pokazalo, da takšnih stroji na dolgi rok ne morejo obratovati in dajati želeni učinkov v zahtevnih gozdni razmerah. Dolgoleten, kompleksen in ekonomsko potraten razvoj gozdarskih strojev je bil potreben, da so proizvajalci dosegli današnji nivo tehnološke razvitosti.

Tehnološki razvoj v procesu pridobivanja lesa je rezultanta delovanja kompleksov gozda in okolja, človeka, družbe in tehnike. Z gozdom moramo gospodariti tako, da trajno in stabilno zagotavljamo delovanje vseh gozdnih funkcij (Košir, 1997).

Pri oblikovanju tehnologij gre vedno za kombinacijo tehničnih, človeških, ekoloških in ekonomskih dejavnikov. Torej gre za preplet dveh živih (gozd in človek) in dveh neživih kompleksov (tehnika in ekonomika) med katerima iščemo ravnotežje. Na primeru razvoja gozdarskih tehnologij je še posebej signifikanten poudarek na dejavniku okolje – gozd. Vseeno pa je najpogostejši parameter merjenja tehnološkega razvoja prikazan s porabo časa za proizvodnjo 1 m³ lesa ali obratno: dnevna proizvodnja v m³ (Košir, 1997).

Med najvažnejše dejavnike razvoja že več kot pol stoletja štejemo tudi ekonomske vidike trenutne in pričakovane oz. predlagane tehnologije ali izboljšave, kar smo vedno šteli za merilo razvoja. Norveški strokovnjak Ivar Samset je na tem področju razvil t. i. zakon

diskontinuirane evolucije, ki z ekonomskimi (stroški na enoto) in tehnološkimi (proizvodnost na delovno uro) parametri pojasnjuje zakonitosti razvoja. Čeprav je model star že več desetletij, velja še danes, s tem da dobivajo drugi (neekonomski) kompleksi dejavniki čedalje pomembnejšo vlogo.

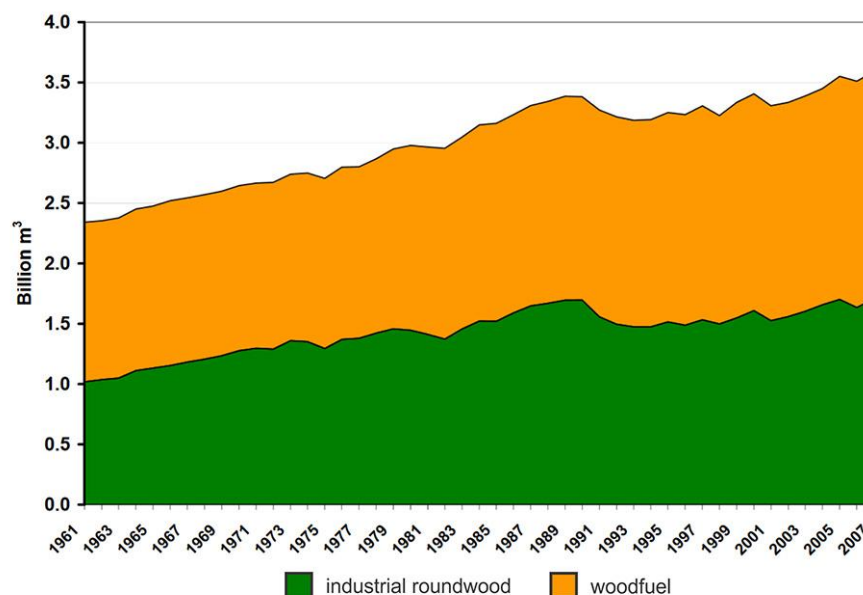


Slika 42: Prognoziranje se velikokrat izkaže za napačno (Košir, 1990)

V tej nalogi bomo izpostavili dejavnike razvoja na področju strojne sečnje. Pridobljeni podatki se nanašajo na novejša analitična članka z različnih delov sveta (ZDA, Nova Zelandija, Švedska) in obravnavajo celovito »sliko« možnosti razvoja tehnologije strojne sečnje ter s tem izpolnjevanje zahtev po večji učinkovitosti, gospodarnosti, ergonomiji in vplivu na okolje.

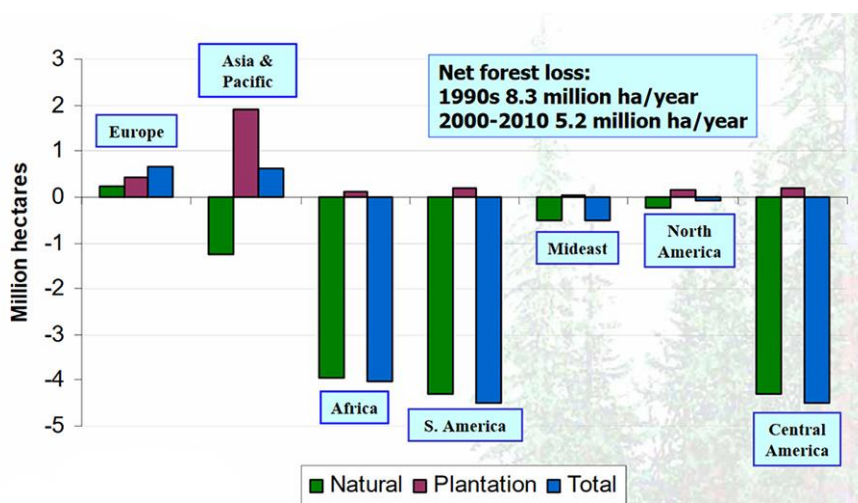
5.4.1 Trend porabe lesa in osnivanja plantažnih nasadov v svetu kot vplivna dejavnika na povečevanje deleža uporabe strojne sečnje

Kot pomembno gonilo razvoja gozdarskih tehnologij smo obravnavali globalno statistiko porabe lesa in trend površine plantažnih objektov. Zadnjih petdeset let beležimo domala nenehno rast porabe tako lesa za kurjavo, kot oblovine. Po zadnjih podatkih je poraba okroglega lesa v letu 2014 znašala 1,837 milijarde m³ ter 1,864 milijarde m³ lesa za kurjavo. Skupaj torej 3,7 milijarde m³ (FAOSTAT, 2016).



Slika 43: Trend globalne porabe okroglega lesa in lesa za kurjavo (FAOSTAT, 2011)

Analize gozdnih površin kažejo, da je v obdobju med leti 2000 in 2010 bilo izkrčenih blizu petnajst milijonov hektarov gozdov. Razlogi za takšne rezultate so: naraščanje števila prebivalstva, osnivanje novih kmetijskih površin, urbanizacija, naraščajoče potrebe po lesu za kurjavo in tudi osnivanje plantažnih nasadov (Pepke, 2010). Po vsem svetu se povečujejo površine plantažnih nasadov (FAO Global Forest Resources Assessments, 2011). Največjo porast beležimo na področju Azije in pacifiških dežel, kjer je bilo v obdobju 2000-2010 osnovanih skoraj dva milijona hektarov plantažnih površin z drevesno vegetacijo.

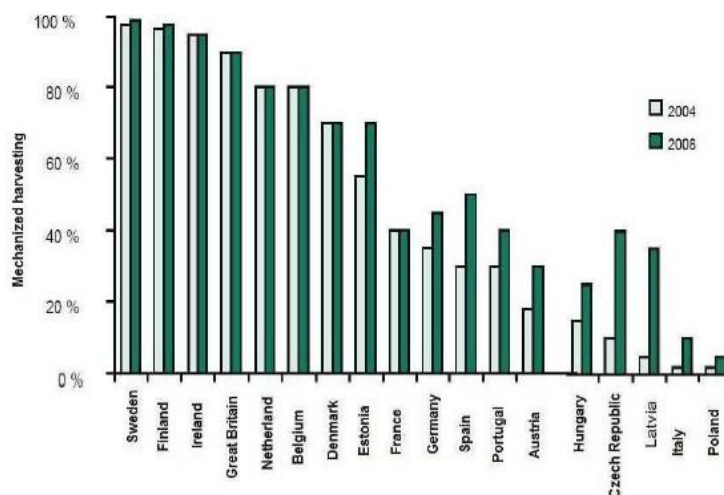


Slika 44: Trend gibanja površinske pokritosti naravnega gozda, plantaž in obojega skupaj v obdobju 2000-2010 (FAOSTAT, 2011)

Statistični podatki za pridobivanje lesa na plantažah evkaliptusa v manj razvitih deželah oz. deželah s poceni delovno silo (Tajska, Kitajska, Brazilija) kažejo, da so stroški strojne sečnje na enoto (m^3) proizvoda višji kot pri klasičnih tehnologijah. Stroški delovne sile v teh državah so nizki, zato drage tehnologije postopoma pridobivajo na veljavi. Delo v gozdu je tam povezano z nizko produktivnostjo, slabimi delovnimi razmerami in visokim tveganjem telesnih okvar in bolezni. Podatki kažejo, da se populacija gozdnih delavcev stara, hkrati pa se kaže trend preseljevanje mladih v mesta. Tako tudi v državah tretjega sveta vse težje zaposlijo delavce, kateri bi opravljali težka fizična dela (Manavakun, 2014). Navedeni podatki kažejo v prid možnosti postopnega uveljavljanja mehaniziranih postopkov pridobivanja lesa, vključno s povečevanjem deleža strojne sečnje. Posebej za delo na plantažah, kjer so značilni majhni povprečni volumni dreves in kratke obhodnje (5-15 let), so nekateri proizvajalci že razvili namensko opremo. Za primer navajamo proizvajalca Ponsse, ki je sečno glavo H7Euca optimiziral za lupljenje evkaliptusa. Geometrija podajalnih koles omogoča akumuliranje številnih dreves in hkrati učinkovito podajanje vse do tanjših koncev dreves. Premišljeno načrtovana geometrijska zasnova podajalnih koles omogoča njihovo obračanje in s tem podaljšano življenjsko dobo (Lahtinen, 2011 cit. po Ponsse, 2011). Poleg omenjene prilagojene gradnje harvesterških glav in še nekaterih delov strojev za sečnjo so plantaže primeren poligon za uporabo namenskih avtonomnih strojev. Možni pozitivni vplivi uvajanja avtonomnih strojev so sledeči: povečevanje produktivnosti (6000 delovnih ur / leto), izločanje strojnikov - operaterjev kot ozkega grla (posledice stresnega dela iz vidika številnih ponovitev identičnih postopkov), zmanjševanje stroškov (strojnik predstavlja 30-40 % celotnega stroška delovne ure stroja za sečnjo) in okoljski vidiki (manjše poškodbe tal, zaradi nižje teže strojev in nižjih potovalnih hitrosti) (Höllestrom in sod. 2008).

Za primerjalni faktor smo poleg globalne primerjave porabe lesa vzeli še stopnjo mehaniziranega dela v gozdu po nekaterih razvitih državah. Danes je 50% lesa v svetu posekanega strojno (Asikainen in sod., 2009, cit. po Lahtinen, 2011), pri čemer mehanizirano sečnjo delimo v dve skupini: metoda kratkega lesa, ki zajema 35 %, in drevesna metoda, ki zajema 65 % strojno posekanega lesa (Asikainen in sod., 2009, cit. po Lahtinen, 2011). V industrijsko visoko razvitih evropskih državah je strojna sečnja daleč najpogostejša oblika pridobivanja lesa. Na Švedskem strojno posekajo okrog 98 %

(Asikainen in sod., 2011). Največjo rast so zabeležili med letoma 1970 in 1980, ko je delež strojno posekanega lesa zrasel iz začetnih 5 % na 75 % (Drushka in Kontinnen, 1997). Na Irskem in na Finskem pa ta delež znaša okrog 95 % lesa (Asikainen in sod., 2011). Nekoliko nižji odstotek, in sicer 60 % je v Nemčiji, na Češkem okoli 29 % (Dvorak, 2010), na Tirolskem pa zaradi izredne terenske razgibanosti strojno posekajo zgolj 10 % lesa. Za področje Evropske unije velja, da se deleži strojnega poseka lesa iz leta v leto povečujejo. Še posebej je to očitno v Italiji, Latviji na Češkem in Poljskem, kjer se je delež strojno posekanega lesa med letoma 2004 in 2008 povečal za nekajkrat (Asikainen in sod., 2009, cit. po Lahtinen, 2011). Slovenija se glede velikosti deleža s stroji posekanega lesa uvršča na zadnja mesta držav EU, saj smo leta 2008 s tehnologijo strojne sečnje posekali zgolj 7 % lesa (Beguš, 2010).



Slika 45: Primerjalni grafikon deleža strojno posekanega lesa v različnih državah za leti 2004 in 2008 (Asikainen, 2009)

5.4.2 Razvoj integriranih sistemov – združevanje funkcij strojev za sečnjo

Kot možen razvoj strojev za strojno sečnjo navajamo združevanje funkcij in operacij strojev, ki še danes obratujejo ločeno. S tem namenom so razvili kombinirane stroje za sečnjo. Le-ti posekan, okleščen in skrojen les nalagajo direktno na integrirano prikolico. Takšen integriran sistem omogoča zniževanje stroškov, krajše pravilne čase, čistejše sortimente in nižjo porabo goriva. Hkrati praktično izničimo možnost, da bi posamezni sortimenti ostali »pozabljeni« v gozdu (v primeru da jih forwarder ne pobere). Pozitivna

lastnost so tudi manjši stroški transporta naprav med delovišči. Namesto dveh v tem primeru transportiramo zgolj eno napravo. Omenjamo štiri potencialne sisteme vezane na tehnologijo kratkega lesa (cut-to-length).

Harwarder – naprava za strojno sečnjo in spravilo lesa je stroj s človeško posadko, ki združuje funkcijo stroja za sečnjo – harvesterja in polprikoličnega stroja za spravilo – forwarderja. Kot primer tovrstnega stroja navajamo 10-kolesni sečno-spravilni stroj (harwarder, 10 kolesni, 1750 »The Beauty«). Sodeč po opravljeni aktualni analizi trga, ki smo jo opravili v tej nalogi, je ponudba tovrstnih strojev v vzponu (glej poglavje: Kombinirani stroji za sečnjo in spravilo).



Slika 46: Deset-kolesni kombinirani stroj za sečnjo in spravilo The Beauty (Woodbusiness, 2016)

Neodvisni sistem za nakladanje (autonomoust load-changing ALC): harwarder naklada les direktno v integrirano prikolico. Ko je le-ta polna, avtonomni forwarder prejme signal za razkladanje in transport na kamionsko cesto.

Neodvisni sistem za direktno nakladanje (autonomous direct-loading ADL system): harvester podira in obdeluje les direktno v enega izmed dveh avtonomnih forwarderjev, ki samodejno pripeljeta les do kamionske ceste in ga raztovorita.

Daljinsko krmiljeno direktno nakladanje (en. Remote-controlled direct loading, RDL): sistem deluje po enakem principu kot ADL, le da dva forwarderja s človeško posadko daljinsko upravljata harvester brez človeške posadke (primer = Besten system, l.2006).

Sistema ADL in RDL štejemo v t. i. kategorijo Integriranega nakladanja forwarderjev (en. Integrated Forwarder Loading (IFL)). Glavni omejitvi tovrstnih strojev utegneta biti mrtvi (nedelovni) čas katere izmed naprav v delovni skupini ter visoka nabavna cena strojev. Za učinkovito in gospodarno izrabo takšnih delovnih skupin je potrebna optimalna organizacija dela in ustrezne/primerne sestojne razmere. Skandinavski strokovnjaki omenjajo, da sečno-spravljeni stroj (harwarder) daje pričakovane ekonomske rezultate v sestojih drobnega lesa in pri majhnih razdaljah do kamionske ceste (Bergkvist, 2007). V sestojih debelejšega lesa z daljšimi spravnimi razdaljami daje običajna delovna skupina harvester – forwarder boljše ekonomske rezultate.

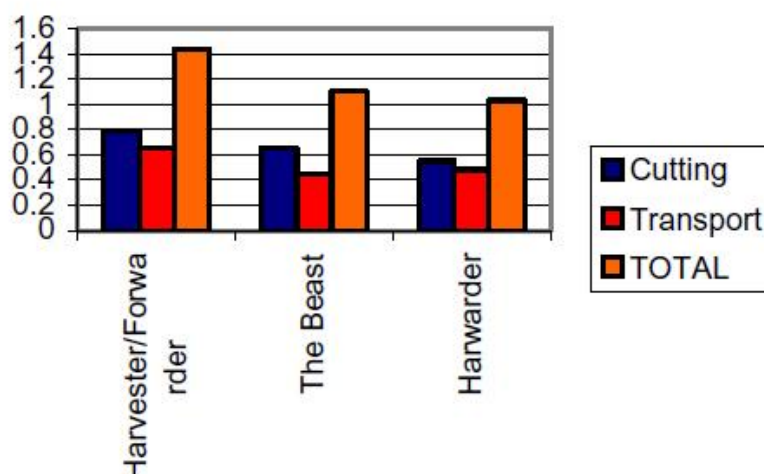
5.4.3 Energetska varčnost vseh uporabljenih naprav

Cilj slehernega proizvajalca je zmanjšati porabo goriva in s tem omogočiti nižji strošek na enoto proizvoda. Pri tem mora produktivnost ostati najmanj na enaki ravni oz. se mora še povečati. Proizvodnja alternativnih pogonskih goriv ni dosegla zastavljenega nivoja, medtem kot je proizvodnja toplotne in zelene energije v močnem porastu. Postavimo si cilj, da proizvodnja energije iz gozdnih proizvodov doseže vsaj takšno raven kot jo porabimo za pridobivanje lesa (Bregkvist in sod. 2007).

Pomemben vpliv na zmanjšanje porabe goriva imajo vgradnje najnovejših sistemov vbrizga s skupnim vodom (en. common rail), višji tlaki vbrizga, nadgradnje elektronike za nadzor časa vbrizga ter učinkoviteje prisilno hlajenje. Sodobni motorji so tako odzivnejši, razvijejo več moči, ta pa je dostopna v širšem območju vrtljajev motorja. Poleg nižje porabe goriva se to kaže v znižani stopnji izpustov in jakosti hrupa. Z razvojem in vgradnjo sodobnih konceptov iz avtomobilske gradbene industrije lahko gozdarska stroka kontinuirano optimizira svoje stroje. Sodeč po trendih iz avtomobilske branže lahko tudi v gozdarstvu pričakujemo vgradnjo motorjev z nižjo prostornino in manjšim številom valjev. Opremljeni bodo z vsaj dvema turbinama, kar bo izdatno vplivalo na porast moči. Obenem

je takšna zasnova motorjev lažja (skupna teža strojev!), proizvede manj izpustov in je varčnejša pri porabi goriva. Izkušnje kažejo (spremljanje proizvodov), da konstantno narašča specifična moč, hkrati pa se vgrajujejo vedno močnejši in učinkovitejši motorji (turbine, hladilniki vstopnega zraka, nadgradnje elektronskega vbrizga,...). Pri tem se gabariti strojev ne povečujejo.

Kot pomembna nadgradnja motorjev z notranjim izgorevanjem se kaže tudi vgradnja t. i. hibridnih pogonov. Na ta način dosegamo boljše zmogljivosti in energetske varčnosti. Takšne nadgradnje povečujejo kompleksnost strojev za sečnjo, z njimi pa so povezani tudi stroški vzdrževanja in višja nabavna cena. Ali nižja poraba goriva dejansko prinaša nižje končne stroške (ob upoštevanju vzdrževanja, amortizacije, nabavne cene), žal nismo uspeli raziskati.



Slika 47: Poraba goriva za različne kombinacije in skupine delovnih strojev (Bergkvist in sod., 2007)

5.4.4 Uporaba hibridne pogonske tehnologije

Zmanjševanje stroškov kot eden glavnih vidikov optimizacije gozdne proizvodnje vodi tudi v smer uporabe energetske varčnih pogonskih agregatov. Eden takšnih je uporaba hibridnega pogona, kjer se največkrat kombinira motor z notranjim izgorevanjem in elektro-motorji. Raziskali smo primer hibridnega forvarderja, znanega pod imenom "El-Forest" (proizvajalec: Elforest AB, Švedska, model: Forest 12). Ta stroj je opremljen z enim dizelskim motorjem moči 60kW in šestimi elektro-motorji (vsak po 30 kW). Dizelski

agregat obratuje pod konstantno obremenitvijo, elektro-motorji pa so nameščeni ločeno - za vsako kolo posebej. Ob vožnji po klancu navzdol elektro-motorji proizvajajo energijo. Raziskave na švedskem so pokazale, da takšen sistem omogoča 30 % manjšo porabo goriva (Bergkvist in sod. 2007).



Slika 48: El-Forest hibridni forwarder (Bergkvist in sod., 2007)

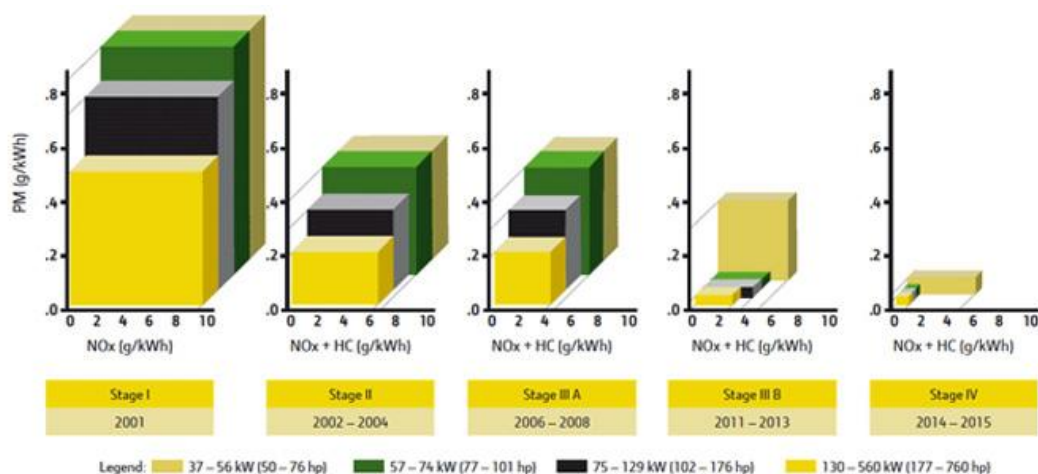
Tudi najnovejši stroji za sečnjo so danes že opremljeni s hibridnim pogonom. Povsem nov model hibridno gnanega stroja za sečnjo so pred nekaj meseci predstavili pri finskem proizvajalcu LOGSET. Model 12H GTE je trenutno najmočnejši stroj na trgu, saj v kombinaciji dizelskega (7,4 litrski agregat, stopnje emisij ustreza TIER4) in elektro pogona razvije 510 KM (380 kW) in 2000 Nm navora. Prednost takšnega pogona, katerega je razvilo finsko podjetje VISEDO, je poleg visoke nazivne moči tudi široko delovno območje vrtljajev, pri katerih je to moč možno izkoristiti. Proizvajalec navaja podatke o 25 % zmanjšani porabi goriva (13 litrov na obratovalno uro), 72 % prirastku moči in 54 % višjem navoru v primerjavi s strojem, ki ima nameščen dizelski agregat enake velikosti.



Slika 49: Hibrini harvester LOGSET 12H GTE je z močjo 380 kW trenutno najmočnejši sečni stroj na trgu (VISED, 2016)

5.4.5 Zmanjšanje emisij in vpliva na okolje

Vsi motorji - dizelski, bencinski, na propan ali zemeljski plin - proizvajajo izpušne pline, ki vsebujejo ogljikov monoksid (CO), hidro-karbonate (HC), trde delce (PM) in dušikove okside (NOx). S ciljem zmanjševanja vpliva na okolje so bile tako za cestni promet, kot tudi ne-cestni promet sprejete regulative dovoljenih emisijskih izpustov (John Deere, 2016).

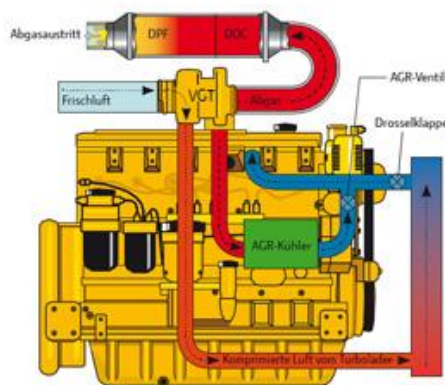


Slika 50: Regulative izpustov trdih delcev (PM) in dušikovih oksidov (NOx) za različne kategorije delovih strojev (John Deere, 2016)

V zgornji tabeli je razvidno, kako se je v več stopnjah po različnih kategorijah moči spreminjal dovoljen delež trdih delcev, dušikovih oksidov in hidrogen-karbonatov (vse v g/kWh).

Trend omejevanja in zniževanja največjih dovoljenih koncentracij izpustov se bo nadaljeval tudi v bodoče. Proizvajalci strojev za strojno sečnjo (in ostalo gozdarsko mehanizacijo) so zato na tem področju uvedli vgradnjo najsodobnejših komponent v motorje z notranjim izgorevanjem. Na tem mestu na kratko omenjamo nekatere ključne elemente motorjev z notranjim izgorevanjem, ki pripomorejo k zmanjšanim emisijam.

Katalizator (DOC - en. diesel oxidation catalyst) vgrajen v izpušni sistem motorja z notranjim izgorevanjem reagira ob stiku z izpušnimi plini ter s tem zmanjšuje delež izpuščenega ogljikovega monoksida, hidro-karbonatov in v manjši meri tudi delež trdih delcev. Filter trdih delcev DPF (en. diesel particulate filter), ki je vgrajen takoj za katalizatorjem, usmeri izpušne pline skozi porozne notranje stene, kjer se trdi delci "ujamejo". Nabrani delci pod vplivom visokih temperatur izpušnih plinov tam zgorijo (oksidirajo), avtomatski pasivni regeneracijski sistem čiščenja pa jih odstrani iz sistema.



Slika 51: Shematski prikaz izgorevanja izpušnih plinov sodobnega dizelskega motorja (John Deere, 2016)

5.4.6 Zanesljivost strojev in nižji stroški vzdrževanja

Zastoji zaradi rednega vzdrževanja oz. popravil predstavljajo dragocen čas, zato proizvajalci strojev za sečnjo temu namenjajo vse večjo pozornost. Premišljena namestitvev in konstruiranje hitro odstranljivih elementov občutno zmanjšujeta čas vzdrževanja. Na primeru finskega proizvajalca Rottne je bil optimiziran motorni prostor na način, da se pokrov motorja maksimalno odpira, oljni rezervoarji pa se umikajo na stran. Tako je mogoč enostaven in hiter dostop do večine glavnih motornih delov. Enako velja tudi za škatlo z varovalkami in releji (Rottne, 2016)

Tudi švedski proizvajalec naprav Ponsse navaja, da od leta 2015 z novimi - zmogljivejšimi in vzdržljivimi hidravličnimi komponentami omogoča podaljšane servisne intervale (iz 600 na 1200 ur ter iz 900 na 1800 delovnih ur).

5.4.7 Najem in trg rabljenih naprav

Področje najema naprav je v industriji že vrsto let ustaljena in zelo razširjena praksa. Ta opcija odpravlja potrebo po visokih začetnih investicijah, omogoča časovno prilagodljivo uporabo opreme, zmanjšuje poslovni riziko in je podprta s svetovalno in servisno mrežo najemodajalca. Ob razviti ponudbi imamo možnost optimalne izbire ustreznega stroja (glede na terenske in sestojne razmere, koncentracijo lesa za posek,...), nastali stroški pa so vezani na realizirane projekte in kasneje ne bremenijo podjetja. V primeru premajhnega obsega dela ali izgube posla je mogoča prekinitev pogodbe in s tem prekinitev stroškovnega bremena.

Že od samih začetkov (1996) v slovenskih gozdovih redno delajo najeti stroji iz tujine. V večini primerov gre za najem strojev s strojniki. Največkrat gre za namen sanacije snegolomov, vetrolomov, žledolomov in napadov podlubnikov, ko je potreben posek velikih količin lesa v zelo kratkem času. Na ta način se zagotavlja maksimalni vrednostni izkupiček, kar velja predvsem za iglavce.

Pogosta je tudi izposoja strojne opreme med domačimi izvajalci. Tako se izkoriščenost strojne opreme lahko bistveno poveča, strojniki in delovodje pa pridobivajo izkustva pri

delu v različnih sestojnih in terenskih razmerah. Praksa se je izkazala za uspešno predvsem v kombinaciji z odkupom lesa na panju s strani izvajalca del. Iz razloga slabe plačilne discipline se drugačnih načinov domači izvajalci tudi ne poslužujejo, prav tako pa izključujejo možnost oddajanja strojev za sečnjo brez lastnih strojnikov. Zaradi kompleksnega upravljanja ter dragega vzdrževanja v primeru napak in okvar bi takšen sistem predstavljal prevelik poslovni riziko (Pogačnik, 2016b).

Zainteresiranost za najem strojev za sečnjo so izkazali tudi slovenskih strokovnjaki. Glavne slabosti najema vidijo predvsem v tem, da ne omogoča hitrih reakcij in prilagajanja trgu. V primeru nastopa naravnih ujm in posledičnih velikih koncentracij lesa za posek se lahko zgodi, da strojev zmanjka, z lastno mehanizacijo pa lahko povsem avtonomno razpolagaš.

5.4.8 Laserska tehnologija

Razvoj laserskih naprav je v zadnjem desetletju v velikem vzponu. Uporaba v vojski, medicini, domala vseh vrstah industrij ter vsesplošna razširjenost tudi pri vsakodnevni uporabi nam kažejo učinkovitost, zanesljivost in varnost te tehnologije. Tudi v gozdarstvu se uporabljajo nekatere izvedbe laserskih naprav za merjenje razdalj in terensko lasersko skeniranje (en. airborne laser scanning). Številni primeri laserskih naprav za razrez različnih materialov se uporabljajo pri proizvodnji gozdarske mehanizacije. Gre za avtomatizirane rezalne sisteme, ki jih v zmogljivih 4 kW različicah uporablja tudi vodilni svetovni proizvajalec gozdarske opreme - John Deere. Poleg tega je laserska tehnologija primerna tudi za razrez lesa, kar nam postavlja izhodišče za bodoča vgrajevanja zmogljivih laserjev v stroje za strojno sečnjo. Zaradi, v naslednjem odstavku omenjenih prednosti sklepamo, da bo v prihodnjih desetih letih prišlo najmanj do poizkusov in raziskav na tem področju.

Prednosti rezanja z laserjem so predvsem v dejstvu, da pri rezanju z njim ni ostankov rezanja (žaganja). Ustvarja se manj hrupa v primerjavi z obstoječimi gozdarskimi tehnologijami. Vgradnja laserskega rezalnika v harvestersko glavo bi teže slednje še dodatno zmanjšala, kar pripomore k boljši stabilnosti in nižji skupni masi stroja.

Slabosti in omejitve laserske tehnologije so predvsem v veliki porabi energije, vprašanju omejevanja dosega laserskih žarkov in velikosti varnega delovnega območja takšnega stroja, saj pri delu ne želimo poškodovati sosednjih dreves, strojev in oseb v dosegu laserja. Nikakor pa ne smemo pozabiti tudi na skrb za preprečevanje požarov, saj se pri laserski tehnologiji ustvarja veliko toplotne energije, ki predstavlja vir za nastanek požara.

6 ZAKLJUČKI IN RAZPRAVA

Na podlagi uvodnih raziskovanj, opažanj in pridobljenih mnenj smo v nalogi postavili štiri glavne hipoteze. Glavno vodilo pri tem je predstavljajo preučevanje možnih vplivnih dejavnikov za prihodnji razvoj gozdarskih tehnologij. Osredotočili smo se predvsem na področje strojne sečnje in preučili možne scenarije za slovenske razmere kot tudi širše.

Želeli smo pokazati, da je nenehen razvoj gozdarskih tehnologij nujno potreben za sledenje trendom v sodobni družbi. Predvsem v razvitih državah je zainteresiranost za opravljanje težjih fizičnih del zelo majhna. Strojna sečnja stopnjo fizičnega dela močno zmanjšuje, ugotovljene pa so bile povišane psihološke obremenitve iz razloga stalno ponavljajočih se postopkov. Trendi povečevanja števila funkcij in možnosti opravljanja delovnih operacij s sodobnimi stroji za strojno sečnjo so močno povečali zahtevnost upravljanja teh strojev. Potrebna je vedno večja usposobljenost strojnikov, do izraza prihaja individualna kvaliteta. Domači delodajalci so ugotovili, da so za takšno delo primerni posamezniki z najmanj srednjo tehnično izobrazbo, zato je posledično dražja tudi delovna sila. Pri tem je potrebno poudariti, da delovni čas strojnikov pogosto presega normalni 40-urni delovnik, saj je izkoriščenost strojev največkrat na prvem mestu. Izbira primernih delovišč, dobra organizacija dela in zmogljivost modernih sečnih strojev nam omogoča doseganje nižjih stroškov na enoto proizvoda v primerjavi s katerokoli drugo dostopno tehnologijo. Razmere v sodobni družbi postavljajo ekonomske učinke na prvo mesto. Bili so močen vplivni faktor oz. povod za pojav strojne sečnje in bodo tudi v prihodnosti primarno vodilo razvoja te tehnologije. Norveški strokovnjak Ivar Samset je na tem področju razvil t. i. zakon diskontinuirane evolucije, ki z ekonomskimi (stroški na enoto proizvoda) in tehnološkimi (proizvodnost na delovno uro) parametri pojasnjuje zakonitosti razvoja. Čeprav je model star že več desetletij, velja še danes, s tem da dobivajo drugi (neekonomski) kompleksi dejavnikov čedalje pomembnejšo vlogo. Z ozirom na našete dejavnike lahko hipotezo, da je nenehen razvoj gozdarskih tehnologij nujno potreben za sledenje trendom v sodobni družbi, potrdimo.

Naraščajoča poraba lesa v svetu pomeni vedno večjo prisotnost in uporabo strojne sečnje. Na podlagi te hipoteze smo analizirali statistične podatke o globalni porabi lesa, trendu

gibanja površin plantažnih nasadov in deleže strojno posekanega lesa po posameznih državah za obdobje zadnjih 30 let. Pridobljeni podatki o globalni porabi lesa in površinah plantažnih nasadov so pokazali, da sta oba preučevana parametra v konstantnem porastu. Celotna poraba lesa v letu 2014 je znašala 3,7 milijarde m³, kar je 18 % več kot leta 1980, s tem da se je proizvodnja papirja, ki je leta 2014 znašala 400 milijonov ton, v primerjavi z letom 1980 povečala kar za 134 % (FAOSTAT-Forestry database, 2016). Hkrati so v možnem porastu tudi plantažni nasadi drevesnih vrst. Med letoma 2000 in 2010 je bilo po celem svetu osnovanih za 3 milijone hektarjev novih plantaž (FAO Global Forest Resources Assessments, 2011). Da smo hipotezo lahko potrditi, smo na drugi strani preučevali deleže strojno posekanega lesa po posameznih državah. Švedska (kot ena najbolj razvitih in tehnološko naprednih držav) je tako leta 1987 strojno posekala 22 %, pet let kasneje 55 %, leta 1992 pa že 72 %. Delež strojno posekanega lesa se je do leta 2009 povišal do 98 % (Košir, 1997 in Asikainen, 2009). Podobne podatke lahko zasledimo še na Finskem in Irskem, kjer danes več kot 95 % sečnje opravijo s stroji. V svetovnem merilu pa je delež strojne sečnje dosegel 50 % delež (Dvorak, 2010). Zaradi potrebe po učinkovitih tehnologijah pridobivanja lesa je trend uporabe strojne sečnje v svetu naraščajoč. Močno se razvija tudi področje uporabe lesne biomase in v povezavi s tem tudi napredne tehnologije. Možnosti in priložnosti za razvoj novih (malo raziskanih) področij izkoriščanja lesne mase (biodizel) pa je še dovolj. Na podlagi kazalnikov naraščajoče porabe lesa in plantažnih nasadov ter vzporedno naraščajočega deleža uporabe strojne sečnje v svetu, smo hipotezo potrdili.

Postavljena hipoteza, da prost pretok delovne sile v območju EU predstavlja močen vplivni dejavnik na razvoj strojne sečnje v Sloveniji, se je izkazala za pravilno. Opravili smo usmerjene intervjuje s petimi slovenskimi strokovnjaki na področju strojne sečnje. Za izbiro intervjuvancev smo postavili naslednje kriterije: večletne izkušnje (5+ let) in neposredno sodelovanje povezano s strojno sečnjo, geografska razpršenost (različni predeli Slovenije) ter pri tem upoštevali priporočila mentorja. Vsi so potrdili predpostavljeno tezo. Na podlagi njihovih preteklih izkušenj in kritične ocene današnjega stanja ob vzpostavljanju sistema za gospodarjenje z gozdovi v državni lasti se je izkazalo, da prost pretok delovne sile daje možnosti za konkurenčnost nekaterih domačih izvajalcev, ki ob slabši tehnični opremljenosti koristijo poceni delovno silo iz tujine. S tem se zmanjšujejo

možnosti uporabe sodobnih tehnologij, ki z razliko od uporabe klasičnih postopkov pridobivanja lesa, ponujajo pozitivne učinke z vidika varnosti, ergonomije, hitrosti in kvalitete izvedenih del. V trenutnih razmerah je ponudbena cena trenutno edini faktor izbire delodajalca. Preverjanje zmožnosti realizacije posla v zastavljenem roku in na predpisan način, kontrola kvalitete izvedenih del, poškodbe tal in stoječega drevja ter nenazadnje varnost delavcev pa so žal drugotnega pomena. Država je dolžna poskrbeti za ustrezne predpise, nadzor in sankcioniranje. Na ta način bomo dobili zdravo konkurenco, močno zmanjšali število težkih delovnih nesreč pri delu v gozdu in preprečili, da bi domači stroji ostali neizkoriščeni.

Glede na stopnjo avtomatizacije v številnih industrijski panogah in obstoječih raziskavah uporabe strojev za sečnjo in spravilo brez človeške posadke, smo v naslednji hipotezi predpostavili, da glavna raziskava in razvoja na področju tehnologije strojne sečnje temelji na avtomatizaciji postopkov. Na ta način bi bilo mogoče rešiti več ključnih problematik: možnost povečanja produktivnosti (6000 delovnih ur / leto/ stroj), izločanje strojnikov - operaterjev kot ozkega grla (posledice stresnega dela iz vidika številnih ponovitev identičnih postopkov), zmanjševanje stroškov (strojnik predstavlja 30-40 % celotnega stroška delovne ure stroja za sečnjo) in okoljske vidike (manjše poškodbe tal, zaradi nižje teže strojev in nižjih potovalnih hitrosti). Kljub temu da so poizkusi uvajanja avtomatiziranih postopkov v gozdarstvu stari že več kot desetletje (Hallonborg, 2003), se je dejanski trend razvoja pokazal v drugačni luči. Iz tega razloga smo postavljeno hipotezo zavrgli. Pritiski in zahteve po zniževanju stroškov pri sečnji in spravilu lesa vodijo v smer združevanja funkcij strojev za sečnjo in spravilo. Uporaba enega stroja s funkcijo sečnje in spravila je cenejša (št. operaterjev, poraba goriva, maziv, vzdrževanje) in ugodnejša tudi z vidika premikov med delovišči (potrebno je transportirati en stroj namesto dveh). Ob ugotovitvi, da je količina možnega poseka premajhna za zaposlitev kompletne garniture (harvester + forwarder), kombiniran stroj omogoča ekonomsko upravičeno uporabo tehnologije.

7 POVZETEK (SUMMARY)

7.1 POVZETEK

Pri strojni sečnji uporabljamo stroje različnih kategorij. Skoraj 60 let razvoja in nenehnih izboljšav nas danes pripelje do zaključkov, da delo v gozdu še nikoli ni bilo tako učinkovito, varno in na nek način tudi udobno. Danes je gozdarstvo pred novimi izzivi, ki jih narekujejo ekonomski, družbeno-politični in naravni pogoji. Zato strojna sečnja še naprej ostaja vodilo pri razvoju gozdarskih tehnologij.

V nalogi smo naredili kronološki pregled razvoja strojev za sečnjo s kratkim povzetkom obdobja tik pred nastopom strojne sečnje. Vire podatkov so predstavljale publikacije, izdane ob obletnicah vodilnih proizvajalcev gozdarske mehanizacije v svetu in nekateri zborniki, ki obravnavajo razvoj gozdarskih tehnologij na lokalni ravni. Številni prek spleta dostopni podatki in tiskani katalogi so nam omogočili podroben vpogled v aktualno stanje. Zelo pomembno je razumevanje stanja in okoliščin v zvezi z uvajanjem strojne sečnje v Sloveniji, pregled trenutnih razmer in možnih scenarijev za uporabo te tehnologije. Z izvajanjem usmerjenih intervjujev smo od petih domačih strokovnjakov pridobili mnenja in vpogled v praktična izkustva pri uporabi strojev za sečnjo v slovenskih gozdovih, ki so bistvenega pomena za poznavanje in razumevanje tega področja. Na področju terminologije strojne sečnje smo obravnavali nekatere izraze, ki nam pomagajo pri pravilnemu razumevanju obravnavane tematike. Izdelani in v nalogi dodan slovar je povzetek domačih in tujih terminoloških del.

Na podlagi zbranih podatkov, opazanj in mnenj smo v začetni fazi raziskovanja postavili štiri glavne teze. Želeli smo se prepričati, da je za sledenje trendom v sodobni družbi potreben nenehen razvoj gozdarskih tehnologij ter se pri tem še posebej osredotočili na razvoj strojne sečnje. S povečevanjem števila funkcij in možnosti opravljanja postopkov s sodobnimi stroji za strojno sečnjo se je močno povečala zahtevnost upravljanja teh strojev. Zato je potrebna vse večja usposobljenost strojnikov, višja izobrazbena stopnja in posledično dražja delovna sila. Izbira primernih delovišč, dobra organizacija dela in zmogljivost modernih sečnih strojev nam omogoča doseganje nižjih stroškov na enoto

proizvoda v primerjavi s katerokoli drugo dostopno tehnologijo. Predvsem v razvitih državah je zainteresiranost za opravljanje težjih fizičnih del zelo majhna. Strojna sečnja stopnjo fizičnega dela močno zmanjšuje, a hkrati zaradi monotonost dela, ob nenehnem ponavljanju operacij, prihaja hkrati do psiholoških preobremenitev in upada učinkovitosti dela. Razvoj avtonomnih ali daljinsko vodenih naprav za sečnjo in spravilo v praksi še ni dosegel stopnje praktične uporabnosti, a z ozirom na bliskovit razvoj elektronike, stopnjo avtomatizacije v številnih industrijskih panogah in na povečevanje potreb po sanacijah naravnih katastrof daje slutiti, da je to prava pot.

Analiza statističnih podatkov o globalni porabi lesa in površinah plantažnih nasadov je pokazala, da sta oba preučevana parametra v konstantnem porastu. Celotna poraba lesa v letu 2014 je znašala 3,7 milijarde m³, kar je 18 % več kot leta 1980, ob tem se je proizvodnja papirja, ki je leta 2014 znašala 400 milijonov ton v primerjavi z letom 1980 povečala kar za 134 % (FAOSTAT-Forestry database, 2016). Hkrati so v možnem porastu tudi plantažni nasadi drevesnih vrst. Med letoma 2000 in 2010 je bilo po celem svetu osnovanih za 3 milijone hektarjev novih plantaž (FAO Global Forest Resources Assessments 2000, 2005, 2010). S tem se povečujejo potrebe po uporabi sodobnih gozdarskih tehnologij, med katerimi je tudi strojna sečnja. Primeren dokaz so podatki o deležu strojno posekanega lesa, ki globalno predstavlja 50, v gozdarsko najrazvitejših deželah (Švedska, Finska) pa več kot 95 odstotni delež.

Sklepanje, da prost pretok delovne sile v območju EU predstavlja močan vplivni dejavnik na razvoj strojne sečnje v Sloveniji, se je izkazalo za pravilno. Opravili smo usmerjene intervjuje s petimi slovenskimi strokovnjaki na področju strojne sečnje, ki so tezo soglasno potrdili. Na podlagi njihovih preteklih izkustev in kritične ocene današnjega stanja ob vzpostavljanju sistema za gospodarjenje z gozdovi v državni lasti, se je izkazalo, da prost pretok delovne sile daje možnosti za konkurenčnost nekaterih domačih izvajalcev, ki ob slabši tehnični opremljenosti koristijo poceni delovno silo iz tujine. S tem se zmanjšujejo možnosti uporabe sodobnih tehnologij, ki z razliko od uporabe klasičnih postopkov pridobivanja lesa, ponujajo pozitivne učinke z vidika varnosti, ergonomije, hitrosti in kvalitete izvedenih del.

Na podlagi poznavanja stopnje avtomatiziranosti v številnih industrijskih panogah smo se želeli prepričati, da je težišče razvoja in raziskav sodobne strojne sečnje temelji na avtomatizaciji postopkov. Kljub temu, da so poizkusi uvajanja avtomatiziranih postopkov v gozdarstvu stari že več kot desetletje (Hallonborg, 2003), se je dejanski trend razvoja pokazal v drugačni luči. Pritiski in zahteve po zniževanju stroškov pri sečnji in spravilu lesa vodijo v smer združevanja funkcij strojev za sečnjo in spravilo. Predstavljene novitete na trgu (leti 2015 in 2016), prognostične študije strokovnjakov in aktualna smer razvoja multifunkcijskih harvesterov glav to potrjujejo.

Vsako novost spremlja tudi odpor, zato je nujno, da so nove tehnologije dovršene in da se vzporedno z njihovim uvajanjem seznanja tudi javnost. Skozi leta je strojna sečnja v Sloveniji, Evropi in svetu pri gospodarjenju z gozdovi zasedla pomembno mesto. Za v prihodnje pa je pomembno, da ji damo nove priložnosti ter z ustreznimi zakonodajnimi in organizacijskimi podlagami sprejemamo odločitve, ki omogočajo nadaljnji razvoj in bogatijo celotno družbo.

7.2 SUMMARY

In mechanized timber harvesting we use different types of machines. Through 60 years of development and continuous improvements we have arrived at a conclusion that work in the forests has never been so effective, safe and in a way also comfortable. Nowadays, forestry is facing new challenges, which are dictated by economic, socio-political and natural conditions. Therefore, mechanized timber harvesting is still a key factor for the development of forestry technologies.

In the thesis we have made a chronological overview of the evolution of mechanized timber harvesting with a brief summary of the period just before the onset of mechanized harvesting. Data sources were found in publications issued on the anniversaries of the world's largest manufacturers of forest machinery and in some collections of scientific papers discussing the development of forestry technologies at the local level. Many online accessible database and printed catalogs have enabled us a detailed insight into the current situation. It is very important to understand the circumstances of the implementation of mechanized harvesting in Slovenia, an overview of the current situation and possible scenarios for the use of this technology. Through targeted interview with five local experts we have obtained professional opinions and an insight into the practical experience in the use of harvesting machinery in Slovenian forests, which are crucial to understanding this theme. We have also discussed some terms in the field of mechanized timber harvesting that can help us understand the covered topic in an appropriate way. Designed dictionary is a summary of domestic and foreign terminology.

Based on the data provided, observations and opinions in the initial stage of our research we have formed four main hypotheses. We have wanted to establish if there is a need for continuous development of forestry technologies to follow the trends in modern society; for this reason we have focused particularly on the evolution of mechanized timber harvesting. By increasing the number of functions and potentials for managing modern machinery for mechanized harvesting, the complexity of controlling these machines has grown significantly. Hence there is a need for high competent engineer officers, higher level of education and consequently more expensive labor force. Compare to any other

available technology, choosing an appropriate working unit, good work organization and performance of modern harvesting machinery enable us to gain lower costs per unit of output. Interest in hard physical work is very low especially in developed countries. Mechanized timber harvesting can greatly reduce the level of physical work, but on the other hand it can also cause psychological stress and decrease work efficiency because of monotony of the work and constant repetition of operations. The evolution of autonomous or remotely controlled machines for woodcutting and skidding has not yet reached the level of practical usability. But with regard to the rapid development of electronics, degree of automation in a number of industries and increased need for natural disaster restoration, this could be an indicator that we are in the right path.

Statistical data analysis on the global consumption of wood and plantation areas has shown that both investigated parameters are in a constant rise. The total wood consumption in 2014 amounted to 3.7 billion m³ which is 18% more than in 1980. What is more, the paper production which amounted to 400 million tons in 2014 has risen 134% since 1980 (FAOSTAT-Forestry database, 2016). We can also notice the massive increase in the tree species plantation. Between year 2000 and 2010 there were planted 3 million hectares of new plantations worldwide (FAO Global Forest Resources Assessments 2000, 2005, 2010). All this increases the need for the use of modern forestry technologies which include also mechanized harvesting. Suitable evidence represents the data about the share of machine-harvested timber, which globally represents 50 percent; in the most forestry developed countries (Sweden, Finland) this share is even higher than 95 percent.

Our conclusion that the free migration of labor in the EU area is a strong influential factor in the evolution of mechanized timber harvesting in Slovenia has been correct. Based on their past experiences and critical assessment of the present situation, this thesis has been unanimously approved also by five Slovenian experts in the field of mechanized harvesting. During the process of establishing a system for management of state-owned forests, it turned out that the free migration of labor provides opportunities for the competitiveness of some domestic contractors. When having poor technical equipment they can benefit from cheap labor from abroad. This reduces the option of using modern

technologies, which, unlike the use of conventional processes for producing wood, provide positive effects in the area of work safety, ergonomics, speed and quality.

According to high level of automation in various industries we wanted to check if the focus of research and evolution of modern mechanized harvesting is based on the automation of processes. Despite the fact that the attempts of introducing automated processes in forestry dated back more than a decade (Hallonborg, 2003), the actual development trend went different way. The pressure and demands for reducing costs of woodcutting and skidding have led to combining of woodcutting and skidding machinery functions. This thesis was confirmed by presented novelties in the market (2015 and 2016), prognostic studies and current development directions of multifunctional harvester heads.

Each innovation is also accompanied by resistance, thus it is necessary for new technologies to be improved and the general public to be informed about it. Over the years the mechanized timber harvesting in Slovenia, Europe and the world has occupy an important place in forest management. For the future of mechanized harvesting, it is important to take new opportunities and decisions on the basis of appropriate legal and organizational standing, which will enable the further development of a field and enrich society as a whole.

8 VIRI

- Affenzeller G., Stampfer K. 2007. Comparison of Integrated with Conventional Harvester-Forwarder-Concepts in Thining Operations. V: Proceedings of the International Mountain Logging and 13th Pacific Northwest Skyline Symposium, Corvallis, Oregon: 32-38.
- Asikainen A., Röser D., Laitila J., Sikanen L. 2011. Feasibility of the Nordic forest energy harvesting technology in Poland and Scotland. Biomass and Bioenergy, 35: 4565–4569.
- Amishev D., Evanson T. 2011. "Walking Machines" in Forest Operations. Rotorua. Future Forest Research: 7 str.
- Beguš J. 2010. Uvajanje strojne sečnje v Sloveniji - zaveze in dosedanje izkušnje: prispevek na delavnici »Pogledi na rabo sodobnih tehnologij strojne sečnje«. Moravske Toplice, Zavod za gozdove Slovenije: 21 str.
- Bergkvist I., Löfgren B., Löfroth C. 2007. Emerging Techniques and Technologies to Keep Forestry Profitable Considering Global Environmental Impact. V: Proceeding of the International Mountain logging and 13th Pacific Northwest Skyline Symposium. Corvallis, Oregon: 2-6.
- Bergkvist I. 2007. Drivare i slutavverkning [Harwarders in final felling]. (Skogforsk, Resultat nr 15.). Uppsala, Skogforsk: 4 str.
- Bizjak S. 2011. Razvoj in uporaba motorne kose pri delu v gozdu: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 54 str.
- Brate T. 1994. Gozdne železnice na Slovenskem. Ljubljana, Kmečki glas: 170 str.
- Četina J. 2003. Analiza časov sečnje s strojem Valmet 911 na primerih krčitve gozda in redčenja: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 47 str.
- Debevc B. 2009. Strojna sečnja v gozdovih na Pokljuki 2009. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije: 10 str.
- Delavec J. 2003. Primerjava strojne in klasične tehnologije sečnje in spravila lesa: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 62 str.

- Diaci J., Magajna B. 2002. Nekatere predhodne gozdnogojitvene usmeritve pri uvajanju strojne sečnje v Sloveniji. V: Strojna sečnja v Sloveniji. 2002. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 33–47.
- Drushka K., Konttinen H., 1997. Tracks in the Forest. Helsinki, Timberjack Group: 254 str.
- Dvořák J. 2010. Operation time consumption of high-powered harvester in salvage felling. Wrocław, Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 13, 12: 11 str.
- Euromach S.r.l
<http://www.euromach.com/public/Products.aspx?Type=0> (21. julij 2016)
- Gozdno gospodarstvo Bled
<http://www.ggbled.si/sl/dejavnosti/secnja-in-spravilo-lesa.html> (28. julij 2016)
- Hellström T. 2009. Autonomous Forest Vehicles: Historic, envisioned, and state-of-the-art, International Journal of Forest Engineering 20, 1: 31-38.
- Intihar M. 2010. Značilnosti pnevmatik pri spravilu lesa za prilagojene kmetijske traktorje in forwarderje: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 59 str.
- Intihar M. 2014. Poškodbe tal po sečnji in spravilu s kombiniranim strojem HSM 805F: magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 139 str.
- Jandl M. A. 2016a. »Vprašalnik za slovenske strokovnjake na področju strojne sečnje«. Slovenj Gradec (osebni vir, 9. avgust 2016)
- Jandl M. A. 2016b. »Vprašalnik za slovenske strokovnjake na področju strojne sečnje«. Slovenj Gradec (osebni vir, 9. avgust 2016)
- Jež P. 2009. Razvoj tehnologije pridobivanja lesa v snežniških gozdovih. Gozdarski vestnik, 67, 5-6: 292- 295.
- Kastelic A. 2016a. »Vprašalnik za slovenske strokovnjake na področju strojne sečnje«. Novo mesto, GG Novo mesto (osebni vir, 12. avgust 2016)
- Kastelic A. 2016b. »Vprašalnik za slovenske strokovnjake na področju strojne sečnje«. Novo mesto, GG Novo mesto (osebni vir, 12. avgust 2016)
- Kencijan S. 2016. Sečnja in spravilo s kombiniranim strojem za sečnjo in spravilo lesa HSM 805F: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 73 str.

- Košir B. 1990. Prognoza tehnološkega razvoja gozdarstva Slovenije do l. 2000: elaborat. Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehniški fakulteti: 65 str.
- Košir B. 1997. Pridobivanje lesa (študijsko gradivo). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 330 str.
- Košir B. 2003. Tehnološke možnosti strojne sečnje v Sloveniji. Gozdarski vestnik, 61, 1: 30 str.
- Košir B. 2005. Majhni stroji za sečnjo. Gozdarski vestnik, 63, 1: 3-7.
- Košir B., Jež P. 2008. Sanacija sestojev po požaru na območju Komna. Gozdarski vestnik, 66, 4: 212-225.
- Košir B. 2016a. »Globalni trend razvoja namenskih in nenamenskih strojev za sečnjo«. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire (osebni vir, 23. maj 2016)
- Krč J., Košir B. 2002. Sestojne in terenske možnosti strojne sečnje v Sloveniji: elaborat. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 71 str.
- Krč J., Košir B. 2006. Stroški dela v različicah delovnih pogojev in izkoriščenosti strojev za sečnjo. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 75: 105-120.
- Krč J., Beguš J., Primožič J., Levstek J., Papler-Lampe V., Klun J., Mihelič M. 2014. Vodila dobrega ravnanja pri strojni sečnji. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 38 str.
- Lahtinen M. 2011. The Global Challenges of Harvesting and how the CTL Method can Respond to Them: graduation thesis. Mikkeli, Mikkeli University of Applied Sciences: 46 str.
- Lipoglavšek M. in sod. 2010. Lexyicon silvestre, Prima, secunda, tertia et quarta pars, Gozdarski slovar, 1.- 4. del. Ljubljana, Terminološka komisija Zveze gozdarskih društev Slovenije: 341 str.
- Malovrh Š., Košir B., Krč J. 2004. Analiza učinkovitosti učenja strojnika na stroju za sečnjo. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 75: 53-69.
- Manavakun N. 2014. Harvesting operations in eucalyptus plantations in Thailand. Vantaa, Finnish Society of Forest Science: 111 str.
- Mikec S. 2011. Spravilo lesa in pomlajenih sestojev na območju Novomeškega Roga: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 62 str.

- Parker R. 2009. Robotics for steep country tree felling. *Future forest research*, 2, 1: 6 str.
- Pentek T., Poršinsky T., Šušnjar M., Stankić I., Nevečerel H., Šporčić M. 2008. Environmentally Sound Harvesting Technologies in Commercial Forests in the Area of northern Velebit–Functional Terrain Classification. *Periodicum Biologorum*, 110, 2: 127–135.
- Pepke E. 2010. *Global Wood Markets: Consumption, Production and Trade*. Geneva, UNECE/FAO Timber Section: 54 str.
- Pogačnik F. 2016a. »Vprašalnik za slovenske strokovnjake na področju strojne sečnje«. Bled, GG Bled (osebni vir, 10. avgust 2016)
- Pogačnik F. 2016b. »Vprašalnik za slovenske strokovnjake na področju strojne sečnje«. Bled, GG Bled (osebni vir, 10. avgust 2016)
- Ringdahl O. 2011. *Automation in Forestry - Development of Unmanned Forwarders*: PhD Thesis (Umea University, Department of Computing Science). Umea: 26 str.
- Silversides C. R. 1997. Broadaxe to flying shear. V: *The mechanization of forest harvesting east of the Rockies*. Transformation series, 6. Ottawa, National museum of science and technology: 178 str.
- Turk Z. (ur.), 1980. *Slovar s področja pridobivanja gozdnih proizvodov in gozdnih komunikacij*. (srbskohrvatski, slovenski, makedonski, nemški, angleški). Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije: 287 str.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju prof. dr. Boštjanu Koširju za opravljene preglede, nasvete in potrpežljivost pri izdelavi diplomske naloge.

Prav tako se zahvaljujem, doc. dr. Juriju Marenčetu za pregled in dodane popravke ter prof. dr. Janezu Krču za recenzijo.

Posebna zahvala gre domačim strokovnjakom na področju strojne sečnje, ki so delili svoje znanje, mnenja in izkušnje ter tako znatno pripomogli k obogatitvi diplomskega dela (po abecednem redu): Anton Jakše, Mitja Alojz Jandl, Andrej Kastelic, Franc Pogačnik, Zvone Šolar.

Lektoriranje naloge in prevodi v angleški jezik so delo Eme Lapajne, za kar sem ji nadvse hvaležen.

Prijatelji in sošolci s fakultete. Hvala vam za vse nepozabne trenutke, izkušnje in majhne lumparije. Vedno se bom rad vračal med vas.

Dragi starši, Ema in Lena. Hvaležen se vam za razumevanje, potrpežljivost in materialno podporo v času študija ter da ste mi do konca stali ob strani.

PRILOGE

Priloga A: Preglednica kronološkega razvoja strojne sečnje in gozdarski tehnologij v povezavi s sečnjo in spravilom lesa (od leta 1950)

LETO	SLOVENIJA	EVROPA	SEVERNA AMERIKA
1950		Ösa nadgradi kmetijski traktor Volvo BM z pol-gosenicami	
1951			Na trgu se pojavi prvi kolesni traktor s prižemnimi čeljustmi (Westfall Performer, Oregon)
1953			Logger's dream, žični nakladalnik, ki so ga razvili pri Taylor Machine Works, Mississippi
1954		Iggesund na trg plasiral lupilno napravo Cambi	Hidravlične škarje za podiranje dreves - Tom Bush, Louisiana
1957		Prvi skandinavski namenski gozdarski traktor znamke Bamse, Švedska	Stroj za podiranje (feller-buncher) - Rudy Vit, Quebec
1958			Prvi nakladalnik z zgibno roko (knuckleboom loader), Leo Heikkinen, Wisconsin
1959		Hiab hidravlična nakladalna naprava	Busch Combine - prototip stroja za podiranje in krojenje
1960		Klatreape - naprava za kleščenje na stoječem drevju	Prve mobilne naprave za lupljenje, Norval Morey, Michigan
1961		Vit-ov sečno spravljeni stroj in Beloit harvester (stroj za sečnjo), Švedska	
1962			LRA naprava za kleščenje s kolesnimi podajalniki (feeding rollers)
1965		Prve čeljusti za podiranje (felling grapple) v Evropi- Grapenberg Forestry University	Prvi polno mehanizirani sistem za pridobivanje lesa (LogAll sečno spravljeni stroj in Arbomatik procesor), Logging Research Associates, Quebec
1966		Prvi švedski procesor, VSA Brunett	Hahn harvester - prvi stroj za kleščenje in krojenje, Ray Hahn - Hahn Harvester, Minnesota
1968			Agregat za podiranje montiran na zgibni roki, Erv Drott, Wisconsin

LETO	SLOVENIJA	EVROPA	SEVERNA AMERIKA
1970		Garpneven - zgibnik z glavo za podiranje in sedlasto transportno rampo, Anders Staaf, Švedska Logma - teleskopski stroj za kleščanje dreves v horizontalni legi	
1972		Pika 75 harvester - Sakari Pinomäki, Finska Daljinsko vodena naprava za kleščanje (premik debla skozi agregat za kleščanje je opravil vitel)	
1973		Prvi stroj za sečnjo s hidrostatskim pogonom - Ösa710 (stroj za podiranje)	
		Prvi skandinavski avtomatizirani merilni sistem (relejna tehnika)	
1975		NISK harvester - prototip nadgradnje kmetijskega traktorja s harvesterko glavo, Igland Mechanical Workshop	
1976			Hydro-Ax, stroj za podiranje ob drevesu (drive-to-tree) s hidrostatskim pogonom
1978		Prvi mikroprocesorski merilni sistemi	Gosenični stroj za podiranje na velikih strminah - Pat Crawford, Wisconsin
1979			Trikolesni stroj za podiranje - Irvin Bell, Morbark
1981			Koehring-Waterous kolesni stroj za podiranje, Quebec
1982			Stroj za kleščanje na zgibni roki, Tanguay, Quebec Koehring in FERIC razvijeta diskasti stroj za podiranje (disk saw)
1983		S21 - prvi enoprijemni harvester	
1985			Verižni lupilnik, Peterson, Oregon
1988		Avtomatski sistem za merjenje volumnov	
1992			Predstavljena prva generacija legendarnega Timberjack harvesterja 1270
1993			Prvi računalniško nadzorovani sistem za prenos moči na kolesa

LETO	SLOVENIJA	EVROPA	SEVERNA AMERIKA
1994	Prve demonstracije strojne sečnje v Sloveniji (blejsko območje)		
1995		Plustech predstavi Walking Machine	
1996	Sanacija snegoloma z uporabo strojne sečnje (GE Ravnik, Logatec)	Plustech razvije prvi simulator za strojno sečnjo	
2002	Prvi stroj za sečnjo v zasebni lasti (Moličnik, Savinjska dolina)		
2005		Združitev podjetij Timberjack Oy pod John Deere Forestry Oy	
2006		Predstavitev daljinsko vodenega stroja za sečnjo The Beast (John Deere, Švedska)	
2009	Urejen prvi pooblaščen servis in prodajno zastopništvo za stroje za sečnjo v Sloveniji		
2011		Vgradnja hidravličnega blaženja strojniške kabine (Komatsu Forest)	

Priloga B: Generacijski razvoj stroja za sečnjo Timberjack / John Deere, model 1270 (1992-2016)

PROIZVAJALEC	TIMBERJACK	TIMBERJACK	TIMBERJACK	TIMBERJACK	JOHN DEERE	JOHN DEERE
Model	1270	1270B	1270C	1270D	1270E	1270G
Leto predstavitve	1992	1997	2000	2002	2009	2014
OPIS						
Model hidravličnega žerjava	L190	L200	TJ 210 H 97	TJ 210 H 112	CH7	CH7
POGON						
Proizvajalec motorja	Perkins	Perkins	Cummins	John Deere	John Deere	John Deere
Model motorja	1006-6TW	1306-8T1	6CT8.3	HTJ 03	6080 Power Tech Plus	6090 Power Tech Plus
Stopnja emisij					Tier 4	Tier 4
Prostornina motorja (lit.)	6	7,6	8,3	8,1	9	9
Obrati motorja, rpm	2220	1800	2100	2000		1600-1900
Moč motorja - kW (HP)	128	152	163	160	170	200
Navor motorja, Nm	605 @ 1620 rpm	847 @ 1600rpm	872 @ 1500rpm	1100 @ 1400rpm	1120 @ 1200-1400 rpm	1315 @ 1200-1400 rpm
Tip pogona	6 x 6	6 x 6	6 x 6	6 x 6	6 x 6	6 x 6
Tip prenosa	Hidrostatsko-mehanski	Hidrostatsko-mehanski	Hidrostatsko-mehanski	Hidrostatsko-mehanski	Hidrostatsko-mehanski	Hidrostatsko-mehanski
Število osi	2	2	2	2	2	2
Standardne pnevmatike - spredaj	600/700 x 26,5	600/700 x 26,5	600/700 x 26,5	600/700 x 26,5	600/650/710/750 x 26,5	600/650/710/750 x 26,5
Standardne pnevmatike - zadaj	600/700 x 34	600/700 x 34	600/700 x 34	600/700 x 34	650/710/750 x 34	650/710/750 x 34
DIMENZIJE						
Dolžina osnovnega vozila, mm	7010	7070	7205	7400	7695	7695
Višina nad kabino, mm	3630	3643	3645	3700/3870 (niv. kab.)	3985	3810
Transportna višina, mm	3630			3700/3740 (niv. kab.)	3985	3810
Skupna širina, mm	2680/3000	2680/2860	2680/2860	2740/2860	2750/2960	2750/2960
Medosna razdalja, mm	3701	3701	3690	4050	4200	4170
Prehodnost, mm		624	625	625	640	650
Horizontalni doseg, m	10	10,3	10	11,8	10	11,7
KAPACITETE						
Prostornina rezervoarja za gorivo lit.	480	465	465	480	435	450
Prost. rezervoarja za hidravliko, lit.	230	250	190	300	300	300
Število alternatorjev	1	1	1	1	1 x 150A (28V)	1 x 150A (28V)
Ref. harvesterka glava	746B	746C	762C	H754	H752HD	H480C

Max. premer podiranja, mm	500	500	650	620	570	710
Max. premer kleščenja, mm	390	390	430	400	400	460
Hitrost pomika pri kleščenju, m/s			4,5	5	6	6,5
Pogonska sila pri kleščenju, kN	20,9	20,9	23,4-28	16-25,2	25,1-30,5	27-30
Potovalna hitrost, km/h	30	25	25	24	22	21
Napetost el. sistema, V	24	24	24	24	24	24
Črpalka	Črpalka za variabilnim polnjenjem	Črpalka za variabilnim polnjenjem	Črpalka za variabilnim polnjenjem	Črpalka za variabilnim polnjenjem	Črpalka za variabilnim polnjenjem in močjo	Črpalka za variabilnim polnjenjem in močjo
Prostornina črpalke, cm ³	130		175	190	190	190
MASA						
Delovna masa, kg	15200	15900	16900	17500	20500	20650
Masa - z referenčno glavo, kg	16200	16860	18170	18380	21450	22000

Vir: katalogi proizvajalca Timberjack / John Deere (1992-2014)

Priloga C: Vprašalnik za slovenske strokovnjake na področju strojne sečnje

1. Kdaj in kje ste se prvič srečali s tehnologijo strojne sečnje?
2. Kako se je skozi čas spremenil odnos slovenske gozdarske stroke do strojne sečnje?
(primerjava: začetki – danes)
3. V vašem podjetju ste leta xxxx kupili prvi stroj za sečnjo (model, tip, glava). Bi danes po letih uporabe ponovno kupili stroj te kategorije ali bi se odločili za drugačnega? (kratko utemeljiti zakaj eno ali drugo)
4. Kateri so bili glavni vplivni dejavniki pri nakupu vašega stroja za sečnjo?
5. Po vašem mnenju danes najboljši stroji za sečnjo in zakaj? (generalno – ni vezano na posamezen model)
6. Kateri sklop strojev za sečnjo ima danes, kljub skoraj 60-letni zgodovini strojne sečnje, največ pomanjkljivosti oz. kje so največje priložnosti za izboljšave?
7. Najpogostejše okvare strojev za sečnjo in razlogi za le te? (primeri iz prakse)
8. Kateri so najvplivnejši dejavniki, ki so privedli do uvedbe strojne sečnje (globalno) in kateri bodo najbolj vplivali na bodoči razvoj tehnologije?
9. Kdaj in ali sploh po vašem mnenju lahko pričakujemo uporabo avtonomnih ali daljinsko vodenih strojev v gozdarstvu in vidite možnost / priložnost za uporabo teh strojev v slovenskih gozdovih?
10. Na katerem področju in v kakšnih razmerah v Sloveniji premalo koristimo stroje za sečnjo?

11. Nakup ali najem stroja za strojno sečnjo? (vaše mnenje glede prednosti in slabosti posamezne smeri)
12. Kaj iz vidika strojne sečnje pomeni prost pretok delovne sile v Evropski uniji?
13. V kateri smeri vidite največje priložnosti slovenskega gozdarstva na področju strojne sečnje?
14. Kako bi lahko slovenska gozdarska stroka direktno sodelovala na področju strojne sečnje?
15. Kakšna je vaša prognoza razvoja strojne sečnje v svetu in kako bomo na tem področju ravnali v Sloveniji?

Pridloga D: Angleško – slovenski slovarček izrazov na področju strojne sečnje

ZAP. ŠT.	ANGLEŠKO	SLOVENSKO
1	bogie	dvojna os
2	chain (flail) debarker	verižni lupilni stroj; lupilni stroj z verigami
3	chipper-harvester	stroj za sečnjo z integriranim sekalnikom in zalogovnikom
4	clambunk	par hidravličnih čeljusti nameščenih na zadku pravilnega stroja
5	clear cut	golosek; posek vseh dreves na nekem območju
6	cut-to-length	tehnologija kratkega lesa (krojenje podrtga drevja je opravljeno na panju)
7	crawler tractor (caterpillar tractor)	goseničar; gosenični traktor
8	deberker	stroj za lupljenje; lupilni stroj
9	delimber	stroj za kleščanje; klestilni stroj
10	donkey	širok nabor strojev opremljenih z enim ali več žičnimi vitli za spravilo lesa
11	double-grip harvester	dvo-prijemni ali dvoglavi stroj za sečnjo
12	bucking	krojenje
13	dumper	razkladalnik; razkladalna priprava
14	feller	stroj za podiranje
15	feller buncher	stroj za podiranje in zbiranje
16	feller delimber	stroj za podiranje in kleščanje
17	feller forwarder	stroj za podiranje in spravilo (les ni v stiku s tlemi)
18	feller skidder	stroj za podiranje in spravilo (les je z enim ali obema koncema v stiku s tlemi)
19	felling cut	podžagovanje (pri podiranju)
20	felling head	glava za podiranje ali podiralna glava
21	forwarder	zgibni polprikoličar; zgibni polpriklopnik za spravilo lesa (pri tem les ni v stiku s tlemi)
22	forvester	stroj za sečnjo in spravilo
23	grapple	čeljust; prijemalo; prižemne čeljusti
24	grapple skidder	stroj za spravilo lesa s prižemnimi čeljustmi
25	half-track (semi-caterpillar)	pol-gosenice; gosenične verige za namestitev na kolesne stroje
26	harwarder	glej - forvester
27	harvester	stroj za sečnjo; stroj, ki opravi vse gl. delovne postopke pri sečnji; žetvenik (stroj za izkoriščanje

		gozdov)
28	harvester head	sečna glava s katero stroj za sečnjo podira, klesti, prežaguje drevje ipd.
29	joystick	upravljalna ročica (navadno v strojniški kabini ali daljinski kontrolni plošči) za kontrolo smeri gibanja
30	knuckleboom	hidravlična dvizna roka, ki simulira gibanje človeške roke
31	limbing; trimming; branching	kleščenje vej; obvejevanje
32	loader; loading-machine	nakladalni stroj
33	measuring wheel	merilni kolesček (za merjenje dolžin pri krojenju s harvesterko/procesorsko glavo)
34	processor	procesor; stroj za izdelavo; izdelovalni stroj
35	remote-control steering	daljinsko krmiljenje
36	scarifier	stroj za rahljanje gozdnih tal za pospeševanje pogozditve
37	shears (hydraulic shears)	škarje (hidravlične škarje) za podiranje in zbiranje lesa
38	single-grip harvester	eno-prijemni ali enoglavi stroj za sečnjo
39	skidder	stroj za spravilo lesa (z enim koncem ali v celoti po tleh)
40	stroke delimber	stroj za kleščenje z linearnim podajalnim vodilom
41	stump harvester	stroj za ruvanje panjev
42	thinning	redčenje
43	topping	odsek vrha drevesa; odžaganje vrha
44	tree-length	tehnologija dolgega lesa; drevesna metoda pridobivanja lesa

Viri za prilogo D: Turk, 1980; Drushka in Konttinen, 1997; Lipoglavšek, 2003; Lipoglavšek, 2010