



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO ZAŘÍZENÍ PRO ASANACI DŘEVA NAPADENÉHO LÝKOŽROUTEM

DESIGN OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR REMEDIATION OF WOOD INFESTED BY A BARK BEETLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Němec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Tomáš Němec**
Studijní program: Základy strojírenského inženýrství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh technologického zařízení pro asanaci dřeva napadeného lýkožroutem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na shrnutí aktuálních metod asanace stromů napadených lýkožroutem smrkovým a představení inovovaného řešení, které ušetří práci, čas a finance lesním hospodářům. Navrhované řešení spojuje dva procesy zpracování dřeva v jeden společný (odvětvování + asanace). V teoretické části práce je charakterizována inovace zařízení pro lesní stroje (harvestory). Součástí práce je návrh inovovaného technologického řešení pro asanaci napadeného dřeva. Práce je zakončena výsledným zhodnocením a porovnáním stávajících metod řešení asanace napadeného dřeva s nově navrženou metodou.

Cíle bakalářské práce:

Popis kůrovcové kalamity v Českých lesích.
Shrnutí možností asanace napadeného dřeva.
Racionalizace řešení technologie asanace napadeného dřeva.
Zhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené literatury:

HLÁSNY, T., KROKENE, P., LIEBHOLD, A., MONTAGNÉ-HUCK, C., MÜLLER, J. a kol. Život s kůrovcem: Dopady, výhledy a řešení. European Forest Institute. 2020. ISBN 978-952-5980-90-5.

MODLINGER, R., LIŠKA, J., KNÍŽEK, M., ADAM, D., JANÍK, D., HORT, L. Ochrana lesa před lýkožroutem smrkovým v ochranném pásmu lesních rezervách ponechaných samovolnému vývoji. Jíloviště: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. 2015. ISBN 978-80-7417-104-8.

ZAHRADNÍK, P., ZAHRADNÍKOVÁ, M. Katalog asanačních metod. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. 2019. ISBN 978-80-7417-184-0.

ZAHRADNÍK, P. Aplikace přípravků na ochranu lesa. Lesnická práce. 2. vyd. 2006. ISBN 80-86386-75-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh technologického zařízení pro asanaci dřeva napadeného lýkožroutem smrkovým. Hlavní myšlenkou navržené technologie je spojení harvesterové těžby s chemickou asanací pomocí postřiku. Tento inovativní přístup umožňuje zvýšení efektivity asanace a snížení nákladů v porovnání s tradičními metodami, jako je ruční odkornění nebo použití zádoových postřikovačů. Výsledky ukazují, že harvester zaručuje stejnoměrné pokrytí insekticidem na každém pokáceném stromu, čímž minimalizuje riziko nedostatečné asanace. Navržená technologie rovněž snižuje počet potřebných pracovníků pro asanaci, což přispívá k dalším úsporám nákladů a zvyšuje celkovou efektivitu procesu. Práce se dále zabývá technickými aspekty navrženého zařízení, včetně detailního popisu jednotlivých komponentů, jako jsou trysky, čerpadlo, nádrže a řídicí systém. Testování prototypu zařízení prokázalo jeho vysokou účinnost a spolehlivost v různých pracovních podmínkách. Kromě technických přínosů práce, také zdůrazňuje ekologické výhody navrženého řešení, které minimalizuje negativní dopady na životní prostředí díky přesnému dávkování chemických látek a snížení potřeby ruční manipulace s napadeným dřevem. Celkově lze konstatovat, že navržené řešení je nejen ekonomicky výhodné, ale také technicky a ekologicky přínosné, a mělo by významně přispět k ochraně českých lesů před kůrovcovou kalamitou.

Klíčová slova

asanace dřeva, lýkožrout smrkový, harvester, chemická asanace, technologické zařízení, ekologie

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the design of technological equipment for the sanitation of wood infested by the spruce bark beetle. The main idea of the proposed technology is the combination of harvester logging with chemical sanitation using spraying. This innovative approach allows for increased sanitation efficiency and reduced costs compared to traditional methods such as manual debarking or using backpack sprayers. The results show that the harvester ensures uniform coverage of insecticide on each felled tree, thereby minimizing the risk of inadequate sanitation. The proposed technology also reduces the number of workers needed for sanitation, which contributes to further cost savings and increases the overall efficiency of the process. The thesis further addresses the technical aspects of the proposed equipment, including a detailed description of individual components such as nozzles, pumps, tanks, and control systems. Testing of the prototype demonstrated its high efficiency and reliability under various working conditions. In addition to technical benefits, the thesis also highlights the ecological advantages of the proposed solution, which minimizes negative impacts on the environment through precise dosing of chemicals and reduced need for manual handling of infested wood. Overall, it can be concluded that the proposed solution is not only economically advantageous but also technically and ecologically beneficial, and it should significantly contribute to the protection of Czech forests from the bark beetle calamity.

Keywords

wood sanitation, bark beetle, harvester, chemical sanitation, technological equipment, ecology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NĚMEC, Tomáš. *Návrh technologického zařízení pro asanaci dřeva napadeného lýkožroutem* [online]. Brno, 2024. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157820>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Josef Sedlák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh technologického zařízení pro asanaci dřeva napadeného lýkožroutem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V Brně, 22.5.2024

místo, datum

Tomáš Němec

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval doc. Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D., za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji hraběti Constantinu Kinskému za finanční podporu tohoto projektu, dále svému otci Ing. Ivu Němcovi za celkovou podporu při všech částech tohoto projektu. Mé poděkování patří také Petru Špičkovi za propůjčení jeho harvestoru k prototypovým zkouškám, společnosti Wstec s.r.o. za pomoc při tvorbě druhého zařízení a Ing. Renému Andrešovi za podporu ze strany společnosti Arcon Machinery a.s.

Zvláštní poděkování patří mé rodině za jejich neustálou podporu, pochopení a motivaci během celého mého studia.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	10
1 POPIS KŮROVCOVÉ KALAMITY V ČESKÝCH LESÍCH	11
2 SHRnutí MOŽNOSTÍ ASANACE	16
2.1 Mechanická asanace	16
2.2 Chemická asanace	18
3 RACIONALIZACE ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE ASANACE NAPADENÉHO DŘEVA ..	21
3.1 Popis jednotlivých komponentů	22
4 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ	30
ZÁVĚR	33

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

ÚVOD

Kůrovcová kalamita, která v posledních letech zasáhla české lesy, představuje jeden z nejzávažnějších problémů v oblasti lesního hospodářství. Lýkožrout smrkový, hlavní škůdce způsobující tuto kalamitu, napadá oslabené stromy a při přemnožení dokáže zničit i zdravé porosty. Následkem jsou rozsáhlé oblasti suchých stromů, které nejen že výrazně mění krajinný ráz, ale také způsobují značné ekonomické škody a ekologické problémy. Zhoršující se klimatické podmínky, zejména dlouhá suchá a teplá léta, navíc vytvářejí optimální podmínky pro další šíření tohoto škůdce.

K tvorbě této bakalářské práce mě vedla potřeba nalézt nové řešení pro asanaci dřeva napadeného kůrovcem, které by spojovalo moderní technologie s praktickými potřebami lesního hospodářství. Mým cílem bylo vyvinout zařízení, které by nejen zvýšilo efektivitu asanace, ale také snížilo náklady a minimalizovalo negativní dopady na životní prostředí. Po důkladném zkoumání různých metod a technologií, jsem se rozhodl zaměřit na integraci harvesterové těžby s chemickou asanační pomocí postřiku.

Tato práce je výsledkem mého úsilí a odhodlání přispět k ochraně českých lesů před dalším šířením kůrovcové kalamity. Věřím, že navržené řešení může poskytnout cenný přínos nejen pro lesníky a majitelé lesů, ale také pro širší společnost, která si uvědomuje význam zdravých a udržitelných lesních porostů. Děkuji všem, kteří mě v tomto úsilí podporovali a poskytli mi cenné rady a informace.

1 POPIS KŮROVCOVÉ KALAMITY V ČESKÝCH LESÍCH

První známky kůrovcové kalamity se v České republice začaly projevovat již před 20 lety. Prvotní výskyt kalamitního stavu byl vyhodnocen na severní Moravě odkud se postupně přesouval směrem na západ. Kalamita postupem času gradovala, viz obr. 1, největší projevy byly mezi velmi teplými a suchými roky 2014 až 2018. Nyní kalamita zeslábla, ale stále ještě neskončila. Díky této kalamitě se výrazně změnila krajina v České republice. Lesním hospodářům, kteří jsou nuceni přehodnocovat již zažité lesní postupy způsobila značné škody.[1]

Kůrovec

Kůrovci jsou skupina brouků z čeledi nosatcovití. V posledních letech jsou však jako kůrovci zjednodušeně označováni lýkožrout smrkový, popř. jeho další dva jmenovci lýkožrout severský a lýkožrout lesklý. V médiích je často zmiňován kůrovec, avšak je téměř jisté, že je myšlen právě lýkožrout.[2]

Lýkožrout smrkový

Lýkožrout smrkový, viz obr. 2 je tmavě hnědý lesklý brouk, jehož zbarvení může být až téměř do černa. Jeho charakteristickými rysy jsou jeho tmavé zbarvení, délka cca 4,5 mm, odstáté zlatavé chloupky a useknutá záď krovek. V Evropě, s výjimkou Středomoří, patří lýkožrout smrkový k velmi významným škůdcům. Lýkožrout smrkový nepáchá škody pouze v Evropě. Značné škody působí i ve smrkových lesích na Sibiři a v severní Číně.[3]



Obr. 1 Krajina po kůrovcové kalamitě [4].



Obr. 2 Lýkožrout smrkový [3].

Lýkožrout smrkový nejčastěji napadá oslabené stromy, jako jsou např. polomy nebo dřevo z těžeb. Lehkým cílem pro lýkožrouta smrkového jsou také stromy silně stresované suchem nebo z jiných příčin odumírající stromy. Při přemnožení lýkožrout smrkový napadá i zdravé stromy, ve kterých se dále rozmnožuje. Zdravé stromy nejsou pro lýkožrouta smrkového snadným cílem. Pokud má zdravý strom dostatek vláhy, tak se snaží lýkožrouta smrkového tzv. zasmolit, čímž se snaží lýkožrouty smrkové pod svojí kůrou vyhubit. V kalamitním stavu je při náletu na strom tolik lýkožroutů smrkových, že jim i zdravý strom podlehne. Pokud lýkožrout smrkový napadne zdravý strom a způsobí jeho odumření, tak kvalita dřevní hmoty není při včasné zpracování nějak zhoršena.[6; 7]

Životní cyklus lýkožrouta smrkového

Životní a rozmnožovací cyklus lýkožrouta smrkového je velmi ovlivněn počasím. Přes zimu prezimují pouze dospělí brouci. Pokud je mírná zima, přežijí i larvy, viz obr. 3, a kukly, které postupně dospívají nebo hynou. Na jaře, po úspěšném přežití zimy, lýkožrout smrkový hledá vhodné stromy pro tzv. žír (potravu) a rozmnožování. Zimoviště nejdříve opustí samečci, kteří následně hledají vhodné stromy. Jakmile najde sameček lýkožrouta smrkového vhodný strom, tak se zavrtá do jeho lýka a začne vytvářet tzv. snubní komůrku, viz obr. 5. Do snubní komůrky samečci lákají samičky pomocí svých feromonů (voňavých látek). Na jednoho samečka může připadnout až pět samiček.

Při přilákání samičky do snubní komůrky nastává mezi lýkožrouty páření. Jakmile je páření u konce, samička začne hloubit chodbu, do které klade vajíčka. Vajíčka jsou kladena po stranách chodby. Do jedné chodby samička naklade 30 až 50 vajíček. Z těchto vajíček se po několika dnech líhnou larvy, které se postupně zvětšují a vykusují čím dále větší chodbu, na jejímž konci se zakuklí. Po stádiu kukly nastává další stádium lýkožrouta smrkového, tzv. mladí brouci, viz obr. 4. Přechod mezi těmito stádii trvá zhruba jeden týden. Mladí brouci, které lze na první pohled rozeznat díky jejich světle žlutému zbarvení, přijímají pod kůrou stromu cca dva týdny potravu, pohlavně dospívají a tmavnou. Po zhruba dvoutýdenním cyklu dospívání se z mladých brouků stanou dospělci, kteří již mají dostatek síly pro vylétnutí a napadení dalších stromů. Tento cyklus se může při příznivých klimatických podmínkách což je teplo a sucho opakovat až třikrát ročně.[3; 5; 6]



Obr. 3 Stádium larva [6].



Obr. 4 Stádium mladí brouci [6].

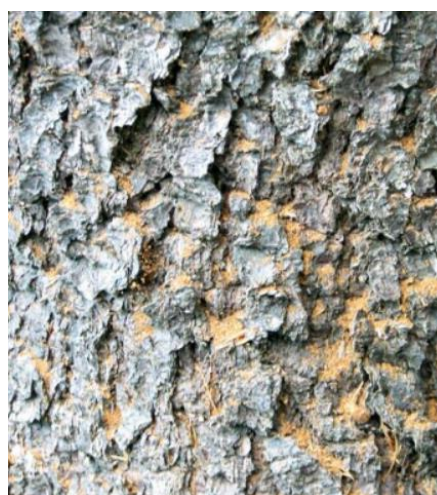
Symptomy stromů napadených kůrovcem

Prvním příznakem u kůrovcem napadených stromů jsou výrony pryskyřice na kmenu stromu při zalévání (obrana stromu) nalétávajících samečků. Výrony pryskyřice však nemusí být pouze příznakem pro výskyt kůrovců, protože při překonání obranyschopnosti stromu, strom přestane vytvářet pryskyřicové výronky, a proto je zapotřebí si tento příznak důkladně ověřit. Dalším příznakem stromu napadeného kůrovcem jsou závrtky na kmenech a s tím spojené rezavé drtinky, které je možno spatřit za šupinami kůry u paty kmene, viz obr. 6. Tyto drtinky jsou patrné i po dešti. Velmi velkou výhodou je, že i po deštích nedochází k úplnému smyvu drtinek. U již pokácených stromů se drtinky objevují hned vedle závrtů. U stromů s těmito příznaky lze očekávat, že jsou napadené. Pokud je u těchto stromů odstraněna část kůry, je zde možné nalézt typické požerky lýkožrouta smrkového. Při hledání stromů napadených kůrovcem je možné využít sledování ptáků, kteří hledají kůrovce jako svoji potravu. U napadených stromů

lze pozorovat barevné změny jehličí, které začíná reznout a postupně odpadávat. Rychlost zbarvení a odpadávání jehličí závisí převážně na srážkách, množství vláh a vitalitě stromu. K této změně dochází zpravidla při dokončení vývojové fáze lýkožrouta smrkového. Zhruba ve stejné době začíná opadávat kůra v místech primárního náletu. Tyto dva příznaky (ptáci, odpadávající kůra) se však objevují pozdě, což znamená, že nepomáhají k nálezu stromů vhodných pro asanaci. Při nálezu takovýchto stromů lze odhadnout, že k výletu kůrovců do dalších stromů zbývá pouze pár dnů.[3; 7; 8]



Obr. 5 Snubní komůrka [8].



Obr. 6 Drtinky za šupinami kůry [8].

Hranice kalamitního stavu

Ve smyslu vyhlášky MZe ČR č. 101/1996 Sb., v § 3 je 1. smrkový považován za kalamitního škůdce. V příloze této vyhlášky je pro něj stanoven [3]:

základní stav – je takový početní stav lýkožroutů, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího, roku v průměru nedosáhl 1 m³ na 5 ha smrkových porostů a nedošlo k vytváření ohnisek;

zvýšený stav – je takový početní stav, kdy objem kůrovcového dříví v průměru překročil 1 m³ na 5 ha smrkových porostů a došlo k vytvoření ohnisek; tento stav upozorňuje na možnost přemnožení;

kalamitní stav – je takový početní stav, který způsobuje rozsáhlá poškození porostů na stěnách, příp. vznik rozsevů uvnitř porostů.

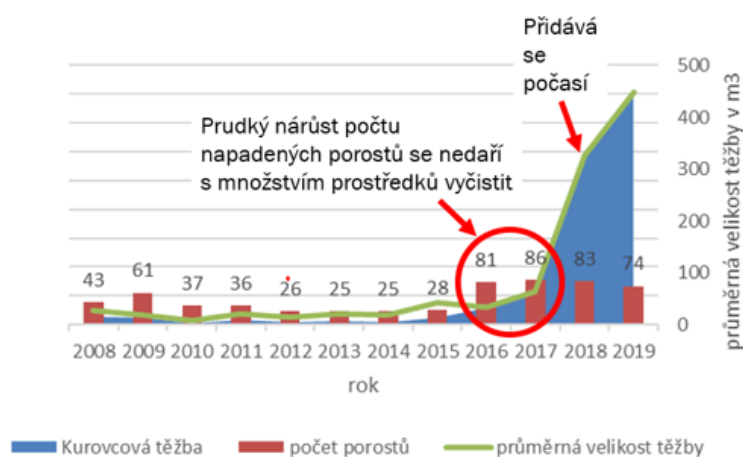
Kalamitní stav v České republice

Podle odborníků začala současná kůrovcová kalamita již v roce 2003. První etapou současné kůrovcové kalamity se dá označit období mezi lety 2003 až 2004. Mezi těmito lety bylo extrémní sucho a velmi dlouhé léto v roce 2003. Druhou etapou může být označeno období mezi lety 2007 až 2010. V tomto období se přes Českou republiku přehnal orkán Kyrill, který značně zdevastoval velkou část lesů, nejen v České republice. Tento orkán poškodil přes 10 mil. m³ dřeva a vyžádal si 5 lidských obětí. Třetí etapu nastartovalo mimořádné sucho v roce 2015. Mezi lety 2003 až 2017 bylo zaznamenáno zhruba 20 mil. m³ kůrovcového dřeva. V roce 2018 byla těžba kůrovcového dřeva odhadnuta na 15 až 20 mil. m³. Podle Českého statistického úřadu bylo v roce 2019 vytěženo přes 22 mil. m³ kůrovcového dřeva a dalších cca 5 mil. m³

zůstalo v lesích nevytěženo. V roce 2019 byly škody kůrovcem napadeného dřeva vyčísleny na 40 miliard korun. Následující rok 2020 přesáhl rekordní těžbu z předešlého roku. Těžba kůrovcového dřeva vzrostla o cca 4 mil. m³ na rekordních 26 mil. m³ dřeva. V roce 2021 kůrovcová kalamita začíná slábnout. Za tento rok klesla těžba kůrovcového dřeva na cca 18 mil. m³. Podle zástupců think tank Czech Forest se stále jedná o desetinásobek průměrné těžby z let 1990–2015. Následující rok 2022 klesla těžba kůrovcového dřeva na 11,5 mil. m³ dřeva.[9; 10; 11; 12]

Počátek poslední fáze kalamity

Pro vyjasnění je v tomto odstavci shrnut počátek poslední fáze kůrovcové kalamity. Extrémní sucho a vysoké teploty v roce 2015 a 2016 umožnily lýkožroutu smrkovému velmi dobré podmínky pro jeho život a rozmnožování. V roce 2016 se oblastní revírní výskyt lýkožrouta smrkového zvýšil téměř třikrát, viz obr. 7. Z důvodu rapidního nárůstu počtu napadených porostů, klimatických podmínek, nedostatku lesního personálu a nedostatku techniky pro kalamitní stav se lýkožrout smrkový šířil čím dál rychleji. K téměř celorepublikovému rozsahu napomohl transport napadeného dřeva bez ošetření, tzn. převoz napadeného a neošetřeného dřeva na otevřených návěsích kamionů. Při takovémto převozu napadeného dřeva z lesa ke kupcům bylo umožněno výletu lýkožrouta smrkového z návěsů kamionů do lesů podél transportních tras. Tento aspekt hrál velkou roli při celoplošném šíření lýkožrouta smrkového. [9; 10; 11; 12]



Obr. 7 Graf těžby z revíru Černá Hora [13].

Kvalita napadeného dřeva

V letech 2018 a 2019 klesla cena dřeva na minimum. Tento rapidní pokles ceny vyvolal mezi majiteli lesů mnoho otázek ohledně kvality dřeva napadeného kůrovcem. Je lepší napadené stromy nechat stát v lese anebo pokácet a uskladnit na lesních skládkách? Toto byla jedna z nejčastějších otázek mezi lety 2018 a 2019. Většina obchodovatelného jehličnatého dřeva v Evropě je právě z kůrovcové těžby, a proto je třeba se kvalitou a mechanickými vlastnosti tohoto dřeva více zabývat.

Ztráta kvality a napadení dřeva nemusí být spolu vždy spojené. Změna struktury dřevní hmoty a rozdíl v mechanických vlastnostech napadeného dřeva není zpravidla pro každý napadený strom stejná, ale závisí na mnoha faktorech. Vlastní činnost lýkožrouta smrkového a kvalita dřevní hmoty spolu příliš mnoho nesouvisí. Lýkožrout smrkový poškodí (vyžere) pouze povrch bělového dřeva, tj. lýko, čímž způsobí úmrtí stromu. Velmi významnou roli hrají při snižování kvality a mechanických vlastností napadeného dřeva dřevokazné a dřevozbarvující houby. Při

napadení stromů těmito houbami, hraje rapidní roli doba působení těchto hub. Čím déle dřevokazné a dřevozbarvující houby na napadený strom působí, tím více se snižuje kvalita s mechanickými vlastnosti dřeva. V některých případech zkoumání stromů napadených houbami, bylo zjištěno, že kvalita a mechanické vlastnosti dřevní hmoty se u smrku ztepilého začíná zhoršovat až po třech letech působení hub.

Pokud nejsou výrazně sníženy mechanické vlastnosti a kvalita napadeného dřeva, není problém toto dřevo použít pro stavební účely. Některé současné výzkumy dokonce naznačují, výhodnost použití dřeva napadeného dřevokaznými a dřevozbarvujícími houbami do některých technologických postupů zpracování dřeva, jako jsou např. lepení dřeva. Ze studií vyplynulo, že při průmyslovém sušení takto napadeného dřeva vzrůstá volná povrchová energie a zároveň se snižuje kontaktní úhel mezi vodou a povrchem dřeva. Tyto dva poznatky mají veliký podíl na zvýšení pevnosti lepeného spoje při výrobě kompozitních materiálů na bázi dřeva. Tyto výhody nejvíce zasahují výrobu dřevotřískových desek, OSB desek a překližek.

U napadeného dřeva byly dále zjišťovány změny hodnot pevností v tahu a tlaku podél vláken v závislosti na době ponechání napadeného stromu v lesním porostu. Hodnoty pevností v tahu, tlaku a příslušných rozdílů mezi dobou napadení lýkožroutem a příslušnými roky po napadení jsou zaznamenány v tab. 1. Výzkum prokázal výrazné rozdíly v době ponechání napadeného stromu v lesním porostu na mechanické vlastnosti dřeva. Z těchto hodnot viz tab.1 lze zhotovit závěr, že čím delší dobu je napadené dřevo necháno nepokácené v lesním porostu, tak tím horší mechanické vlastnosti u něj lze očekávat.[14]

Tab. 1 Rozdíly v pevnostech v tahu a tlaku u napadeného dřeva [14].

Doba od napadení [rok]	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Rozdíl pevnosti v tahu [%]	Rozdíl pevnosti v tlaku [%]
0	93,8	46,1	0	0
1	83,6	38,4	10,9	16,7
2	81,7	37,4	12,9	18,9
3	80,7	29,7	14	35,6

2 SHRNUTÍ MOŽNOSTÍ ASANACE

Správná asanace je jednou z nejdůležitějších činností při omezení a ochraně lesů před lýkožroutem smrkovým. Po nalezení napadeného stromu je velmi důležité zamezit výletu vyvinutým a doposud nevylíhlým broukům, kteří se chtějí dále množit a napadnout další zdravé lesní porosty. Metod asanace je mnoho a každá má svoje výhody a nevýhody. [15]

2.1 Mechanická asanace

Mechanickou asanací stromů napadených lýkožroutem smrkovým se rozumí mechanické odstranění a následné spálení kůry napadených stromů.

Ruční odkornění

Tato metoda asanace spočívá v odstranění kůry napadených stromů pomocí ručního škrabáku, viz obr. 8. Odkornění ručním škrabákem je téměř stoprocentně účinné, ale je velmi náročné a pracné. Denně se touto metodou zvládnou zpracovat pouze jednotky m³ napadených stromů.

Lesní pracovníci musí napadené kmeny odkornit celoplošně tzn. musejí s nimi manipulovat a namáhavě je otáčet. Množství asanovaného dřeva touto metodou závisí na objemu asanovaných kmenů, kvalitě odvětvení a zaschnutí odstraňované kůry. Odkornění pomocí ručního škrabáku není efektivní, pokud se pod kůrou začnou objevovat kukly a následně více či méně vyzrálí jedinci. Více či méně vyzrálí brouci jsou při vyšších teplotách schopni ihned po odkornění odlétnout do jiných stromů. Při nižších teplotách jsou brouci a částečně i larvy schopni zalézt do lesní hrabanky, kde vyčkávají na lepší klimatické podmínky.

Doporučené spálení oškrabané kůry či odkornění na plachtu má téměř nulovou efektivitu. Za dobu odstranění kůry a přípravu na její spálení se většina brouků dokáže přemístit z odstraněné kůry do jiných stromů. [15; 16]



Obr. 8 Použití ručního škrabáku [17].

Odkornění pomocí adaptéru pro motorovou pilu

Tato metoda využívá k odstranění kůry napadených stromů speciální adaptér, viz obr. 9, který se připevní na motorovou pilu. Tento adaptér se bohužel nedá připevnit na jakoukoliv motorovou pilu. Adaptéry jsou konstruovány spíše na profesionální pily, které mají větší výkon motoru což může být problém u menších vlastníků, kteří mají pouze „hobby“ pily, které jsou dostačující pro drobnou těžbu a odvětvování, ale nemají dostatečný výkon pro využití této technologie. Při profesionálním použití je zapotřebí, aby obsluha motorové pily měla osvědčení pro práci s motorovou pilou a pravidelné školení BOZP. [18]

Použití této metody je efektivnější než odkornění pomocí ručního škrabáku. Při odkorňovacím procesu adaptér odstraňuje kůru, a navíc poškozují těla jednotlivých lýkožroutů, kteří následně hynou. Ideální použití této metody je pro základní a zvýšený stav, kdy není množství napadeného dřeva příliš vysoké. [15; 18]



Obr. 9 Použití adaptéru pro motorové pily [17].

Odkornění pomocí harvestoru

Inovativním řešením předchozí metody je použití speciálně upravené hlavice harvestoru, viz obr. 10. Harvestory v lesích kácí, odvětvují a krátí stromy. Tato metoda spočívá v úpravě sériové harvesterové hlavice, aby navíc kromě běžného použití zároveň odkorňovala napadené stromy. Na běžnou harvesterovou hlavici je potřeba nainstalovat speciální odkorňovací nože, podávací válce a měřící kolečko. Existuje mnoho typů harvesterových hlavic, a proto nelze říct, že by každá úprava hlavice probíhala totožně. [15; 18]

Proces odkornění probíhá následovně. Harvester nejprve běžně pokácí napadený strom. Následně probíhá proces odvětvování a při něm první fáze odkornění. Po projetí stromu harvesterovou hlavicí až ke špičce, hlavice strom položí na zem a pootočí. Následně pootočený kmen znovu uchopí a začne probíhat druhá fáze odkornění, kdy hlavice harvestoru jede od špičky až k patě pokáceného stromu a odkorňuje. Jakmile hlavice harvestoru dojde až k patě stromu následuje položení, pootočení a spuštění třetí fáze odkornění, při které je pokácený a již už postupně odkorněný kmen krácen na požadované délky. Odkornění stromu se pohybuje v rozmezí 80 až 90 %, záleží na objemu kmene a zkušenostech operátora harvestoru. [18]

Tato metoda asanace je účinná, ale kvůli třem průjezdům káceného kmene hlavicí oproti běžnému jednomu, harvesteru klesá těžební účinnost. Odkornění harvesterovou hlavicí je výhodné použít převážně pro nižší vývojová stadia lýkožrouta. Použití této metody při

vývojovém stádiu jedince není vhodné, protože odkorňovací nože a válce mechanicky neporuší tolik jedinců jako např. adaptér pro motorové pily. [15]



Obr. 10 Odkorňovací hlavice harvestoru [19].

2.2 Chemická asanace

Chemická asanace je základní nástroj přímé ochrany lesa proti kůrovci. Tento pojem spočívá v použití vhodné metody, insekticidu, barviva a smáčedla. Chemickou asanací lze provádět jak v lese přímo po těžbě, tak i na skládkách pokáceného dřeva. Při chemické asanaci je velmi důležité dodržet technologické postupy, zejména správné dávkování jichy na každý metr krychlový napadeného dřeva. [20]

Asanace postřikem

Chemická asanace postřikem je jednou z nejpoužívanějších asanačních metod, která je zároveň považována za velmi spolehlivou. Tato metoda spočívá v nanesení postřiku proti kůrovci na jednotlivé pokácené kmeny stromů, viz obr. 11. Dříve se jako postřik používaly penetrační přípravky, které se po aplikaci na jednotlivé kmeny vstřebaly do ošetřených kmenů a následně vyhubily kůrovce. Tyto přípravky jsou nyní kvůli vyšším nárokům na ekologii zakázány. Jako náhrada za penetrační přípravky se aktuálně používají insekticidy (prioritně syntetické pyrethroidy), u kterých se využívá především jejich požerový účinek. Této asanační metodě se snižuje účinnost především pokud část brouků opouští ošetřený kmen již vykousanými otvory od jiného brouka. To znamená, že dojde ke kontaminaci pouze brouka, který „prokouše“ otvor v ošetřeném kmenu jako první. Počet brouků, kteří opustí kmen již zhotoveným otvorem může být až jedna třetina. [15; 18]

Dříve se do insekticidů přidávalo obarvené smáčedlo za účelem zlepšení pokrývatelnosti. Aktuálně používané insekticidy již tyto smáčedla v převážné většině nepotřebují. Nyní se do insekticidů přidávají pouze barviva za účelem zvýšení kontroly a rozeznatelnosti ošetřených kmenů od neošetřených. Někteří odběratelé dřeva však odmítají vykupovat obarvené kmeny. Je tedy na majitelích, zda barvivo použijí. Podle metodických pokynů se barviva používat nemusejí. [18]



Obr. 11 Ošetřené kmeny s použitím barviva [21].

K aplikaci insekticidů na napadené kmeny se používají převážně různé typy zádových postřikovačů, viz obr. 12 nebo tzv. rosiče. Zádové postřikovače mohou být na ruční pohon, akumulátorové nebo motorové. Každý postřikovač může mít na svém konci odlišnou trysku. Nejpoužívanější jsou postřikovače s tryskami, které insekticid rozstříkují do tvaru kužele. Asanační zádovými postřikovači jsme schopni denně ošetřit 10 až 30 m³ napadeného dřeva.

Insekticid je potřeba nanést na celou plochu kmene a kvůli tomu se musí s kmeny manipulovat a pootáčet. Ošetření se nesmí provádět, pokud je kmen mokrá. Po ošetření je třeba nechat postřik zaschnout, a proto není efektivní ošetřovat dřevo před deštěm. Účinnost postřiku je odhadována na 10 dní, i když někteří odborníci tuto dobu zkracují na 2 až 3 dny. Po ošetření jednotlivých kmenů, se kmeny převážejí na lesní skládky, odkud se dále převážejí k jejich odběratelům. Tato metoda asanace je použitelná pro libovolná vývojová stadia lýkožrouta. [15; 18]



Obr. 12 Použití zádového postřikovače [22].

Asanaci postřikem lze také použít pro tzv. otrávené lapáky, viz obr. 13. Otrávené lapáky jsou trojnožky ošetřené insekticidem. Trojnožky jsou zhotoveny ze třech kratších výřezů kmenu, které jsou v horní části pevně spojeny železným trojzubcem, hřebíky, dráty nebo provazy. V horní části trojnožky je umístěna feromonová návnada, která láká kůrovce. Hlavním cílem otrávených lapáků je přilákat kůrovce pomocí feromonové návnady do ošetřených kmenů, kde se následně zakousne a uhynie. Obnova aplikace postřiku by měla probíhat ve dvou až čtyřdenních intervalech. Otrávené lapáky jsou obvykle instalovány na jaře těsně před začátkem letové aktivity kůrovců. [16; 23]



Obr. 13 Otrávený lapák [3].



Obr. 14 Skládka smrkových výřezů pokrytá insekticidní sítí [24].

Insekticidní sítě

Jako způsob ochrany smrkového dřeva na lesních skládkách se používají insekticidní sítě, viz obr. 14. Insekticidní síť je impregnovaná umělohmotná síť napuštěná dlouhodobě působícím insekticidem. Těmito sítěmi se v lesích přikrývají skládky neodkorněných smrkových výřezů. Skládky musejí být kompletně přikryté. Okraje sítě je třeba podstrčit pod hromadu anebo je možné síť přitisknout a následně zatížit. [25; 26]

Insekticidní sítě brání napadení smrkových výřezů pod sítí. Kůrovci, kteří přiletí a chtějí napadnout smrkové dřevo, zůstanou na insekticidní síti. K úmrtí kůrovců stačí velmi krátký kontakt s insekticidní sítí. Smrt nastává velmi rychle. Mrtví brouci zůstávají v záhybech sítě anebo na jejím okraji.

Insekticidní sítě se dají aplikovat i na již napadené skládky smrkových výřezů. Kůrovci, kteří chtějí vylézt z takto chráněných skládek, zůstávají mrtví po kontaktu s napuštěnou sítí na hromadách pod sítí. Zamezí se tak, aby se kůrovci mohli dále šířit. Insekticidní sítě jsou funkční po celou dobu vegetačního období. Je ovšem potřeba sítě kontrolovat, jestli nejsou poškozeny např. protrženy. [16; 25]

3 RACIONALIZACE ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE ASANACE NAPADENÉHO DŘEVA

Hlavní myšlenkou racionalizované technologie je spojení více lesních procesů a úkonů v jeden společný. Díky nové technologii budou ušetřeny náklady na asanaci napadeného dřeva a zároveň čas lesním hospodářům. K návrhu této technologie je využita nejvýkonnější technika na těžbu dřevní hmoty. Tato technika, tj. harvester, je inovována o zařízení, které přidává do procesu klasické harvesterové těžby chemickou asanaci postřikem. Asanace inovovaným zařízením zároveň zaručí dostatečné pokrytí pokáceného kmene insekticidem proti kůrovcům.

Harvester

Harvester je více-operační stroj, který v lese při těžbě kácí, odvětvuje, krátí a pokládá stromy. Vytěžené kmeny nechává v lesních porostech připravené pro vývoz z lesa. Harvestory jsou plně automatizované a mechanizované. Jsou vhodné i do oblastí s náročnějším terénem, jako jsou např. kopcovité terény nebo mokřady. Harvestory mohou být kolové, viz obr. 15 nebo pásové. Pro kolové harvestory se do obtížnějších terénů používají tzv. kolopásky, které se nasadí na kola harvesteru viz příloha 1. Při použití kolopásků se rozloží zatížení harvesteru a zároveň zvětší zabírací plocha poháněných kol. Kolopásky zároveň výrazně snižují opotřebení pneumatik a tlak na půdu. [27; 28; 29]

Hlavní částí harvesteru je těžební hlavice, která je zavěšena na konci ramene harvesteru. Těžební hlavice se skládá ze čtyř odvětvovacích nožů, motorové pily, dvou podávacích kol a počítačového kolečka. Další částí harvesteru je otočná kabina, která se neustále niveluje do operátorem zvolené polohy. Mezi těžební hlavicí a kabinou harvesteru se nachází harvesterový jeřáb „rameno“, díky němu lze hýbat s těžební hlavicí.

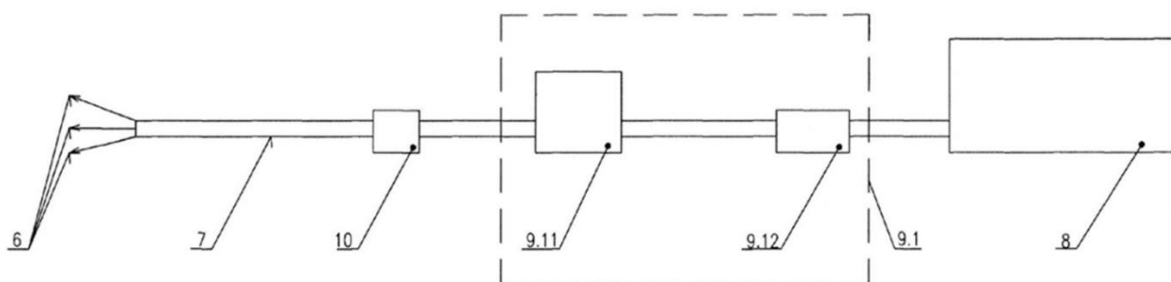
Při harvesterové těžbě harvester přijede ke stromu a následně ho těžební hlavicí obepne u paty stromu. Dále operátor harvesteru zadá příkaz pro aktivaci motorové pily, která strom pokácí. Operátor má při kácení stromu možnost volby místa, na které strom spadne, a to díky mírnému zatlačení těžební hlavicí, popř. podseknutím káceného stromu. Při pádu stromu většina operátorů strom pustí a díky tomu zamezí přechodu rázu a vibracím z pádu stromu na harvester. Následně je strom znovu obepnut těžební hlavicí a operátorem zadán příkaz těžby. Při tomto příkazu projede pokácený kmen těžební hlavicí, která ho odvětví a nařeže na požadované délky. [28; 29; 30]



Obr. 15 Kolový harvester Komatsu.

3.1 Popis jednotlivých komponentů

Základem zařízení pro postřik kmenů proti kůrovci jsou trysky umístěné na hlavici harvestoru na obr. 16 (poz. 6). K tryskám je insekticid proti kůrovci přiveden pomocí hadic, popř. trubek (poz. 7). Tímto insekticidem je naplněna hlavní nádrž, která je umístěna na rámu harvestoru (poz. 8). Mezi hlavní nádrží a tryskami je umístěno čerpadlo (poz. 9.12), expanzní nádrž s redukčním ventilem (poz. 9.11), elektro ventil (poz. 10) a mikropočítač, který řídí celý proces ošetřování. Schéma přídatného zařízení je popsáno na obr. 16. V této podkapitole bude popsána funkce jednotlivých částí systému.



Obr. 16 Schéma zařízení [31].

Trysky

Hlavním úkolem trysek je nastříkat kácený kmen insekticidem proti kůrovci. Trysky jsou děleny podle typu rozstříků např. plochý, kuželový, přímý, dále podle úhlu rozstříku a podle možnosti uchycení. Pro zařízení na postřik kmenů byly zvoleny trysky s plochým rozstříkem s úhlem rozstříku 60° a pevným uchycením. Plochý rozstřík byl zvolen z důvodu stísněného prostoru mezi polohou trysky na hlavici harvestoru a káceným kmenem. Pokud by byly použity trysky s kuželovým rozstříkem, tak by část postřiku stříkala na odvětvovací nože nebo na hlavici harvestoru. Tím by nastalo rapidní snížení množství postřiku, které pokryje kácený kmen.

Před každou tryskou je umístěn zpětný ventil, který brání vypuštění hadic při uzavřeném přívodu postřiku. Tento ventil zároveň udržuje konstantní tlak postřiku v hadicích i při vypnutém přívodu. Zpětný ventil je třeba zvolit přímo na námi požadovaný tlak a průtok. Princip uzavírání ventilu je dosedání ocelové kuličky do plastového sedla ventilu. Ocelovou kuličku do plastového sedla natlačuje tlačná pružina. Jakmile tlak postřiku překročí napětí od pružiny, ventil se otevře a postřik může proudit dále do trysek.

Vhodné umístění trysek na hlavici harvestoru je jedna z největších výzev při konstrukci tohoto zařízení. Při volbě umístění, je třeba brát ohled na vzdálenosti mezi jednotlivými tryskami a káceným kmenem, pokud by trysky byly umístěny příliš blízko kmene, tak by pokryly menší plochu kmene. Dalším významným faktorem při rozmístění trysek je poloha trysek vůči ostatním tryskám, aby se vzájemně nepřekrývaly nebo mezi nimi na káceném kmenu nevznikal neošetřený pruh. Dále je třeba počítat s odlétávajícími větvemi, které by mohly trysky porušit nebo ulomit. Při prvním návrhu umístění trysek je vhodné prohlédnout harvestorovou hlavici a najít místa, kde se drží základní barva hlavice. Trysky umístěné na těchto místech mají daleko větší pravděpodobnost ochrany před odlétávajícími větvemi, než kdyby byly umístěny na místech, kde už je barva zcela sedřená nebo místech kde je hlavice popraskaná.

První funkční prototyp postřikovacího zařízení byl zhotoven na harvestoru od značky John Deere. Hlavice tohoto stroje byla osazena čtyřmi tryskami. Pro druhý harvestor Komatsu 951

byly zvoleny pouze 3 trysky, které jsou schopné pokrýt potřebný povrch káceného kmene. Možnost vynechání jedné trysky byla umožněna díky odlišnému tvaru hlavice. Úsporou jedné trysky se snížila rizikovitost proti uražení. Dvě trysky jsou umístěny v pevné poloze na tělu harvestorové hlavice viz příloha 2. Třetí tryska je umístěna na krytu podávacího kola. Tato tryska se pohybuje s podávacím válcem a přesně kopíruje tvar a okamžitý průměr káceného kmene.

Pro přichycení trysek na hlavici harvestoru byla zvolena kombinace technologie svařování a šroubového spoje. Na hlavici harvestoru byla přivařena pásovina se čtyřmi otvory se závitem. Na tuto pásovinu bylo následně přišroubováno pomocí čtyř šroubů uchycení trysky. Uchycení trysky zároveň slouží jako ochrana před uražením od odlétávajícího klestí. Pro uchycení pohyblivé trysky na podávacím válci bylo zapotřebí na kryt podávacího válce přivařit ochranu ve formě dvou U – profilů přivařených proti sobě, viz obr. 17.



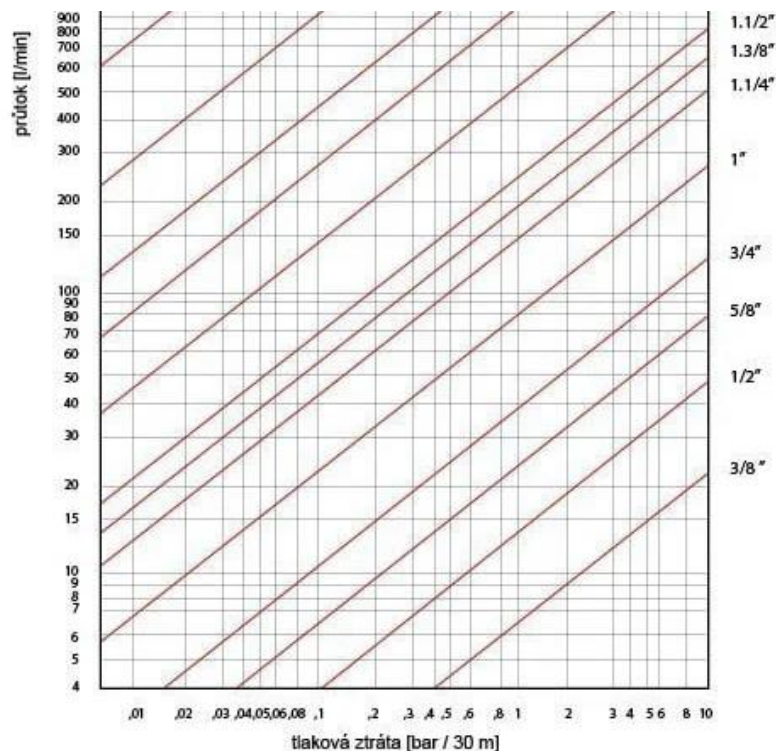
Obr. 17 Uchycení pohyblivé trysky.

Vedení postřiku

Vedení postřiku mezi jednotlivými komponenty zařízení je zhotoveno pomocí hydraulických hadic. Tyto hadice jsou připojeny pomocí armatur a šroubení. Hadice je nutno chránit pomocí plastové chráničky, která je navlečena na vnější povrch hadic. Na hlavici harvestoru jsou hadice vedeny převážně dutými částmi hlavice, popř. pod kryty hlavice. Na hlavici je nutné umístit hadice tak, aby byly co nejlépe chráněny před odlétávajícím klestím, které by mohlo hadice prorazit anebo utrhout, což by vedlo k časté výměně těchto hadic. Ke zbylým komponentům je od harvestorové hlavice vedena hadice po rameni harvestoru společně s hydraulickými hadicemi, které zajišťují pohyb hlavice. Hadice je po rameni vedena tak, aby nedělala smyčky, které by se mohly zachytit o okolní stromy a následně přetrhnout hadici. Hadice na rameni harvestoru není vedena v jednom kuse, ale je rozdělena na tři kratší hadice z důvodu snadnější výměny při poruše.

Volba správných hadic je jeden z velmi důležitých úkonů při návrhu nové postřikovací technologie. I když to nemusí být zřejmé, tak špatné zvolení vedení postřiku může vést ke značným problémům. První požadavek volby hadic lze nazvat jako životnost v provozním

režimu harvestoru. Hadice musí vydržet letní provoz při vysokých teplotách za stálého slunečního svitu, ale i provoz v zimních obdobích. V zimě není důvod k asanaci napadených stromů, ale veškeré vybavení přídavného postřikovacího zařízení, což jsou i zmiňované hadice, zůstává při zimní těžbě na harvestoru. Do kritéria provozního režimu harvestoru může být dále zařazena odolnost proti proražení a prodření hadic. Kvůli tomuto požadavku nelze zvolit nejlevnější řešení, čímž je myšleno použití odolnějších hadic určených převážně pro domácí hobby použití. Z prvního požadavku pro volbu hadic je patrné, že je zapotřebí zvolit hydraulické hadice s ocelovým opletem. Tyto hadice jsou schopny pracovat v rozmezí teplot od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Toto teplotní rozmezí je schopno pokrýt potřebné požadavky na teplotní rozhraní v České republice. Zvolené hydraulické hadice disponují ocelovým opletem, který chrání hadici před proražením, značně zvyšuje čas prodření a zároveň dodává hadicím dostatečnou tuhost, která hadice omezuje v nežádoucí tvorbě smyček. Dalším požadavkem pro volbu hadic je určení průřezu hadice. Průřez hadice ovlivňuje hned několik důležitých parametrů jako jsou např. průtok, rychlost proudění kapaliny a tlakové ztráty. Požadovaný průtok hadicí je 5 litrů v časovém intervalu 4 sekund což odpovídá hodnotě 75 litrů za minutu. Pro přenos postřiku z hlavní nádrže umístěné na rámu harvestoru do trysek, které jsou na harvestorové hlavici, je zapotřebí cca 15 metrů hadic. Délka hadic hraje velmi významnou roli při určování tlakových ztrát. Tlak potřebný pro správný provoz trysek, kterého je zapotřebí na konci hadice dosáhnout, je 5 bar. Dle obr. 18 lze zvolit hadici o průřezu 1 palce. Hadice s menším průřezem již mají v požadované délce výrazně vyšší tlakové ztráty, což ovlivňuje výběr čerpadla, které bude potřebný tlak vyvíjet. Čerpadlo musí pracovat s napětím harvestoru což je 24 V. Pro toto napětí je velmi obtížné vybrat čerpadlo, které by dosáhlo potřebného průtoku a vyšších tlaků, a proto je zapotřebí zohlednit tlakové ztráty hadic.



Obr. 18 Závislost tlakových ztrát na parametrech hadic [38].

Elektromagnetický ventil

Spouštění a vypínání postřiku zajišťuje elektromagnetický ventil. Tento ventil je umístěn na harvestorové hlavici, viz obr. 19. Umístění ventilu přímo na hlavici harvestoru má velkou výhodu v tom, že hadice umístěné před tímto ventilem, jsou celou dobu po stálým tlakem, tzn. že tímto umístěním výrazně snížíme prodlevu při otevření ventilu a výstřikem kapaliny z trysek, protože mezi ventilem a tryskami už je v porovnání s celkovou délkou hadice na rameni délka hadice bez tlaku mezi ventilem a tryskami zanedbatelná. Elektromagnetický ventil je připojen na napájení harvestorové hlavice tzn. není potřeba natahovat další elektrický kabel až z kabiny harvestoru. Ventil je řízený signálem z přídatného PLC. Do ventilu vstupuje jedna hadice a hned za ventilem se hadice roztrhne a vede kapalinu ke každé trysce.



Obr. 19 Elektromagnetický ventil umístěný na hlavici harvestoru.

Expanzní nádrž s redukčním ventilem

Mezi elektromagnetickým ventilem a čerpadlem je umístěna expanzní nádrž s redukčním ventilem. Tato nádrž zajišťuje stálý tlak v systému. Nádrž je třeba navrhnut tak, aby její minimální kapacita stačila na množství postřiku, které je potřebné pro ošetření jednoho stromu. Redukční ventil je připevněn pomocí šroubení přímo na expanzní nádrž. Tento ventil slouží k redukci průtoku postřiku z expanzní nádrže do trysek. Nastavení průtoku se provádí pouze jednou, a to při instalaci zařízení. Expanzní nádrž je umístěna pod kabinou harvestoru za předním kolem na speciálně vyrobeném držáku. Tento držák zároveň chrání nádrž před nečistotou, bahnem a větlemi odlétávajícími od kola harvestoru při přejíždění mezi jednotlivými těžebními prostory.

Čerpadlo

Doplňování expanzní nádrže zajišťuje čerpadlo. Výběr čerpadla byl značně omezen pracovním napětím harvestoru 24 V. Dalším důležitým parametrem je potřebné množství postřiku na jeden kácený strom. Uvažujeme-li, že průměrný strom má výšku 20 metrů a objem dřevní hmoty 1 m³, tak na tento průměrný strom je zapotřebí nastříkat 5 litrů postřiku proti kůrovci [32; 33]. Doba, za kterou je nutné tento nemalý objem postřiku nanést na kácený strom, se odvíjí od rychlosti, kterou kácený strom projíždí harvestorovou hlavicí viz rovnice 3.1. Různé hlavice mají odlišnou rychlost posuvu kmene hlavicí. Průměrná rychlost průjezdu kmene harvestorovou hlavicí je 5 m/s [34]. Z těchto hodnot vyplývá, že na průměrný strom je nutno nanést 5 litrů postřiku za dobu 4 vteřin. Z potřebných parametrů pro výběr čerpadla je nejlépe vyhovující membránové čerpadlo s napájením na 24 V. Čerpadlo je umístěno pod kabinou harvestoru společně s expanzní nádrží.

Výpočet času průjezdu kmene harvestorovou hlavicí:

$$t_p = \frac{l_s}{v_s} = \frac{20}{5} = 4 \text{ s} \quad (3.1)$$

kde: t_s – čas průjezdu kmenu hlavicí harvestoru [s],
 l_s – průměrná výška stromu [m],
 v_s – rychlost průjezdu kmenu hlavicí harvestoru [m/s].

Směšovač

Další komponentou postřikovacího zařízení jsou dva směšovače, které slouží k přiměšování insekticidu a barviva do čisté vody. První směšovač přidává do čisté vody insekticid proti kůrovci, který se s vodou ředí v poměru 1:99 [33]. Druhý směšovač přidává do roztoku barvivo, kterého je třeba přimíchat 1:99 [35]. Oba směšovače jsou součástí hlavní nádrže na vodu.

Původní myšlenkou bylo nepoužití žádných směšovačů a insekticid s barvivem naředit přímo v hlavní nádrži. Tato myšlenka byla však po konzultaci s Ing. Tomášem Jedličkou z Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského vyvrácena. Pokud by se insekticid ředil přímo v hlavní nádrži, tak by bylo zapotřebí dle platných norem pro práci s insekticidy zajistit stálé víření a pohyb naředěného postřiku v nádrži. Díky tomuto požadavku bylo rozhodnuto o použití dvou směšovačů namísto řešení víření postřiku v nádrži.

Pozitivem použití směšovačů je možnost volby přesného ředění insekticidu s čistou vodou. Na lesnickém trhu existuje mnoho insekticidů proti kůrovci, a ne všechny se ředí stejným procentním poměrem. Směšovače usnadní práci operátorovi harvestoru tím, že není potřeba při každém doplňování nádrže vodou počítat a odměřovat potřebné množství insekticidu a barviva, které by bylo zapotřebí do nádrže při procesu plnění nalít. S použitím směšovačů operátor harvestoru pouze doplní nádržku prvního směšovače insekticidem a druhého barvivem, tím je vyloučena chyba lidského faktoru, protože směšovače se nastavují pouze při instalaci zařízení na harvestor a dále jsou operátorem pouze doplňovány. Poslední výhodou použití směšovačů je ekologický pohled. Tím je myšleno, že při defektu nádrže např. chybou operátora harvestoru a následným proražením nádrže stromem, z nádrže do lesního podloží vyteče pouze čistá voda, která nezpůsobí žádnou kontaminaci půdy oproti myšlence s ředěním postřiku přímo v nádrži, kde by lesní podloží kontaminoval naředěný insekticid s barvivem.

Hlavní nádrž

Všechny komponenty systému je zapotřebí zásobovat postřikem, jehož hlavní složkou je čistá voda. Postřik je tvořen z 98 % právě čistou vodou, a proto je zapotřebí největší složku postřiku umístit na harvester stejně jako ostatní komponenty systému. K umístění čisté vody na rámu harvestoru slouží hlavní nádrž. Je zapotřebí, aby tato nádrž byla dimenzována pro dostatečný objem a zároveň nebránila harvesteru v jeho práci, popř. operátorovi ve výhledu z kabiny. Nádrž na čistou vodu musí být tak velká, aby operátor harvestoru nemusel doplňovat vodu vícekrát než jednou denně. Po konzultacích s operátory těchto strojů bylo zjištěno, že maximální denní těžba harvestoru se pohybuje v rozmezí 180 až 220 m³. Z těchto poznatků je třeba vycházet při dimenzování nádrže. Časté doplňování vody by výrazně omezilo těžební výkon harvestoru. Operátor harvestoru každé ráno zahřívá stroj naprázdno a zároveň provádí pravidelnou kontrolu stroje před denní těžbou. Během ranní přípravy a kontroly stroje probíhá zároveň doplňování hlavní nádrže vodou. Doplňování vody v tento čas neovlivňuje těžební výkon harvestoru. Operátor pouze připojí na hlavní nádrž hadici z cisterny, popř. externí mobilní nádrže, zapne čerpadlo a pokračuje v jeho denní rutině.

Výpočet objemu navrhované nádrže:

$$\begin{aligned} V_n &= n_{max} \cdot V_p \\ &= 200 \cdot 5 = 1000 \text{ l} \end{aligned} \quad (3.2)$$

kde: V_n – objem hlavní nádrže na vodu [l],
 n_{max} – průměrná hodnota maximálního počtu pokácených stromů za den [-],
 V_p – objem postřiku potřebný pro jeden strom [l].

Dle výpočtu je zapotřebí navrhnout nádrž s objemem 1000 l.

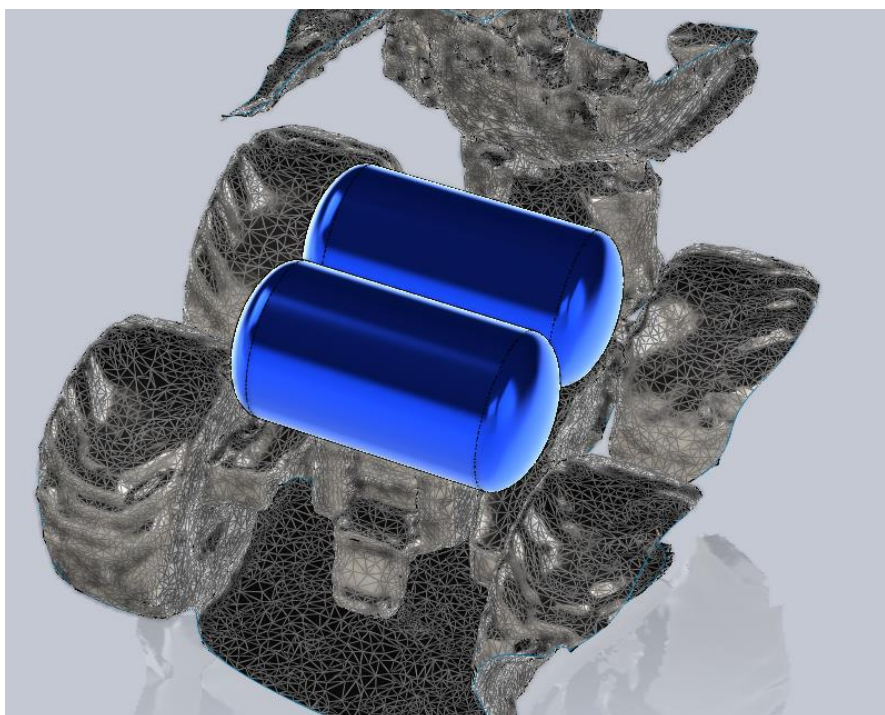
Umístění takto velké nádrže na harvesteru je však značně omezeno a tím vzniká další výzva s názvem „umístění nádrže“. Nádrž nesmí omezovat pohyblivost harvestoru a zároveň nesmí bránit ve výhledu operátora z kabiny harvestoru. Jedna z prvních myšlenek byla umístit nádrž nad kabinu harvestoru. Tato myšlenka však byla odmítnuta výrobcí harvestorů. Kabina harvestoru je nivelována na hydraulických pístnicích a tyto pístnice nejsou dimenzovány na přidanou hmotnost nádrže s 1000 litry vody. Druhou myšlenkou bylo umístit nádrž s vodou z boku ramena harvestoru. Od výrobce bylo zjištěno, že pohyblivost ramene s nádrží nebude omezena. Tato myšlenka však byla odmítnuta operátorem harvestoru z důvodu nárůstu šířky ramena. Nádrž na boku ramene by omezovala práci harvestoru při tzv. probírkách, kdy harvester kácí pouze předem vybrané stromy a potřebuje si pro ně sáhnout mezi ostatní zdravé stromy, kde je stísněný prostor pro šířku ramene. Další možností je umístit tisícilitrovou nádrž na zadní konec harvestoru a tím harvesteru zvýšit jeho maximální délku. Na zadním konci harvestoru by nádrž nebránila operátorovi ve výhledu ani by neomezila pohyblivost stroje. Tato varianta však byla zavrhnuta z důvodu navýšení maximální délky harvestoru. Již bez nádrže jsou třeba na převoz harvestorů speciální podvalníky a při zvýšení maximální délky by nastaly komplikace při převozu harvestorů mezi jednotlivými těžebními lokacemi. Další alternativou je umístit na harvester namísto jedné velké nádrže více menších nádrží. Toto řešení bylo zavrhnuto z důvodu vedení velkého počtu hadic, které jsou v těžebních podmínkách harvestoru velmi namáhány a hrozí jejich protržení.

Poslední část harvestoru, která nebyla zmíněna pro umístění nádrže je umístění před kabinou harvestoru mezi koly. Na tomto místě se však nachází box na nářadí a výměnné lišty pro motorovou pilu. Tento box je denně využíván, avšak svými rozměry je vysoce předimenzován

pro potřeby operátora harvestoru. Po konverzaci s operátorem harvestoru byl učiněn závěr zhotovit na místě boxu na nářadí nádrž na 1000 litrů čisté vody a součástí nádrže vytvořit menší box na nářadí, který nahradí box původní.

K návrhu tvaru nádrže bylo použito 3D skenu pomocí speciálního tabletu metodou LIDAR. Tato technologie je schopna za velmi krátkou dobu zhotovit 3D model potřebných částí harvestoru, viz obr. 20. Díky tomuto 3D modelu bylo ušetřeno velké množství času při odměřování míst pro budoucí umístění nádrže. Dále není zapotřebí modelování rámu harvestoru, kolem kterého je nádrž umístěna.

Nádrž je zhotovena jako svařenec z korozi-vzdorného plechu z důvodu ochrany před korozí, která by mohla zanášet trysky. Po svaření je nádrž testována na těsnost svarů pomocí kapilární metody. Tato zkouška probíhá tak, že vnitřek nádrže je v místě svarů natřen penetrační kapalinou (např. obarvený petrolej) a z vnější části nádrže je nanesen indikační prostředek (např. plavená křída). Pokud se do indikačního prostředku nedostane penetrační kapalina zevnitř nádrže, tak jsou svary považovány za těsné. Součástí hlavní nádrže je kromě boxu na nářadí také ochranný rám. Tento rám, sloužící jako ochrana nádrže před nekontrolovaným pádem stromu, je navržen tak, aby při nekontrolovaném pádu stromu nebyla nádrž poškozena.








Obr. 20 Model zhotovený pomocí metody LIDAR s umístěním dvou nádrží.

Řízení

Celé zařízení je řízeno mikropočítačem PLC (Programmable Logic Controller). Tento mikropočítač má za úkol dohlížet na celý systém, ovládat ho a následně dodávat potřebné informace operátorovi harvestoru přímo do kabiny. Pomocí PLC je sledován celý chod zařízení a následně vyhodnocován. Sledované parametry jsou: množství vody v hlavní nádrži, množství insekticidu, množství barviva, chod čerpadla, poloha elektromagnetického ventilu, posuv kmene hlavicí harvestoru, těžební režim harvestoru. Postřik je do trysek elektromagnetickým ventilem spuštěn pouze pokud je dostatek vody v hlavní nádrži, dále musí být dostatečné

množství insekticidu a barviva ve směšovačích, expanzní nádrž musí mít dostatečný tlak a musí být operátorem harvestoru spuštěný automatický režim kácení a odvětvování.

Pro úsporu postřiku mohou být zhotoveny místo jednoho okruhu pro postřik okruhy dva. V této úpravě spočívá navýšení tří trysek na čtyři a použití dvou elektromagnetických ventilů namísto jednoho. Čtyři trysky jsou umístěny na harvestorové hlavici vždy dvě naproti sobě a díky tomu lze při menším průměru kmene káceného stromu dvě trysky jedním z elektromagnetických ventilů vypnout. Tzn., že u paty kmene stromu a téměř do 2/3 délky stromu jsou aktivní všechny čtyři trysky, dále v užších částech (převážně špičky stromů) dokáží plochu kmene pokrýt pouze dvě trysky. Vypnutím dvou trysek je docílena úspora postřiku. Tato úspora je výhodná z důvodu šetření vody v hlavní nádrži, z tohoto důvodu se voda nemusí tak často doplňovat. Další významnou výhodou je ekologický pohled na spotřebu chemie používanou v lese, která díky tomuto vylepšení klesá. Přechodný průřez pro vypnutí dvou trysek lze regulovat potenciometrem. Tato regulace je však prováděna pouze jednou, a to při instalaci a prvních zkouškách zařízení. Varianta dvou okruhů je řízená dle algoritmu, viz obr. 21.

-  obsluha spustí režim postřiku jedním tlačítkem
-  postřik je aplikován pouze v automatickém režimu vpřed
-  pro průměr kmene větší než 25 cm stříkají všechny trysky - jsou zapojeny oba okruhy
-  pro průměr kmene menší než 25 cm stříkají pouze dvě trysky - je zapojen pouze jeden okruh
-  mez odepnutí druhého okruhu lze nastavit pomocí potenciometru - dělá se pouze při instalaci zařízení

Obr. 21 Algoritmus řízení postřiku při použití dvou okruhů.

4 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ

Navržené řešení šetří čas a finance majitelům lesů a zároveň nabízí kvalitně zpracovanou asanaci napadeného dřeva. Ušetřením času je myšleno spojení více lesnických procesů do jednoho společného čímž je myšlena harvesterová těžba a následná ruční chemická asanace. Pokles financí potřebných pro těžbu a asanaci napadeného dřeva je současně z několika hledisek. První hledisko snižuje počet lesních zaměstnanců, kteří by při klasické ruční asanaci ošetřovali napadené dřevo zádovými postřikovači. Ošetření pomocí nově navrženého řešení navíc zajistí stejnoměrné pokrytí na každém z pokácených stromů.

Díky nově navrženému řešení lze každý strom ošetřit přesným množstvím postřiku, přesně podle údajů dodávaných výrobcem těchto postřiků. Dalším hlediskem, kterým mohou být sníženy náklady na společnou těžbu s postřikem, jsou dotace na asanované dřevo. Tato dotace činí 120 Kč/m³ [36]. Díky této dotaci lze rapidně snížit dobu návratnosti nově navrženého zařízení, viz tab. 2. V tab. 2 jsou data pro tři varianty denní těžby harvestoru. Tyto hodnoty závisejí především na terénu těžby a množství přejezdů mezi těžebními lokacemi. Počet dní asanace za jeden rok je z rozhovorů s lesníky cca 100 dní v roce. Pro tento počet dní jsou v tab. 2 počítány výkony bez postřiku a s postřikem. Denní výkonnost harvestoru s postřikem je ponížena o 10 % z důvodu plnění nádrže a běžné kontroly zařízení. Hodnota 10 % celkového denního výkonu je brána s dostatečnou rezervou tzn. že skutečná hodnota snížení denního výkonu bude nižší než zmiňovaných 10 %. Následně je cena za pokácený a již asanovaný m³ dřeva navýšena o dotaci z 200 na 320 Kč/m³. Rozdíl mezi výkonem bez postřiku a výkonem s postřikem je velmi znatelný a pohybuje se v rozmezí 500 000 Kč až 850 000 Kč. V tab. 2 je skryta prodejní cena a jednotlivé návratnosti zařízení z důvodu ochrany obchodního tajemství. Návratnost zařízení je závislá na denním výkonu harvestoru. Tato návratnost vychází v rozmezí 6 až 20 měsíců.

Tab. 2 Ekonomická rozvaha.

Data	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Poznámka
Denní výkon harvestoru [m ³]	150	200	250	
Cena za m ³ [Kč]	200			Pouze těžba
Počet dní asanace v roce	100			
Výkon bez postřiku [Kč]	3 000 000	4 000 000	5 000 000	Počítáno za 100 dní asanace
Insekticid Forester [Kč/l]	1200			
Poměr ředění [%]	1			
Spotřeba postřiku na m ³ [l]	5			
Spotřeba postřiku na m ³ [Kč]	60			
Denní výkon harvestoru s postřikem [m ³]	135	180	225	Počítáno 10 % denního výkonu na doplnění postřiku, tj. při 10 hodinovém dni je 1 hodina na doplnění
Náklady asanace ve výši dotace za m ³ [Kč]	120			60 Kč postřik, 60 Kč práce + voda+ zisk
Cena za m ³ [Kč]	320			Navýšená o dotaci na asanované dřevo
Počet dní asanace v roce	100			
Výkon s postřikem [Kč]	3 510 000	4 680 000	5 850 000	Počítáno za 100 dní asanace
Rozdíl – výkon bez postřiku a výkon s postřikem [Kč]	510 000	680 000	850 000	
Prodejní cena zařízení postřiku vč. montáže [Kč]	Utajeno			
Návratnost [rok]	Utajeno	Utajeno	Utajeno	

Porovnání nově navrženého řešení s aktuálními možnostmi asanace

Nově navržená technologie je schopna konkurovat stávajícím způsobům asanace dřeva napadeného lýkožroutem, viz tab. 3. Hodnoty z tab. 3 tabulky jsou kromě použití postřiku harvestorem podloženy katalogem asanačních metod od Petra a Marie Zahradníkových [18]. Nyní budou shrnuty klady a zápory jednotlivých metod pro asanaci napadeného dřeva:

- Odkornění pomocí ručního škrabáku má téměř 100 % účinnost v rané fázi brouka tzn. že pokud je strom odkorněn ve správnou dobu, tak se brouk nestihne plně vylíhnout a zaschne v odstraněné kůře. Jakmile je brouk plně vyvinutý, tak už je téměř zbytečné tuto metodu použít, protože ruční škrabák kůrovce téměř nepoškodí. Výhodou této metody je jednoduchost a dostupnost použití. Nevýhody této metody jsou ekonomické hledisko a její časová náročnost a s tím spojená nutnost spálení odstraněné kůry.

- Odkornění adaptérem pro motorovou pilu má oproti ručnímu odkornění stejnou účinnost při rané fázi brouka, ale téměř 90 % účinnost při pozdní fázi brouka. Tento rapidní nárůst je způsobený mechanickým poškozením těl jednotlivých plně vyvinutých kůrovců adaptérem při ofrézování kůry. Denní výkonnost se oproti ručnímu odkornění výrazně zvyšuje a náklady na jednotlivý m³ snižují.
- Odkornění pomocí upravené harvestorové hlavice dosahuje stejně vysokých účinností jako odkornění pomocí adaptéru pro motorovou pilu. Denní výkonnost asanovaného dřeva je však výrazně vyšší než při použití dvou předchozích metod. Nevýhodou této metody je zpomalení těžby harvestoru kvůli nutnosti opakovanému projetí káceného kmenu upravenou hlavicí harvestoru. Výhodou je téměř poloviční cena na m³ oproti použití adaptéru pro motorové pily.
- Asanace ručními postřikovači je nejjednodušší formou chemické asanace. Účinnost této metody je v rozmezí 50 až 70 %. Takto velký procentuální rozptyl je závislý převážně na klimatických podmínkách a velikosti srážek v období před a po asanaci. Oproti metodám ručních odkornění je tato metoda výkonnější. Nevýhody této metody jsou závislost doby působení na počasí a nemožnost použití pro již vyskládané hromady kmenů.
- Postřik pomocí harvestoru dosahuje stejných účinností jako použití zádových postřikovačů. Výhodami tohoto řešení je rapidní nárůst denní výkonnosti asanovaného dřeva. Další výhodou je ušetření financí za pracovníky, kteří by museli pokácené kmeny ručně ošetřit. Oproti předchozí metodě zde nenastane, že by vyskládané hromady kmenů nebyly dostatečně ošetřeny. Tato metoda vychází jak z ekonomického hlediska, tak z hlediska výkonnostního nejlépe z porovnávaných metod.
- Použití insekticidních sítí má 100 % účinnost při pozdních fázích brouka. Pokud je insekticidní síť správně naistalována na hromady kmenů, tak je kůrovec znemožněno kmeny opustit a napadnout další zdravé stromy. Nevýhodou této metody je riziko protržení sítě při instalaci, nebo porušení sítě např. zvědavými houbaři.

Tab. 3 Porovnání asanačních metod

Metoda	Účinnost v rané fázi brouka [%]	Účinnost v pozdní fázi brouka [%]	Výkonnost [m ³ /den]	Náklady [Kč/m ³]	Rizika a nevýhody
Ruční odkornění	100	0	6	500	Malý výkon
Adaptér pro mot. Pilu	100	90	10	300	Malý výkon
Odkornění harvestorem	80	80	125	160	Poloviční výkon harvestoru, úprava hlavice
Ruční postřik	50-70	50-70	20	250	Doba působení 8 až 10 týdnů
Postřik harvestorem	50-70	50-70	250	80	Doba působení 8 až 10 týdnů
Insekticidní síť	0	100	-	150	Protržení sítě

ZÁVĚR

Závěrem této bakalářské práce lze konstatovat, že navržená technologie pro asanaci dřeva napadeného lýkožroutem smrkovým, přináší výrazné zlepšení v efektivitě a nákladovosti procesu asanace. Inovace spočívající ve spojení harvestorové těžby s chemickou asanací pomocí postřiku představuje významný pokrok, oproti tradičním metodám ručního odkornění a použití zádových postřikovačů.

Hlavní výhody nově navržené technologie zahrnují zejména zvýšení denní výkonnosti, kdy denní výkonnost harvestoru s postřikem dosahuje až 250 m³ dřeva za den, což je značně více ve srovnání s ručním postřikem nebo odkorněním. Dále dochází ke snížení nákladů, kdy použití harvestoru s integrovaným postřikem umožňuje snížit náklady na asanaci dřeva na 80 Kč/m³, což je výrazně méně než u tradičních metod. Harvestor zaručuje také efektivitu a spolehlivost, jelikož zaručuje stejnoměrné pokrytí insekticidem na každém pokáceném stromu, čímž minimalizuje riziko nedostatečné asanace.

Celkově lze říci, že navržené řešení je nejen ekonomicky výhodné, ale také technicky a ekologicky přínosné. Implementace této technologie by měla významně přispět k ochraně českých lesů před kůrovcovou kalamitou a zvýšit efektivitu lesnických operací.

Práce tedy potvrdila hypotézu, že integrace těžební a asanační technologie do jednoho procesu pomocí harvestoru představuje optimální řešení jak z hlediska výkonu, tak i nákladů. Tento přístup může sloužit jako vzor pro další výzkum a vývoj technologií v oblasti lesnictví a ochrany lesů.

Dále bych rád zmínil, že na tuto technologii mám podanou přihlášku evropského patentu s číslem EP 19187646, která byla letos potvrzena a nic nebrání v jeho získání. Rovněž jsem obdržel několik ocenění za tento inovativní přístup, včetně ocenění hejtmána Kraje Vysočina, ocenění Best Pitch v kategorii Emerging Innovators na Velvet Innovation conference a ocenění rektora Vysokého učení technického v Brně.

Závěrem lze konstatovat, že všechny vytyčené cíle bakalářské práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KONVIČKA, Martin. *Kůrovcová kalamita oživila hospodářské lesy*. Online. Akademie věd České republiky. 2024. Dostupné z: <https://www.avcr.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/Kurovcova-kalamita-ozivila-hospodarske-lesy/>. [cit. 2024-05-10].
 2. *O KŮROVCI*. Online. POD KŮROU. B.r. Dostupné z: <https://www.podkurou.cz/seznamte-se-s-kurovcem/o-kurovci>. [cit. 2024-05-10].
 3. *Lýkožrout smrkový*. Online. Kurovcoveinfo.cz. B.r. Dostupné z: <https://www.kurovcoveinfo.cz/lykozrout>. [cit. 2024-05-10].
 4. HOSPODÁŘSKÉ NOVINY. *Kůrovcová kalamita je nejhorší za několik století*. Online. BAČÍK, Ondřej. Hospodářské Noviny. 2018. Dostupné z: <https://domaci.hn.cz/c1-66104300-kurovcova-kalamita-je-nejhors-i-za-nekolik-poslednich-stoleti-lesy-cr-ji-vazne-podcenily-zjistila-inspekce>. [cit. 2024-05-11].
 5. SKUHRAVÝ, Václav. *Lýkožrout smrkový Ips typographus (L.) a jeho kalamity*. Praha: Agrospoj, 2002. ISBN 80-708-4238-5.
 6. *ŽIVOTNÍ CYKLUS KŮROVCE*. Online. Pod kůrou. B.r. Dostupné z: <https://www.podkurou.cz/seznamte-se-s-kurovcem/zivotni-cyklus-kurovce>. [cit. 2024-05-10].
 7. LUBOJACKÝ, Jan; KNÍŽEK, Miloš a LIŠKA, Jan. *Symptomy napadení stromů kůrovci ve smrkových porostech*. Online. https://www.silvarium.cz/images/letaky-los/2018/2018_kurovci_symptomy_napadeni_kurovcoveho_drivi_ve_smrkovych_porostech.pdf. 2018. Dostupné z: https://www.silvarium.cz/images/letaky-los/2018/2018_kurovci_symptomy_napadeni_kurovcoveho_drivi_ve_smrkovych_porostech.pdf. [cit. 2024-05-10].
 8. *Lesnická práce*. 2018, roč. 2018, č. 6. 2018. ISSN 0322-9254.
 9. *Orkán Kirill*. Online. ČHMÚ. Český hydrometeorologický ústav. 2007. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/katastrofy/17zasedani/prudil_kirill.pdf. [cit. 2024-05-11].
 10. *Těžba dřeva podle druhů dřevin a typu nahodilé těžby*. Online. ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. Český statistický úřad. B.r. Dostupné z: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt-parametry&z=T&f=TABULKA&katalog=30841&zo=N&pvo=LES05&verze=1&nahled=N&sp=A&filtr=G~F_M~F_Z~F_R~F_P~_S~_null_null. [cit. 2024-05-11].
 11. GREPLOVÁ, Heda. *Kůrovcová kalamita v České republice – série publicistických rozhovorů pro časopis Sedmá generace*. Bakalářská práce. Brno: Masarykova univerzita, 2020.
 12. *Český student navrhl vlastní postřikovou technologii proti kůrovci*. Online. Česká věda do světa. B.r. Dostupné z: <https://ceskavedadosveta.cz/cesky-student-navrhl-vlastni-postrikovou-technologie-proti-kurovci/>. [cit. 2024-05-11].
 13. *Stav kůrovcové kalamity v lesích LS Černá Hora*. Černá Hora, 2020.
 14. LÖWE, Radim; HÝSEK, Štěpán; SEDLECKÝ, Miroslav; MODLINGER, Roman; SIKORA, Adam et al. *Jak kvalitní je dřevo z kůrovcem napadených smrků? Lze ho využít jako stavební dřevo?* Online. FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ ČZU V PRAZE. Ekolist.cz. 2022. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/priroda/jak-kvalitni-je-drevo-z-kurovcem-napadenych-smrku-lze-ho-vyuzit-jako-stavebni-drivi>. [cit. 2024-05-11].
-

-
15. Kůrovcem napadený strom nelze zachránit. Jak ochránit napadené dříví? Online. *Mezistromy.cz*. 2018, roč. 2018, č. 1, s. 1. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/lesni-kalamity/kurovcem-napadeny-strom-nelze-zachranit-aneb-ochrana-metody-asanace-napadeneho-drivi-ochrana-skladek/odborny>. [cit. 2024-01-03].
 16. ŠOTOLA, Vojtěch; LETÁ, Michaela a KŘESADLOVÁ, Lenka. KALAMITNÍ VÝSKYT KŮROVCE & OCHRANA HODNOT PAMÁTEK ZAHRADNÍHO UMĚNÍ. Online. 2023, roč. 2023, s. 6. Dostupné z: https://www.npu.cz/portal/o-nas/npu-a-pamatkova-pece/pamatky-a-pamatkova-pece/ml02-2023_kalamitni-vyskyt-kurovce-a-ochrana-hodnot-pazu.pdf. [cit. 2024-05-10].
 17. LESNICKÁ PRÁCE. *MECHANICKÁ I CHEMICKÁ ASANACE*. Online. Nekrmbrouka.cz. B.r. Dostupné z: <https://www.nekrmbrouka.cz/kurovcove-desatero/4-kombinujte-metody-asanace>. [cit. 2024-05-11].
 18. ZAHRADNÍK, Petr a ZAHRADNÍKOVÁ, Marie. *Katalog asanačních metod*. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2019. ISBN 978-80-7417-184-0.
 19. *Harvestorová technologie*. Online. DIVIŠ, Milan. Milan Diviš těžba a přibližování dřeva. B.r. Dostupné z: <https://divis-tezbadreva.cz/>. [cit. 2024-05-11].
 20. *Kůrovec 2021*. Online. Dostupné z: <https://www.kurovec2021.cz/>. [cit. 2024-01-03].
 21. *Management lesů s ohledem na kůrovce*. Online. Hnutí Duha. 2020. Dostupné z: <https://olomouc.hnutiduha.cz/aktuality/management-lesu-s-ohledem-na-kurovce/>. [cit. 2024-05-11].
 22. *Insekticidní postřik proti kůrovcům - instruktážní video L.E.S. CR 2020*. Online. L.E.S. CR SPOL. S R.O. L.E.S. CR GARDIM PLANTAX. B.r. Dostupné z: <http://www.lescr.cz/video-a-fotogalerie/>. [cit. 2024-05-11].
 23. HOLUŠA, Jaroslav; LUBOJACKÝ, Jan a RESNEROVÁ, Karolina. *Využití otrávených lapáků ve formě trojnožek proti lýkožroutu smrkovému (Ips typographus L.) a lýkožroutu severskému (Ips duplicatus Sahlberg) (Coleoptera: Curculionidae): certifikovaná metodika*. Lesnický průvodce. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2016. ISBN ISBN978-80-7417-113-0.
 24. POSPÍŠIL, Tomáš. *Aktuální situace chřadnutí smrkových porostů a kůrovcová kalamita z pohledu Lesů ČR*. Online. Ochrana přírody. B.r. Dostupné z: <https://www.casopis.ochranaprirody.cz/zamereno-na-verejnost/aktualni-situace-chradnuti-smrkovych-porostu-a-kurovcova-kalamita-z-pohledu-lesu-cr/>. [cit. 2024-05-11].
 25. ZAHRADNÍKOVÁ, Marie a ZAHRADNÍK, Petr. *Ochrana skládek dřeva před napadením lýkožroutem smrkovým - Ips typographus (L.) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): certifikovaná metodika*. Lesnický průvodce. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2015. ISBN ISBN978-80-7417-101-7.
 26. *Insekticidní síť Storanet*. Online. BASF. B.r. Dostupné z: <https://www.agro.basf.cz/cs/Pripravky/Overview/insekticid/Storanet.html#section-details>. [cit. 2024-01-28].
 27. *KOLOPÁSY PRO LESNICKÉ STROJE*. Online. SNOVIT. B.r. Dostupné z: <https://www.snovit.eu/>. [cit. 2024-03-17].
 28. ULRICH, Radomír. *Harvestorové technologie a jejich optimální užití v praxi*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2006. ISBN 80-737-5012-0.
 29. *Harvester technology*. Online. BLUETME. B.r. Dostupné z: <https://www.bluetme.com/>. [cit. 2024-03-17].
-

30. NERUDA, Jindřich. *Harvestorové technologie lesní těžby*. V Brně: Mendelova univerzita, 2013. ISBN 978-80-7375-842-4.
 31. *ATTACHMENT FOR A FORESTRY VEHICLE* (Czech Republic). Příhl.: 22.7.2019. Uděl.: 27.1.2021. EP3769614A1.
 32. *Objem stojícího stromu*. Online. Dřevaři. B.r. Dostupné z: <https://www.drevari.cz/calc-standing-tree-volume.php#goToPage>. [cit. 2024-04-14].
 33. *Vaztak_Active_letak*. B.r. Dostupné z: https://www.agro.basf.cz/Documents/info/product-leaflets/Vaztak_Active_letak.pdf. [cit. 2024-04-14].
 34. *Harvestorové hlavice*. B.r. Dostupné z: https://www.merimex.cz/john-deere/stroje-john-deere/harvestorove-hlavice/rada-200/john-deere-h290/?filename=harvheads_cz.pdf&do=downloadFile. [cit. 2024-04-14].
 35. *Agromanualshop.cz*. Online. B.r. Dostupné z: <https://agromanualshop.cz/scolycid-c-5/>. [cit. 2024-04-14].
 36. ERBER, Aleš. *DOTACE PRO VLASTNÍKY LESŮ*. Online. ALEŠ ERBER. B.r. Dostupné z: <https://www.aleserber.cz/inpage/dotace-pro-vlastniky-lesu/>. [cit. 2024-05-21].
 37. MACKŮ, Jan a GAŠPARÍK, Miroslav. *Harvestorová technologie*. Online. AGROjournal. 2015. Dostupné z: <https://www.agrojournal.cz/clanky/harvestorova-technologie-moderni-a-k-prirode-setrny-tezebne-dopravni-system-105>. [cit. 2024-05-22].
 38. *Tlakové ztráty u hadic na vodu*. Online. Tubes International. B.r. Dostupné z: <https://www.tubes-international.cz/technicke-informace/tlakove-zraty-u-hadic/>. [cit. 2024-05-12].
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbole

Označení	Legenda	Jednotka
V_n	objem hlavní nádrže na vodu	[l]
V_p	objem postřiku potřebný pro jeden strom	[l]
l_s	průměrná výška stromu	[m]
n_{max}	průměrná hodnota maximálního počtu pokácených stromů za den	[-]
v_s	rychlost průjezdu kmenu hlavicí harvestoru	[m/s]

Zkratky

Označení	Legenda
LIDAR	Light Detection And Ranging
PLC	Programmable Logic Controller

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Použití kolopásů pro kolové harvestory
Příloha 2 Rozmístění trysek na hlavici harvestoru



[37]



Rozmístění trysek na hlavici harvestoru

