

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa (FLD)



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

Reakce vybraných dřevin na mechanické poškození

Bakalářská práce

Štěpán Pochman

Ing. Václav Bažant, Ph.D.

2024



ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Štěpán Pochman

Systémová arboristika

Název práce

Reakce vybraných dřevin na mechanické poškození

Název anglicky

Wound closure of selected tree species

Cíle práce

Testovací sady mechanického poškození dřevin byly v roce 2023 před začátkem růstu realizovány na pokusných stromech v Arboretu FLD v Kostelci nad Černými lesy. Umělá zranění byla provedena na 50 stromech na druhích: bříza bělokorá, borovice lesní, dub červený, dub letní a habr obecný. Cílem bakalářské práce je vyhodnotit dynamiku uzavírání ran po prvním roce.

Metodika

Literární rešerše – obranné reakce dřevin při mechanickém poškození

Metodika práce – popis založení a průběhu pokusu

Výsledky – analýza naměřených dat

Diskuze – doporučení do arboristické praxe

Závěr

Doporučený rozsah práce

v rozsahu 40-50 stran

Klíčová slova

mechanické poškození dřevin, kalusové pletivo, uzavírání ran

Doporučené zdroje informací

- Giannino F., Hay Mele B., De Micco V., Toraldo G., Mazzoleni S., Carteni F. 2019: An Individual Based Model of Wound Closure in Plant Stems. IEEE Access 7, 2019. DOI:10.1109/ACCESS.2019.2915575
- Mattheck, C., Bethge, K., Weber, K., 2015: The Body Language of Trees. Karlsruhe Institute of Technology – Campus North, 548 p. ISBN 978-3923704897.
- Neely D. 1988: Tree wound closure. J. Arboriculture, vol. 14, no. 6, pp. 148–152.
- Rademacher P., Shigo A. L. 1984: Characteristics of xylem formed after wounding in Acer, Betula, and Fagus, IAWA Bull., vol. 5, no. 2, 141–150.
- Shigo A.L. 1984: Compartmentalization: A Conceptual Framework for Understanding How Trees Grow and Defend Themselves Annual Review of Phytopathology. 22 (1): 189–214.
DOI:10.1146/annurev.py.22.090184.001201.
- Tavankar F., Ezzati S., Latterini F., Lo Monaco A., Venanzi R., Picchio R. 2022: Assessment of Wound Recovery and Radial Growth 10 Years after Forest Operations in Hardwood Stands. Forests, 13(9):1393. <https://doi.org/10.3390/f13091393>
- Wessolly L., Erb M. 2016: Manual of Tree Statics and Tree Inspection. Patzer Verlag, Berlin-Hanover, 288 p.
- Zajączkowska U. 2014: Regeneration of Scots pine stem after wounding. IAWA Journal 35 (3), 2014: 270–280.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Václav Bažant, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 31. 1. 2024

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2024

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Reakce vybraných dřevin na mechanické poškození vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne: 5. 4. 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Václavu Bažantovi, PhD. za vedení při zpracovávání této práce, dále bych chtěl poděkovat mým rodičům, kteří mě během studia podporovali.

Reakce dřevin na mechanické poškození

Souhrn

K mechanickému poškození kmene stromů může dojít kdykoli. Toto riziko je způsobené zvěří, lidmi nebo nepříznivými okolními podmínkami. Základními reakcemi na poškození je dělení buněk, obnova cévních svazků a tvorba sloučenin sloužících k ochraně buněk v blízkosti rány. Dělení buněk je zajištěno kalusem. V teoretické části práce bude popsán samotný proces tvorby kalusu a jeho následná rediferenciace. Hojivý proces je ovlivňován celou řadou interních a externích faktorů které budou v práci popsány. Pochopení procesu tvorby kalusu a faktorů, které tento proces ovlivňují je nezbytné pro správné posouzení rizik spojených s ořezem stromů. Závěry, které lze vyvodit z výsledků zjištěných v praktické části jsou většinou v souladu s jinými odbornými publikacemi. Z těchto výsledků lze uvést, že rány na kmene stromu zarůstají výrazně rychleji z jejich bočních stran, než ze strany vrchní a spodní. Dále, že se vyskytují rozdíly v hojení ran jednotlivých druhů dřevin. Také lze uvést, že pomalu rostoucí krytosemenné dřeviny zarůstají ránu rychleji ve srovnání s dřevinami rychle rostoucími. Určité nejasnosti jsou v otázce vlivu orientace více ran na rychlost tvorby kalusu, protože existují rozdíly v rychlosti tvorby kalusu, pokud jsou rány orientovány vedle sebe nebo nad sebou.

Klíčová slova: mechanické poškození dřevin, kalusové pletivo, uzavírání ran

The reaction of woody trees to mechanical damage

Summary

Mechanical damage to tree trunks can occur at any time. This risk is caused by wildlife, humans or adverse environmental conditions. The basic reactions to damage are cell division, the renewal of vascular bundles and the production of compounds used to protect cells in the vicinity of the wound. Cell division is ensured by callus. In the theoretical part of the thesis the process of callus formation and its subsequent redifferentiation will be described. The healing process is influenced by a number of internal and external factors which will be described in the thesis. Understanding the process of callus formation and the factors that influence this process is essential to properly assess the risks associated with tree pruning. The conclusions that can be drawn from the results found in the practical part are mostly in line with other scientific publications. These results show that wounds on the trunk of a tree grow significantly faster on the lateral sides than on the upper and lower sides. Furthermore, there are differences in wound healing between different species of tree. It may also be noted that slow-growing trees overgrow wounds more rapidly than fast-growing trees. There is some confusion about the effect of the orientation of multiple wounds on callus formation rates, as there are differences in callus formation rates when wounds are oriented side by side or on top of each other.

Keywords: mechanical damage to woody plants, callus tissue, wound closure

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Cíl práce	12
3 Literární rešerše	13
3.1 Proces hojení ran	13
3.1.1 Odkornění	14
3.1.2 Rána zasahuje do dřeva	17
3.1.3 Průběh hojení u nahosemenných dřevin	21
3.2 Faktory ovlivňující průběh zarůstání poškození	23
3.2.1 Velikost rány	23
3.2.2 Tvar rány	24
3.2.3 Korní můstek	25
3.2.4 Vitalita	26
3.2.5 Druh dřeviny	27
3.2.6 Doba, kdy došlo k vytvoření poškození	28
3.2.7 Dieback	29
3.3 Kompartmentalizace.....	29
3.4 Příčiny poškození a jejich specifikace	32
4 Metodika	34
4.1 Lokalizace	34
4.2 Přírodní podmínky	34
4.3 Systém zaznamenání	35
4.4 Typy a specifika poranění	36
4.5 Tvorba poranění	37
4.6 Pozorování vytvořených poranění	37
5 Výsledky	38

5.1 Druhy testovaných dřevin	38
5.2 Porovnání příčného a podélného růstu kalusu	45
5.3 Vliv orientace více ran na rychlost tvorby kalusu	46
6 Diskuze	47
7 Závěr.....	50
8 Literatura	52
9 Samostatné přílohy	61

1 Úvod

Proces tvorby hojivého kalusu na povrchu rány je zásadním prostředkem, kterým stromy mohou zajistit obnovu funkcí, které jsou poskytovány kmenem dřeviny. Poškození přímo ovlivňují růstový potenciál stromu skrze růstové reakce na poškození. Tyto reakce záleží na několika faktorech, na relativní velikosti poškození, na fyziologických omezeních a okolních podmínkách (V. de Micco et al., 2013; G. Di Pasquale et al., 2005). Podrobné a přesné informace o reakcích navazujících na vytvoření rány na kmeni dřeviny jsou nezbytné pro pochopení procesu, který má za účel udržení životních funkcí dřeviny a její celkové přežití na stanovišti.

Cílem této práce je popsat proces tvorby hojivého kalusu na povrchu rány. Je nutné podotknout, že existují určité rozdíly v rychlosti hojivého procesu v závislosti na hloubce rány a také mezi odděleními taxonomických kategorií (*Magnoliophyta* a *Gymnospermeae*). V této práci budou uvedeny rozdíly spolu s popisem procesu na fyziologické úrovni. Dalším cílem je popsání faktorů, které by mohly mít vliv na rychlost tvorby hojivého kalusu. Z pohledu arboristiky je důležité posouzení vlivu orientace více ran na rychlost tvorby kalusu. Přesněji řečeno, zda se rychleji hojí rány, pokud jsou vytvořeny vedle sebe či nad sebou.

Vzhledem k závažnosti poranění, dřevina disponuje řadou reakcí, které jsou spuštěny mechanickým poškozením. Lze je rozdělit na anatomické a fyziologické reakce, které brání nebo zpomalují možné šíření infekce. Tyto procesy mohou probíhat současně. Vnější procesem je uzavření rány, tvorba kalusového pletiva za účelem překrytí poškozeného místa a izolaci xylému od vnějšího prostředí. Vnitřním procesem je kompartmentalizace vnitřní části kmene, vytvořením obranných zón za účelem zpomalení a izolace patogenního organismu v místě poranění, tento model CODIT navrhnul A. L. Shigo (1984). Při popisu růstových reakcí vzniklých poraněním dřeviny je nutné brát v úvahu oba tyto procesy.

Stromy jsou dlouhověké organismy neschopné pohybu. Hlavně v městském prostředí dochází z důvodu jejich provozní bezpečnosti k poměrně častým zásahům ve formě ořezu. Rány na kmeni stromu mají přímý a nepřímý vliv na jeho život. Přímo ve formě ztráty fotosyntetických a cévních buněk nebo nepřímo

ve formě vstupní brány pro patogenní organismy, jako jsou dřevokazné houby nebo hmyz (Chano, Víctor, et al.; 2015).

V literární rešerši bude popsán proces tvorby hojivého kalusu. Tento proces bude rozdělen do tří kapitol. První kapitola se bude věnovat odkornění, které má rozdílný proces hojení, protože se hojivý kalus začíná tvořit na povrchu rány. Druhá kapitolu se bude věnovat poškození, které proniká až do dřeva stromu a kalus začíná zarůstat ránu z jejího obvodu. Třetím popsáním typem bude tvorba kalusu u nahosemenných dřevin, protože se liší tím, že zalijí ránu pryskyřicí. V další části budou popsány jednotlivé faktory, které ovlivňují tvorbu hojivého kalusu. Významnými faktory je vitalita dřeviny, druh dřeviny a specifika rány jako je její velikost nebo doba, kdy došlo k poškození. Další kapitola se bude věnovat kompartmentalizaci, protože se jedná o proces, který nelze opomenout v problematice reakcí na mechanická poškození kmene dřevin. Poslední částí literární rešerše je popsání příčin poškození s jejich specifickými, které se liší podle způsobu, jakým byla rána vytvořena.

2 Cíl práce

Cílem této práce je popsat proces spojený s obnovou buněk a jejich funkcí následkem mechanického poškození báze stromu. Spolu s popisem samotného procesu budou v práci popsány i skutečnosti, které tento proces ovlivňují. Tím jsou myšlena specifika rány, stav stromu nebo vlastnosti dřeviny. Jedním z cílů bude vyhodnocení umělého poškození a posouzení schopnosti vybraných druhů dřevin tvořit kalus, těmito druhy jsou bříza bělokorá, borovice lesní, dub červený, dub letní a habr obecný. Dalším cílem bude posouzení vlivu orientace více ran vůči sobě na rychlost tvorby kalusu, zda se rychleji hojí více ran vedle sebe nebo více ran nad sebou.

3 Literární rešerše

3.1 Procesy hojení rán

Pro rostliny je poškození vstupní branou pro patogeny, je tedy jasné že evoluce přišla na několik řešení tohoto problému (N. T. Amponsah et al. 2015.; E. K. Sutherland and K. T. Smith 2000; V. de Micco et al. 2016; K. V. Tubby, I. H. Willoughby, and J. Forster, 2017). Zacelení rány na kmeni stromu je komplexní, víceúrovňový proces, který zahrnuje vytvoření nových vrstev buněk. Tyto vrstvy buněk zajišťují v lepším případě úplném pokrytí poškozené části stromu novou vrstvou buněk, nebo alespoň překrytí co největší možné části poškozeného místa. Toto nově vytvořené pletivo má specifické vlastnosti a specifickou funkci a nazýváme ho kalusového pletivo neboli kalus. Toto pletivo zajišťuje šíření a růst buněk na povrchu rány. (Francesco Giannino et al. 2019).

Růst kalusové pletiva je regulován bazipetalním tokem produktů ve kmeni, tyto produkty byli syntetizovány v koruně, v asimilačních orgánech listech. Jedná se převážně o sacharidy a regulátory růstu. Pokud je asimilační tok ztížený dochází k dělení buněk kambia a kalusu. Naopak pokud asimilační tok proudí volně, dochází k redukci dělení buněk kambia a limitaci tvorby kalusového pletiva. Zároveň, pokud bychom se podívali na příčný řez kmenem stromu, mohl by zde být vidět letokruh, který je na jedné straně značně zvětšen a na druhé zase zmenšen. Rychlé zarůstání poškozeného místa, by se očekávalo tam, kde je letokruh širší a naopak, pomalé zarůstání poškozeného místa by bylo na straně, kde je užší letokruh (Neely, 1988).

Síly působící na strom směřují svým působením dolů do kořenového systému. Tyto síly jsou vychýleny a obtékají kolem poraněného místa, kde způsobují přídatný stres. V těchto místech na obou stranách dochází ke zvětšení letokruhů a zvětšené produkci pletiv stromu za účelem zvětšení plochy sloužící k vyrovnání působících sil. Tento intenzivní růst a jeho akumulace v místech zvýšeného toho napětí se ukazuje jako velmi účinný mechanismus určité obnovy biomechanické a transportní funkce kmene stromu (Mattheck and Kubler (1995).

Poranění je v této práci rozděleno do dvou způsobů zarůstání ran dle hloubky poškození:

3.1.1 Odkornění

Studie, kterou vydal H. Stobbe et al. (2002) odhalila, že pokud dojde k odkornění během vegetační doby, většinou na povrchu rány zůstanou nediferenciované mladé xylémové buňky, které se začnou množit a dělit. Tento proces signalizuje nástup tvorby povrchového kalusu na celé ploše rány nebo na jejích částech, kde nedošlo k hlubšímu poškození. V případech, kdy na povrchu rány zůstávají pouze buňky, které již začali tvořit sekundární stěny, se toto kalusové pletivo nemůže tvořit a rána se musí začít zacelovat od jejího obvodu. Existuje několik případů, kdy se diferenciované axiální parenchymatické buňky a buňky dřevných paprsků začali množit (Sharples and Gunnery 1933; Fisher 1981).

Při odkornění je často spolu s kůrou odstraněno i kambium, ale pokud se neodstraní, vytvoří vrstvu zhroucených buněk chránících nediferenciované xylémové buňky pod ní. Proto se v tomto případě kambium přímo nepodílí na tvorbě kalusu. Hloubka rány a počet buněk, které zůstávají na povrchu rány a jsou schopné se dělit, ovlivňuje růst kalusu na povrchu rány (H. Stobbe et al., 2002).

Tento případ, kdy došlo k úplnému odstranění svrchní borky, ale nebylo poškozena nejsvrchnější položená vrstva živého xylému, může vést k úplnému překrytí poškozeného místa. (Zhengli and Keming, 1988; McDougall and Blanchette, 1996; Kielbaso and Hart, 1997; Dujesiefken *et al.*, 2001). Tento lehčí typ poškození je známý a popisovaný přibližně 200 let, je častým výsledkem dopravních nehod nebo bezohledné těžby dřeva v lesích (H. Stobbe et al., 2002).

Proces tvorby kalusu přímo z povrchu rány je možný pouze u krytosemenných rostlin. Reakce nahosemenných dřevin je typicky v produkci pryskyřice na povrchu rány. Toto zalití poškození pryskyřicí je účinnou bariérou proti možné infekci dřevokaznými houbami, hmyzu atd. ale zároveň zabraňuje procesu hojení na povrchu rány. Uzavření rány se tak musí provádět z jejích okrajů, což je pomalejší proces, který velmi často trvá i několik let do úplného uzavření narušeného povrchu. (Chano, Víctor, et al.; 2015)

Proces tvorby kalusu při odkornění lze zjednodušeně rozdělit do tří na sebe navazujících fází, které mají za cíl zacelení rány:

První fáze – tvorba kalusu

První fáze můžeme popsat jako dělení buněk. Během této fáze dochází k velkému množství buněčného dělení v oblastech, kde po vzniku poškození ještě zůstává na okraji rány diferenciační xylém. Tímto procesem vzniká mladé kalusové pletivo, které je tvořeno isodiametrickým typem parenchymatických buněk. (H. Stobbe et al., 2002).

Reakce po několika dnech od vytvoření rány byla následující, několik vrstev buněk na povrchu rány začalo kolabovat a odumírat. Při detailnější analýze bylo zjištěno, že tyto vrstvy buněk obsahovaly buňky nejvnitřnějšího floému a kambia. Uvnitř této zóny se nediferencované buňky xylému bez sekundární stěny začali myoticky množit. Parenchymatické dřevové paprsky se také začali dělit a množit a tím pádem přispívat k tvorbě kalusu (Stobbe et al., 2002)

Studie dále odhalila, že axiálně prodloužené buňky diferenciační zóny vnitřního xylému začali tvořit transverzální stěny. Díky pokračujícímu dělení buněk a zvětšování buněk dceřiných, se toto pletivo s isodiametrickými buňkami začalo rychle zvětšovat v radiálním a tangenciálním směru. Ukázalo se, že nediferencované xylémové buňky ve stádiu tvorby primárních stěn se podíleli na tvorbě kalusu. V důsledku toho vzniklo výhradně parenchymatické pletivo bez cév, cévic a dřevových paprsků, které je přímo sousedící s letním dřevem letokruhů z loňského roku, nebo vedle aktuálního roku jarního dřeva založeného před poraněním, ve kterém buňky měly již sekundární stěny. Buňky zkolabované zóny se nikterak nepodíleli na tvorbě kalusu, ale vytvářeli ochranou vrstvu podkladovému pletivu. Bakterie často kolonizovali tuto zónu, ale nikdy nebyli nalezeni v živých pletivech (H. Stobbe et al., 2002).

Během této vývojové fáze bylo zjištěno, že kalusové pletivo je poměrně měkké. Elektronový mikroskop odhalil, že jednotlivé buňky tohoto raného kalusové pletiva mají velkou vakuolu a úzkou vrstvu cytoplazmy připojenou k tenké primární stěně. Docházelo k častému dělení buněk, což ukazuje na rychlé zvětšení. Rovina nově vytvořených stěn byla bez převažující orientace, což vedlo k formaci nestrukturovaného pletiva. Dále byly pro toto mladé kalusové pletivo

charakteristické četné mezibuněčné prostory. Později byli tyto prostory postupně uzavřeny fibrilárními a granulárními substancemi, které byly vyloučeny ze sousední buňky skrze tenkou primární stěnu. Občas kalusové buňky degenerovaly a nakonec zkolabovaly, v tomto případě se sousední buňky rychle zvětšily, aby zaplnily vzniklou mezeru (H. Stobbe et al., 2002).

Druhá fáze – tvorba peridermu

Druhá fáze lze popsat diferenciací vytvořených buněk kalusového pletiva. Během této navazující fáze tedy dochází k diferenciaci buněk kalusu vytvářením felogénu. V době 4 až 8 týdnů po vzniku poranění byla vrstva mladého kalusového pletiva zřetelná jako bílá oblast, naopak oblasti zbarvené do černa se ukázali jako ty, kde se kalusové pletivo nezačalo tvořit (H. Stobbe et al., 2002).

Parenchymatické buňky uvnitř zkolabované zóny začaly na své primární stěně ukládat tenkou vrstvu z látek podobných suberinu. Zároveň byly ve vakuolách těchto buněk pravidelně pozorovány fenolické sloučeniny zbarvené do tmavých barev. O několik řád více do středu bylo v některých buňkách pozorováno dělení buněk, kde nově vytvořené buňky měli přísně tangenciální stěny. Tvar těchto buněk se změnil z isodiamterického tvaru na radiálně zploštělý. Tento diferenciační proces byl poprvé pozorován 4 až 8 týdnů po poranění v některých oblastech, později se prodlužoval tangenciálně až dokud nevytvořil souvislý pás. Tento pás mohl být identifikován jako felogén vyvíjejícího se ranového peridermu na základě jeho polohy a struktury. Formace ranového peridermu byla dokončena v následujících týdnech vytvořením felému na vnější straně a felodermu na vnitřní straně felogénu. Buňky felému mají ztloustlou vrstvu podobnou suberinu na vnitřní straně stěny a obsah vakuol s několika plasmodesmy a fenolickými sloučeninami (H. Stobbe et al., 2002).

Třetí fáze – tvorba kambia

Ve třetí fázi dochází k vytvoření kambialní zóny mezi ranným peridermem a xylémem vzniklým před poraněním. Tento proces je iniciován antiklinálním a periklinálním dělením pouze několika buněk kalusového pletiva. V průběhu času se tento proces tangenciálně rozšiřuje a tím vytváří souvislý pás z ranového kambia. Následně na to, toto kambium začne produkovat ranný xylém a ranný

floém a tím napomáhá dalšímu tloustnutí vytvořeného pletiva (H. Stobbe et al., 2002).

Hned po dokončení ranového peridermu, se ve vnitřních vrstvách kalusu začalo tvořit nové meristemické pletivo. Zpočátku se pár kalusových buněk dělí, vytvoří radiální a tangenciální stěny, což vede ke zmenšení velikosti těchto buněk a tangenciálnímu zploštění. V tomto pletivu se nevyskytuje žádný mezibuněčný prostor. Kromě toho, tyto buňky vykazují axiální prodloužení. Znovu, byl tento proces zahájen v několika oblastech, později byl tangenciálně rozšířen, aby se vytvořila kompletní vrstva ranového kambia (H. Stobbe et al., 2002).

V důsledku buněčného dělení a diferenciaci ranového peridermu a ranového kambia došlo k celému pokrytí rány kalusovým pletivem, který se dále dělil a diferencioval. Během období vegetace trvalo 8 až 11 týdnů, než byla dokončena tvorba ranového kambia (H. Stobbe et al., 2002).

V době 13 až 16 týdnů buňky v místě poranění vykazovaly ranový xylém a ranový floém, které byly vytvořeny ranovým kambiem. Ranový xylém průměrně obsahoval méně a menší cévy a také více axiálních parenchymatických buněk, ve srovnání s běžným xylémem. Dále byli patrné znaky reorganizace dřevných paprsků. Zóna buněk s tenkými sekundárními stěnami a bez cévic byla běžně lokalizována jako jakási jizva mezi ranovým xylémem a běžným xylémem vytvořeným před poraněním, představující kalusové pletivo původně vyvinuto na povrchu rány. Na vnější straně pak povrch kalusu obsahoval plně diferenciovaný periderm, charakterizovaný několika řadami buněk felému se ztloustlou suberizovanou vrstvou na vnitřní stěně. Povrchový kalus byl plně vyvinut během období 4 měsíců po poranění (H. Stobbe et al., 2002).

3.1.2 Rána zasahuje do dřeva

Krytosemenné dřeviny nemohou započít běžný proces hojení ran, který byl popsán v předchozí kapitole v případě, kdy v hlubokých ranách dojde k obnažení a vyschnutí dřeva a posléze dřevo odumře. Na odumřelém povrchu se nemůže začít tvořit kalus. Kalus nejdříve přerůstá ránu z jejích okrajů do bodu, kdy je rána pokryta tímto nově vzniklým kalusem. Později se kalus rediferenciuje na xylém, sekundární floém a kortikální pletiva. Kalus nejčastěji pochází z cévního kambia,

ale může být iniciován i dřeňovými paprsky nebo jinými buňkami parenchymu (Neely, 1988).

Hlubší poranění způsobí větší poškození a může ovlivnit i vnitřní dřevo, což může vést k rozpadu jedince v delším časovém horizontu. Poškození kambia na kmeni, ovlivní translokaci, způsobí zbarvení dřeva a podpoří infekce dřevokaznými houbami způsobující rozklad dřeva (Shigo 1984). Vzhledem k riziku infekce dřeviny patogenními organismy skrze ránu je nutné tuto oblast izolovat od vnějšího prostředí co nejrychleji. Zejména pokud jde o časovou dynamiku uzavírání rány, jsou dva nejdůležitější parametry míra zvětšení buněk a práh jejich dělení. K dělení buněk kalusové pletiva, jejich zvětšení a diferenciaci dochází ve stejnou dobu, kdy dochází k dělení a diferenciaci buněk kambia. Ve větvích a kmenech většiny listnatých stromů v mírném pásmu dochází k těmto procesům v květnu, červnu a červenci. Ve zbývajících měsících dochází pouze k velmi malému růstu kalusového pletiva. Chceme-li tedy aby se rána uzavřela v co nejkratší době, je vhodné provádět tyto úkony těsně před začátkem jarního růstu (Neely, 1988).

Anatomické vlastnosti dřeviny jsou důležité, protože přímo určují obrannou schopnost bariér, tvořených při vzniku poranění. Vlastnosti dřeva jsou určeny metabolickým a molekulárními procesy. Tyto anatomické vlastnosti a reakce na mechanické podněty se často ovlivňují, například je možno uvést, že sekundární diferenciaci cévních buněk na buňky kalusu je závislá na poměru mezi auxiny a cytokininy. Tento poměr je ovlivněn mechanickým podněty a způsobí zvýšenou produkci buněk v místě poškození. (M. Ikeuchi et al.; 2013). Trend růstu dřevin je závislý jak na interakcemi mezi buňkami, tak na vnitřní dynamice buněk, která je z velké části určována genetickým kódem dřeviny (C. P. Heisenberg and Y. Bellaïche; 2013).

Francesco Giannino et al.; (2019), vydali studii, jejíž praktickou částí bylo vytvoření počítačového modelu, který by byl schopný napodobit procesu zarůstání ran na kmeni. Tento simulovaný model je založen na buněčném růstu, přičemž toto buněčné dělení a růst je bráno jako pravděpodobnostní proces, který je ovlivněný souhrou mezi mechanickými vlastnostmi buněčné stěny a vnitřním tlakem protoplastu. Tento rámeček předpokládá, že se buňka zvětšuje až do stavu,

kdy se vnitřní tlak, tedy vodní potenciál a napětí stěn dostanou do vzájemné rovnováhy. Samozřejmě při současném růstu více buněk bude každá z nich ovlivněna i mechanickým tlakem, který působí její susedé. Tvar buňky a rychlost jejího růstu bude proto ovlivněn mechanickými vlastnostmi buňky samotné, ale i buněk, které ji obklopují. Tento mechanický vliv sousedních buněk znamená, že buňky budou vykazovat různé chování na základě své relativní polohy. I v tomto zjednodušeném modelu ukazuje časová dynamika simulovaného pletiva, že existence rány způsobuje změnu růstových trajektorií buněk množících se kolem rány, která je v důsledku této změny překryta novými buňkami. Tento simulovaný model jasně ukazuje, že mechanické interakce mají stěžejní roli v dynamice uzavírání ran.

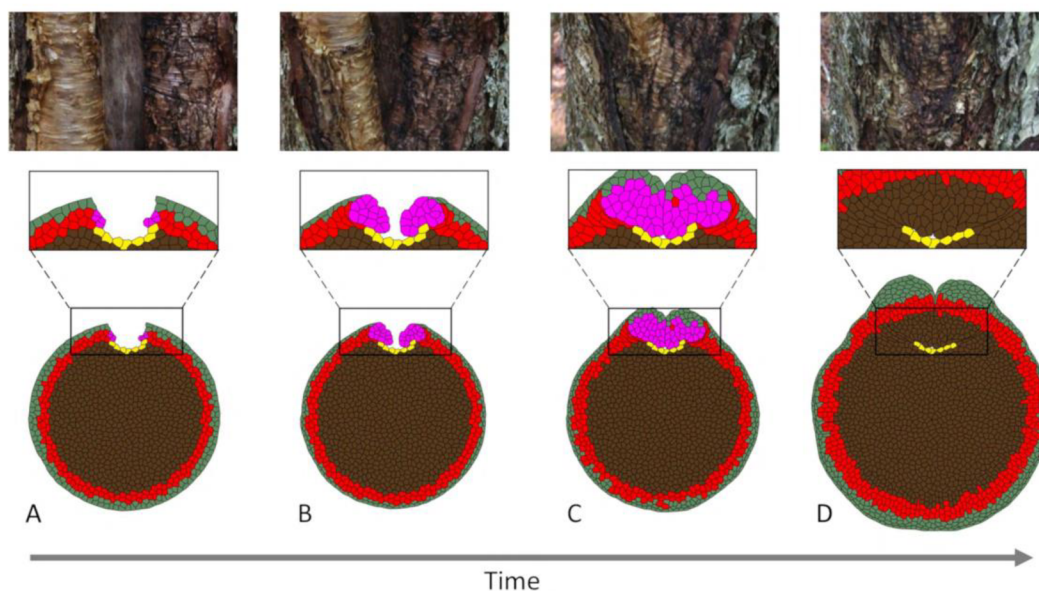
Proces zarůstání rány lze rozdělit do dvou fází, přičemž první je fáze obnovovací a druhou je fáze stabilizační. Fáze obnovovací je spojena s progresivní tvorbou kalusových buněk za účelem pokrytí poškozeného místa novou vrstvou buněk a také je spojena s mechanickou dynamikou buněk, která je popsána výše. Druhou fází je fáze stabilizační, která začíná ve chvíli kdy je rána zcela překryta novou vrstvou buněk a nové kambium započne sekundární tloustnutí v poškozené oblasti (Francesco Giannino et al.; 2019).

Vytvoření poškození spouští diferenciaci kambiálních buněk v blízkosti rány na kalusové buňky, které jsou schopny se velice rychle množit. V prvních fázích hojení rány se kalusové buňky dále množí směrem k mezeře, protože současně probíhající působení buněčných interakcí omezuje růst buněk ve směru chybějících buněk, tedy rány. Postupně kalusové pletivo záplní ránu a pohltí odkryté dřevo, tímto pohlčením dojde k izolaci poškozeného místa od vnějšího prostředí (Francesco Giannino et al.; 2019).

Jak se kalusové buňky dělí, vyvolává to mechanické napětí nad buňkami kambia, které ho obklopují, což by způsobilo, že by se kambium v této oblasti protáhlo. Ve chvíli, kdy se kalusové valy dostanou do vzájemného kontaktu, dochází k přerozdělení mechanických sil a tím se změní mechanické omezení růstových směrů. Takováto změna výrazně ovlivní růst pletiva, a to do obráceného směru, než byl v předchozí fázi (Francesco Giannino et al.; 2019).

Po zaplnění poškození buňkami kalusu, tyto buňky začnou zmenšovat svůj objem, aby se mohli zvětšit a rozdělit a uvolnili na to prostor. Toto způsobuje dva hlavní důsledky. Kalus začíná tvořit vybouleninu k hranici pletiva, a zpomaluje jejich expanzi, což povede k rediferenciaci buněk kalusu. Nejdříve jejich dělení směřuje od vnitřku ke vnějšku a vytvoří se viditelná vyboulenina. Poté, protože některé buňky nikdy nedosáhnou oblasti prahu dělení, rozlišují se na kambium a poté buď na xylém nebo floém podle své prostorové orientace. Od této chvíle se zdravá část stromu dále dělí a zvětšuje obvod kmene, zatímco zóna obklopující ránu se začne vyboulovat (Francesco Giannino et al.; 2019).

Na konci této fáze lze pozorovat malou zbývající mezeru mezi kalusovými buňkami a xylémem. Tato mezera nebude vyplněna xylémem, který je statický, ani kalusem, který má v tomto počítačovém modelu omezený stupeň deformovatelnosti. V reálném prostředí má ránu utěsnit vysoký tlak mezi kalusovými valy spolu s tvorbou materiálů jako jsou například pryskyřice nebo guma které mají za úkol ránu utěsnit. Na konci tohoto procesu je rána kompletně obklopena buňkami xylému a izolována zvenku (Francesco Giannino et al.; 2019).



Obrázek č. 1 - Modelová simulace uzavření rány v průřezu kmene dřeviny. A-D: Zleva doprava, každý sloupec představuje snímek v čase. V horní řadě jsou obrázky rány na kmene stromu, které slouží pro porovnání vývoje zarůstání rány vytvořené simulací. Žluté buňky představují odhalené dřevo při poranění. Červené buňky představují kambium. Zelené buňky představují borku. Fialové buňky znázorňují kalus. (Giannino, Francesco, et al., 2019)

3.1.3 Průběh hojení u nahosemenných dřevin

Studie, kterou vydal Víctor Chano et al. (2015) se zaměřuje na proces hojení ran u borovice kanárské (*Pinus canariensis*), která byla zvolena jako vhodný modelový druh pro studium reakce na mechanické poškození jehličnatých dřevin vzhledem k tomu, že vykazuje mimořádnou hojivou schopnost, a dokonce má schopnost tvořit nové výhony i v dospělosti, což je neobvyklé u jehličnanů. Poškození bylo vytvořeno na 24 jedincích ve věku tři let.

Nahosemenné dřeviny hojí mechanická poškození kmene pouze růstem okrajů rány, pomocí zvýšenému periklinálnímu a radiálně antiklinálnímu dělení kambia. Nebyla pozorována proliferace jiných pletiv než kambia, jako je floém nebo radiální parenchym (Víctor Chano et al., 2015)

První reakcí na poškození byla u testovaných jedinců vytvoření pryskyřice na povrchu rány, tato reakce je shodná u většiny jehličnatých dřevin. Proces uzavření rány probíhal od okrajů rány. Byli zjištěny určité rozdíly v dynamice procesů hojení na bočních stranách a vrchní nebo spodní straně rány. Tento hojící proces lze zjednodušeně rozdělit do pěti kroků (Víctor Chano et al., 2015).

1) Lignifikace a suberizace kortikálních parenchymatických buněk

První zřejmá reakce byla detekována v borce 8 dní po vzniku poranění. *Pás široky přibližně 3 až 5 parenchymatických buněk za boční stranou poškození začal lignifikovat.* Tento proces zajistil první bariéru, která minimalizuje ztrátu vody a možný vstup patogenů do kůry (Víctor Chano et al., 2015). Jako první tento proces popsal Mullick (1975) pro poranění kůry u rodů *Abies*, *Tsuga* a *Thuja*. Po dalších sedmi dnech, tedy po 15 dnech od poranění je detekován také suberin v tomto pásu buněk. Časová odezva je podobná té, která byla hlášena u ostatních jehličnanů. (Wahlström KT, Johansson M, 1992; Rittinger PA, Biggs AR, Peirson DR, 1987). U mladých výhonů druhů *Picea abies*, *Thuja orientalis* a *Metasequia glyptostroboides* lze pozorovat jen lehkou lignifikaci v období 7 až 10 dní po poranění (Gardner RO, 1975), u *Pinus canariensis* je již detekovatelná vrstva silně suberizovaných kortikálních parenchymatických buněk (Víctor Chano et al., 2015).

2) Rozvoj traumatického peridermu

V období dva až čtyři týdny po poranění dochází k diferenciaci a dělení traumatického felogénu přímo za vrstvou lignifikovaných buněk. Tento traumatický periderm se spojí s původním peridermem a vrstvou kalusu která prošla lignifikací a suberizací. Tímto dojde k vytvoření nepropustné bariéry. Buňky mimo tento felém vysychají a odumírají, izolují patogeny, kteří by mohli infikovat odhalené kortikální buňky a blokují infekci (Víctor Chano et al., 2015).

3) Iniciaci kalusu

Přibližně ve stejný čas jako dochází k rozvoji traumatického peridermu je znatelná i počáteční proliferace v kambiální zóně, v blízkosti bočních okrajů rány. Kambium se kroutí dovnitř, směřujíc k povrchu rány (Víctor Chano et al., 2015). V blízkosti hranice rány je větší podíl radiálních antiklinálních dělení (P. Zajaczkowska, 2014), čímž dochází k produkci dalších kambiálních buněk. Současně prvním periklinálním dělením vznikají směrem ven parenchymatózní buňky, které tvoří ochranný kalus. Vnější část tohoto kalusu lignifikuje a suberizuje. Krátce na to, se diferencuje nový traumatický felogén, který zakládá nový periderm ve vnější části parenchymatózního okraje. Ve ventrální části léčivého kalusu se netvoří žádný periderm. Některé tracheidy na povrchu rány jsou vyplněny tříslovinami (Víctor Chano et al., 2015).

4) Diferenciace vaskulárních pletiv

Dále se kambium rozrůstá díky antiklinálnímu dělení a tvoří nová vaskulární pletiva periklinálním dělením. K vytvoření xylému dochází dostředivým dělením, které donutí kambium k obnově jeho normální pozice, paralelní k povrchu orgánu. Takto vzniklý traumatický xylém obsahuje vysoký podíl pryskyřičných kanálků, axiální parenchym a tracheidy nepravidelného tvaru (Víctor Chano et al., 2015). Tento jev je popsán i u jiných druhů (Arbellay et al., 2014; P. Zajaczkowska, 2014, Owen P, Toreli N, 1999). Ke tvorbě floému dochází později než ke tvorbě xylému (Víctor Chano et al., 2015).

5) Uzavření rány

Předchozí dvě fáze mohou probíhat i několik let, v závislosti na proporcích rány a vitality jedince. Dochází k postupnému růstu buněk na bočních stranách rány (Víctor Chano et al., 2015). Je nutné podotknout, že při uzavření rány a

styku bočních stran dochází k přerušení obvodu vaskulárního kambia a je patrný vysoký podíl parenchymových buněk na přední straně traumatického xylému. Buňky tenkého traumatického peridermu a parenchymové kalusové buňky kolabují, jak se kambium opět uzavírá a tvorba dřeva pokračuje do této oblasti. (Hamada et al. 2009).

3.2 Faktory ovlivňující průběh zarůstání poškození

Proces zarůstání poškozeného místa kalusem je komplexní proces ovlivňovaný širokou škálou faktorů. Pochopení významu těchto faktorů na dynamiku zarůstání rány je klíčovou znalostí pro vyhodnocení možného rozvoje rány a s ním spojených rizik.

Faktory ovlivňující procesy hojení mohou být několika typů, ale je nutné se uvědomit, že se tyto faktory navzájem ovlivňují. Velmi zásadním faktorem je relativní velikost rány, ale určitý vliv může mít i její tvar, její vertikální rozmístění na kmeni, nebo prostorová orientace v případě většího počtu ran ve vzájemné blízkosti. Ukázalo se, že poměrně velký vliv na dynamiku zarůstání má i doba ve které bylo poškození vytvořeno. Vliv má i stáří poškozeného pletiva, čím mladší je poškozené pletivo, tím je větší jeho regenerační schopnost a roste i šance na rychlé zacelení rány (L. Wessoly, M. Erb, 2016). Dalším určujícím faktorem je vitalita dřeviny, která je běžně měřena jako radiální přírůst stromu. Tento růst je ovlivněn širokou škálou vnějších faktorů, jako je dostupnost vody a minerálních látek, dostupnost ke slunečnímu záření nebo velikost prokořenitelného prostoru. Posledním faktorem, který by mohl mít význam na dynamiku zarůstání poškození je druh dřeviny a jeho genetická proměnlivost. Druh dřeviny určuje anatomické vlastnosti dřeva, nebo průměrnou rychlost růstu. Negativně ovlivňující faktory by mohli být například zasolení půdy, přítomnost těžkých kovů, nevhodné pH, nebo pravidelné defoliace hmyzem.

3.2.1 Velikost rány

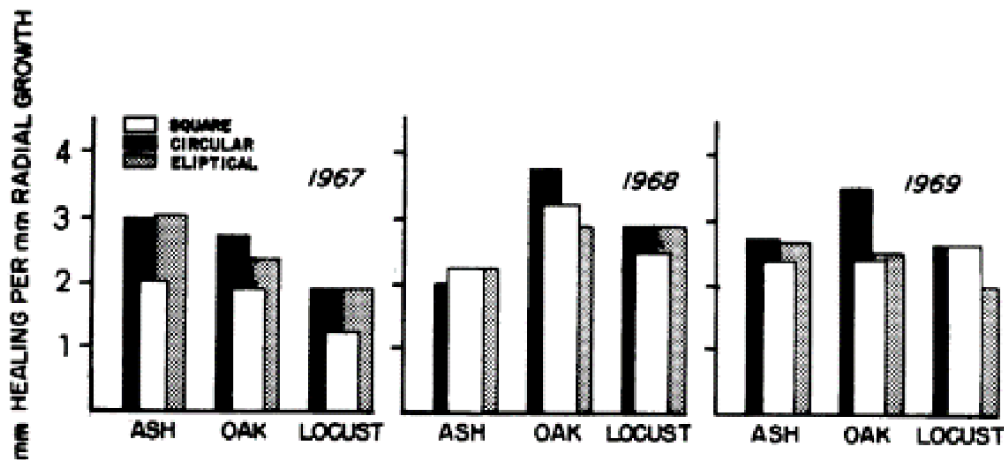
Velikost vytvořeného poranění je zásadním parametrem určujícím, jestli dřevina bude schopná toto poškození zarůst či nikoli. Vztah je následující, čím větší rána je, tím je menší procento úplně zacelených ran za jedno vegetačního období (Neely, 1983)

Poškození způsobuje omezení nebo potlačení funkce xylému a floému. Růst dřeviny se zpravidla zpomalí, pokud dojde k odstranění 50% kůry po obvodu kmene. K odumření dřeviny dojde při odstranění přibližně 75% kůry po obvodu kmene. (Neely, 1988).

Velikost rány je velmi důležitým faktorem ovlivňujícím šanci infekce dřeva dřevokaznými houbami. Kompletní zacelení poškozeného místa bez infekce dřevokaznými houbami bývá zpravidla úspěšné v ranách do šířky 5 cm, v 70% případů pokud poranění dosahují šířky 5 až 8 cm a v 50% případů pokud je šířka poranění nad 8 cm (Hosius, 1967).

3.2.2 Tvar rány

Šířka rány je nejdůležitější parametr ovlivňující rychlost hojení poškození. Toto tvrzení je podloženo pouze u ran se šířkou 50 mm, pro jiné parametry nebylo provedeno dostatečné množství měření. Marshall (1931) a Jacobs (1935) na základě svých výzkumů doporučují eliptický tvar rány, který odpovídá přirozenému proudění živin a vody ve kmeni stromu. Tento eliptický tvar rány by měl umožňovat lepší tvorbu kalusového pletiva po celém obvodu rány. Výsledky studie, kterou vydal Nelly (1970) nepotvrzují, že zvětšování rány za účelem změny tvaru rány na eliptický tvar by mělo jednoznačně pozitivní vliv na dynamiku hojení rány. Pro dřeviny *Fraxinus americana*, *Gleditsia triacanthos* var. *inermis* a *Quercus palustris* na kterých byli vytvořeny tři různé tvary poškození (elipsa, čtverec a kruh) bylo zjištěno, že mají poměrně stejnou dynamiku zarůstání těchto ran. Z grafu lze také vidět, že nebyl příliš velký rozdíl v dynamice hojení ran mezi těmito třemi druhy a ani napříč třemi roky, kdy byl experiment prováděn. Nejmenší šířku vytvořeného hojivého kalusu má z těchto typů ran čtverec, protože čtvercové rány zarůstají od rohů, ale měřena byla šířka rány.



Obrázek č. 2 - Osa y vyjadřuje velikost vytvořeného kalusu [mm] na radiální přírůst kmene [mm] vytvořeného za 3 roky pro rány široké 50 mm, v kulatém, čtvercovém a eliptickém tvaru. Na ose y jsou znázorněny tři druhy dřevin (ASH- *Fraxinus americana*, OAK – *Quercus palustris*, LOCUST – *Gleditsia triacanthos*) Rány byly vytvořeny v roce 1967 a každá hodnota je průměrem deseti ran. (Nelly, 1970)

3.2.3 Korní můstek

V případě, že dojde k vytvoření více poškození u sebe, hraje velkou roli prostor mezi těmito poškozeními. Arboristický standart SPPK A02 002:2015 definuje řez na korní můstek, jedná se o řez větví rostoucích vedle sebe, tak aby nedošlo k vzniku jedné velké rány, ale více menších, navzájem nepropojených. Přičemž ponechaný intaktní korní můstek by měl být velký, alespoň jako průměr největší z ran. Tato práce není zaměřena na řez větví, ale princip korního můstku je podobný i v případě mechanického poranění kmene.

L. Wessoly a M. Erb (2016) vydali publikaci, která pojednává o korním můstku. Pokud se poranění vyskytují nad sebou, je žádoucí, aby byl prostor mezi nimi, alespoň trojnásobek největšího průměru největší rány. V případě, že se poškození nacházejí vedle sebe, je doporučena minimální vzdálenost mezi ránami menší než v přechozím případě. Je doporučeno, aby byla vzdálenost nejméně taková jako je největší průměr největší rány, nemusí to být pouze právě vytvořené poškození, ale i starší rány. U těchto starších ran se vzdálenost měří od okraje rány, kde ještě nedošlo k překrytí poškozeného místa.

3.2.4 Vitalita dřeviny

Arboristický standart SPPK A01 001 definuje vitalitu dřeviny jako charakteristiku jedince z pohledu dynamiky průběhu jeho fyziologických funkcí. Přičemž je hodnocena na základě souhrnného vyhodnocení zejména určitých projevů stromu, jako je rozsah defoliace, změna velikosti a barvy asimilačních orgánů, významné napadení asimilačních orgánů chorobami či škůdci, dynamika vývoje sekundárních výhonů nebo prosychání na periferii koruny.

Následující studie pojímá vitalita dřeviny z pohledu dynamiky radiálního růstu kmene. Výsledky studie, kterou vydal Neely (1970) ukazují, že hojení ran na kmene stromu, nesouvisí pouze s vitalitou jedince, ale spíše je dynamika tohoto procesu určena každoročním radiálním přírůstem v místě poškození. Tato informace by měla široké důsledky v oboru péče o dřeviny. V následujícím textu budou uvedeny tyto důsledky:

1. Radiální růst listnatých a jehličnatých dřevin se v mírném pásmu odehrává hlavně v květnu, červnu a červenci, takže rány vytvořené před květnem se budou rychleji hojit. Rány vzniklé po červenci se budou hojit pomaleji (Neely, 1970).
2. Každoročně začíná na začátku vegetační sezóny kambiální aktivita ve větvičkách a postupuje směrem dolů. Stromy se špatnou vitalitou nebo s vysokými korunami, mohou vykazovat pokles radiálního přírůstu kmene od vrchu koruny směrem k bázi kmene. U těchto stromů se ukazuje, že čím výše je rána položená, tím je větší schopnost stromu toto poškození zahojit. U stromů s dobrou vitalitou nebo nižší korunou je pouze malý rozdíl v radiálním růstu ve vztahu k výšce a tím pádem také malý rozdíl v dynamice hojení ran po vertikální křivce (Neely, 1970).
3. Radiální růst po obvodu kmene stromu není jednotný. Intenzita růstu na kterékoli jedné straně je závislá na mnoha vzájemně souvisejících faktorech. Nicméně, se neprokázal vliv orientace kmene vůči světovým stranám na radiální růst kmene nebo růst kalusu na obvodu rány (Neely, 1970).
4. Každoroční intenzita radiálního přírůstu kmene je ovlivněna prostředím. Množství srážek často ovlivňuje intenzitu radiálního růstu. V letech, kdy

dochází ke zvýšenému radiálnímu růstu, dochází taky ke zvýšení intenzity hojení ran na kmeni (Neely, 1970).

3.2.5 Druh dřeviny

Je zřejmé že schopnost tvorby hojivého kalusu na povrchu rány se liší napříč druhy (D. Neely, 1983). Je těžké vyhodnotit vliv druhu dřeviny na schopnost hojení ran. Lze uvést, že tato schopnost se velmi liší mezi odděleními taxonomických kategorií. Nahosemenné dřeviny (*Angymnospermae*) mají odlišný hojivý proces od dřevin krytosemenných (*Magnoliophyta*). První reakcí na poškození u nahosemenných dřevin je vytvoření pryskyřice na povrchu rány. Proces uzavření rány probíhá od okrajů rány a nebyla pozorována proliferace jiných pletiv než kambia, jako je floém nebo radiální parenchym. Vzhledem k zalití rány pryskyřicí dochází k vytvoření bariéry proti patogenním organismům, na druhou stranu je nutné počítat s velmi zpomaleným hojivým procesem nežli u krytosemenných dřevin (Victor Chano et al. 2015).

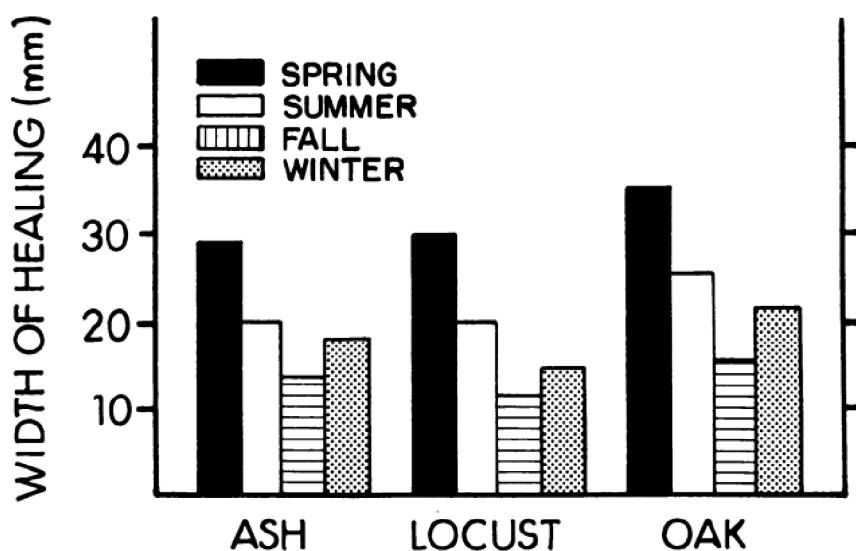
Druhy dřevin s vysokou hustotou dřeva spotřebují na jeho tvorbu více energie a mají nižší přírůst (Larjavaara and Muller-Landau, 2010). Z toho by šlo usuzovat, že druhy dřevin s vysokou hustotou dřeva budou mít i pomalejší hojivý proces rány a obráceně u druhů s nízkou hustotou dřeva. Nicméně toto pravidlo u většiny dřevin neplatí. Studie, kterou vydal Neely, 1983, ukazuje, že rány na rychle rostoucích stromech se v rámci druhu během vegetačního období uzavírají méně na jednotku radiálního přírůstu než pomaleji rostoucí dřeviny. Jedním z vysvětlení tohoto fenoménu může být to, že proces uzavírání ran je energeticky velmi náročný proces. Rána je místem spotřeby sloučenin nutných k buněčnému dělení. U pomaleji rostoucích stromů se k hojení ran používá větší procento dostupných sloučenin než pro radiální růst kmene v porovnání s rychle rostoucími dřevinami.

Studie, kterou publikoval D. Romeiro et al. 2021 se zaměřuje na to, jak anatomické funkce xylému mohou ovlivňovat hojivé procesy ran na stromech. Výzkum byl proveden ve státním parku v Brazílii a jednalo se o tropické druhy dřevin. Výsledky ukazují že, druhy dřevin s vysokou hustotou dřeva vykazují zpomalený proces hojení. Nicméně toto pravidlo neplatí vždy a existují určité výjimky. Druhy dřevin s vyšším podílem axiálního parenchymu, vykazovali rychlejší procesy hojení, což dokazuje i skutečnost, že buňky axiálního

parenchymu zásobují energii stávající buňky a ty se mohou rychleji dělit. Některé testované druhy vykazovali také rychlé procesy hojení, ale tento proces byl podpořený dřevnými paprsky. Byla zjištěna pozitivní korelace mezi výškou dřevného paprsku, šířkou dřevného paprsku a rychlostí hojení rány.

3.2.6 Doba, kdy došlo k poškození

Výsledky studie, kterou vydal Nelly (1970) ukazují, že doba, ve které bylo poškození vytvořeno má velmi silný vliv na dynamiku zarůstání rány. Deset jedinců od každého ze tří druhů dřevin bylo poškozeno, byla vytvořena eliptická rána o šířce 50 mm a výšce 100 mm. Tyto poškození byli vytvořeny v květnu, červenci, říjnu a březnu následujícího roku. Výsledky ukazují že rány vytvořené v květnu vytvořili kalusové pletivo o šířce od 12 do 18 mm, zatímco rány vytvořené v červenci vytvořili kalusové pletivo o šířce pouze od 2 do 6 mm. Měření ukázalo že rány vytvořené v březnu téhož roku se zahojili více než rány vytvořené v říjnu předchozího roku. Přičemž rány vytvořené v březnu se zahojili téměř stejně dobře jako rány vytvořené v červenci předchozího roku.



Obrázek č. 3 - Osa x vyjadřuje šířku vytvořeného hojivého pletiva [mm] měřeno v srpnu 1968, poranění byla vytvořena na jaře, v létě a na podzim roku 1967 a v zimě 1967-1968. Na ose y jsou znázorněny tři druhy dřevin (ASH-*Fraxinus americana*, OAK – *Quercus palustris*, LOCUST – *Gleditsia triacanthos*). Každá hodnota je průměr 10 ran na stromech (Nelly, 1970).

3.2.7 Dieback

Pojem dieback znamená odumírání živých buněk, obvykle může být způsoben kombinací více faktorů, jako jsou například houbové choroby, patogeny, klimatické podmínky nebo stresové faktory. Studie, kterou vydala Urszula Zajączkowska v roce 2014, poukazuje na určitý rozdíl mezi hojením rány a obnovy kmene po poranění. Pod slovem rána si vybavíme přímo to místo, kde došlo k určitému poškození. Zatímco skutečný rozsah poranění může být odlišný a označuje oblast kde došlo k narušení kontinuity kambia, floému, kalusu a korkových pletiv, samozřejmě také místo, kde došlo k odhalení dřeva. V reakci na poškození začíná strom své regenerační procesy, během kterých se v místě poranění narůstá xylém, sekundární floém, kalus a korková pletiva. Tyto pletiva přerůstají odhalené dřevo, zároveň ale narušují kontinuity okolních pletiv kambia, floému, kalusu a korkových pletiv. Intenzita produkce dřeva se liší po obvodu rány a je nejintenzivnější na bočních stranách rány. (Urszula Zajączkowska; 2014).

Dieback závisí na množství faktorů, liší se podle vitality dřeviny, lokalizace rány a období ve kterém bylo poškození vytvořeno. Přičemž dřeviny potlačené čili v prostoru, ve kterém je velká konkurence ostatních dřevin, nebo dřeviny se špatnou vitalitou jsou více ohroženy tímto jevem. Zároveň dieback u poškození, které byly vytvořeny na podzim je větší než u těch, které byly provedeny na stejném stromě na jaře, v létě nebo v zimě. Dieback je rozsáhlejší na vrchní a spodní části rány a slabší na její stranách. Poměrně rozsáhlý může být dieback na pahýlech odřezaných větví. Správně měření velikosti rány by mělo být provedeno po ukončení diebacku, ale ještě před zahájením tvorby kalusového pletiva. (Neely, 1988)

3.3. Kompartmentalizace

Pokud dojde k vytvoření rány, která by poškodila floém a xylém, může tato rána mechanicky oslabit dřevinu, snížit její fyziologické funkce a utvořit vstupní bránu pro patogenní saprofytické organismy, jako jsou dřevokazné houby nebo hmyzí škůdci. Podle schématu CODIT, se kterým přišel Shigo et al. (1977), stromy reagují na vytvořené poškození tím, že se snaží izolovat plochu ohroženého místa. Schopnost stromů v obnově poškozeného místa je velmi

důležitou vlastností, která pomáhá udržovat jejich zdravotní stav a stabilitu, protože omezuje rozkladné procesy způsobené patogenními organismy (Boddy 1983, 2001; Sutherland and Smith 2000).

Strom disponuje obranným procesem, který je navozen otevřenou ránou. Během tohoto procesu vznikají obrané hraniční zóny, které mají zabránit nebo zpomalit další pronikání patogenu do stromu. Reakční zóna je patrná makroskopicky jako zřetelně bezbarvá část dřeva a její hlavní účel je ochránit zdravé pletivo stromu (Shigo, 1984; Liese and Dujesiefken, 1996).

Hlavním mechanismem, který slouží k vytvoření reakční zóny je absorpce fenolických sloučenin do cév stromu. Tyto fenolické sloučeniny jsou syntetizovány v parenchymu a vyloučeny skrze ztenčeniny do cév. Dalším principem je uzavření cév thylami (e.g. Schmitt and Liese, 1990, 1994; Pearce, 2000).

V případě tvorby reakční zóny dochází činností kambia ke změně fyzické a chemické struktury dřeva a vytvoření bariér pro omezení šíření patogenu a s tím spojeného rozkladu dřeva (D. Neely, 1988). Tento izolační proces začíná chemickou obranou v místě rány a prochází následnou kompartmentalizací v poškozené oblasti kmene (P. Rademacher and A. L. Shigo, 1984; M. Stoffel and M. Bollschweiler, 2008).

Jeden z prvních procesů kompartmentalizace je skoro okamžitá tvorba kalusové pletiva na okraji poranění za účelem tvorby bariérové zóny (M. Stoffel and M. Bollschweiler, 2008; V. de Micco, 2013). Pletivo tohoto typu je nepropustné vůči většině patogenních organismů, protože tvorba pletiva je doprovázena lignifikací a suberizací buněčných stěn a uzavírání iontů různého chemického charakteru uvnitř kalusové pletiva za účelem zpomalení šíření mikroorganismů (P. Rademacher and A. L. Shigo, 1984; M. Stoffel and M. Bollschweilerm, 2008, A. L. Shigo, 1984; V. de Micco, 2013; R. B. Pearce, 1996).

Kambium produkuje buňky, které kolem rány vytvoří bariéru parenchymatických buněk (D. Neely, 1988), které zpomalí a omezí rozpad a zabarvení dřeva z důvodu infekce dřevokaznou houbou v nově vytvořených pletivech, tato zóna je odolná proti šíření mikroorganismů do nově vytvořeného

dřeva (D. Neely, 1988; P. Rademacher and A. L. Shigo, 1984). Po vytvoření bariérová zóna funguje jako živá hranice oddělující zdravé dřevo od infikovaného (A. L. Shigo, 1984). Kalus na okraji poranění dále poroste, dokud ránu zcela nezaroste a nezmění se na vodivé pletivo (M. Stoffel and M. Bollschweilerm, 2008).

Pokud dojde ke zranění kmene stromu, je narušena kontinuita kambia a tím tvorba buněk, další rok po poranění je běžně vysoká produkce abnormálních buněk. Poraněné místo musí být překryto novou vrstvou buněk kalusu, aby byla znovuobnovena kontinuita kambia (D. Neely, 1988; M. Stoffel and M. Bollschweiler, 2008).

Po obnově kambia v poraněném místě časem dochází k obnově diferenciální funkce a případně tvorbě normálních xylémových buněk. Buňky, které najdeme v bariérových zónách se od normálních xylémových buněk liší tvarem, velikostí, relativním poměrem a orientací (P. Rademacher and A. L. Shigo, 1984). Relativním poměrem a orientací se rozumí, že délka těchto buněk je zkrácená a axiální buňky jsou konstitučně dezorientované (D. Neely, 1988). Konifery navíc tvoří traumatické pryskyřičné kanálky, které pomáhají chemické kompartmentalizaci (M. Stoffel et al. 2010). Potom co dojde k překrytí poranění novou vrstvou buněk, zůstávají jizvy patrné ještě roky, než se plně zanoří do rostoucích xylémových buněk (C. R. White and G. L. Harley, 2016).

Obecně se dřeviny rozdělují do dvou skupin, podle jejich schopnosti kompartmentalizace, čímž je myšleno schopnost dřevin vytvářet reakční a bariérovou zónu. Pro první skupinu dřevin se uvádí že, pro zdravé stromy s dobrou schopností kompartmentalizace by se neměla překročit velikost rány nad 10 cm, myšleno v průměru rány. Dobrou schopnost kompartmentalizace mají z dřevin použitých v tomto testování: *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*, *Quercus robur* (standart SPPK AO2:2015). Druhou skupinou, jsou dřeviny, které mají špatnou schopnost kompartmentalizace. U této skupiny dřevin by se neměla překročit velikost rány nad 5 cm, měřeno v průměru rány. Dřeviny se špatnou kompartmentalizací, které se vyskytují v tomto testování jsou: *Betula spp.*, *Pinus spp.*, *Quercus rubra*, (standart SPPK AO2:2015).

3.4 Příčiny poškození a jejich specifika

Dřeviny byli a jsou během své existence poškozovány velkým počtem biotických a abiotických činitelů, ty mohou způsobovat mechanická poškození na kmeni a větvích stromů, které mohou vést k rozpadu dřeva a úhynu jedince. Z abiotických činitelů by bylo možné zmínit poškození větrem, sněhem, ledem a ohněm. Z biotických činitelů lze zmínit působení zvířat a hmyzu. Nesmíme opominout ani antropogenní činitele, které mají velký vliv na množství vytvořených poškození na stromech. Stromy v městském prostředí podél cest a komunikací jsou zvláště náchylné k mechanickému poškození kmene (Gallagher, Peter W., and T. Davis Sydnor (1983).

Dřeviny v městském prostředí mají často vysokou úmrtnost a pomalejší růst. Důvodů může být několik, jako je nedostatek vody, nedostatek živin, zhutnění půdy, nebo mechanická poranění a vandalismus (Nowak et al. 1990; Viswanathan et al. 2011). Vandalismus pouličních stromů je problém, který je přítomný ve všech částech světa (Black, 1978). Například podle Pauleita et al. (2002) vandalismus postihuje až 30 % nově vysázených pouličních stromů ve Spojeném království. V Evropě je to kolem 5 až 10 %. Nowak et al. (1990) zkoumal nově vysázené stromy v Kalifornii a zjistil, že až 38 % bylo poškozeno během dvou let a 71% těchto stromů zahynulo.

Antropogenní vliv může probíhat i na lesních pozemcích, kde k mechanickým poškozením. Tyto poškození mohou vznikat při samotném kácení jako oděr kmene a větví stromu při dopadu stromu káceného. Dalším skupinou poškození, jsou rány vzniklé při transportu pokácených stromů a jejich části z lesa.

Studie, kterou vydali Farzam Tavankar et al., 2022, ukazuje že jedna čtvrtina poškození vznikla při kácení stromu a zbylé tři čtvrtiny poškození vznikly při transportu částí stromu. Poškození vzniklé kácením mělo jiný charakter rány, bylo delší ve vertikálním směru, zatímco poškození způsobené transportem bylo širší v horizontálním směru. Počet poškozených stromů v porostu byl 15 % vůči zbylému počtu stromů, což je poměrně velká část ohrožených dřevin. Oblast, na které se prováděl výzkum se nachází v severozápadním Íranu, jednalo se o smíšený porost v nadmořské výšce 400 m n. m. až 1200 m n. m. Pokácené stromy

byli rozřezány na části a potom lesnickým odvezeny lesním kolovým traktorem. Cílem tohoto výzkumu bylo objasnit vliv poškození způsobených jak během kácení, tak během transportu na zdravotní stav stromů a jejich produkční schopnost. Tyto poškození vedou ke snížení kvality samotného dřeva při jeho následném prodeji, ale také vedou ke snížení růstu stromů. Pro posouzení významu těchto poškození, byl po deseti letech od první části výzkumu, proveden terénní sběr dat a naměření výsledků. Tyto výsledky ukázaly, že došlo ke snížení průměrného přírůstu, a to u výškové přírůstu o 38 % a u radiálního přírůstu o 24 %. Velikost vytvořeného kalusového pletiva na okraji poškození se pohybovala od 12,9 mm za jeden rok u ran vytvořených při transportu dřeva až po 19,7 mm za jeden rok u ran vytvořených při kácení stromů. Z celkového stavu vytvořených poranění se došlo k tomu, že v průměru 73 % všech ran nebylo dosud úplně zavaleno, a z toho 17 % bylo v různém stádiu rozkladu způsobeného dřevokaznými houbami. Pouze 10 % z celkového počtu poranění bylo úplně zahojeno během těchto deseti let. Nejlepších výsledků, co se týče míry regenerace poškození, dosahovali dřeviny světlomilné, které nesnesou zastínění a mají průměr do 40 cm s velikostí rány do 100 cm² a nenacházejí se v podrostu jiných větších dřevin.

4 Metodika

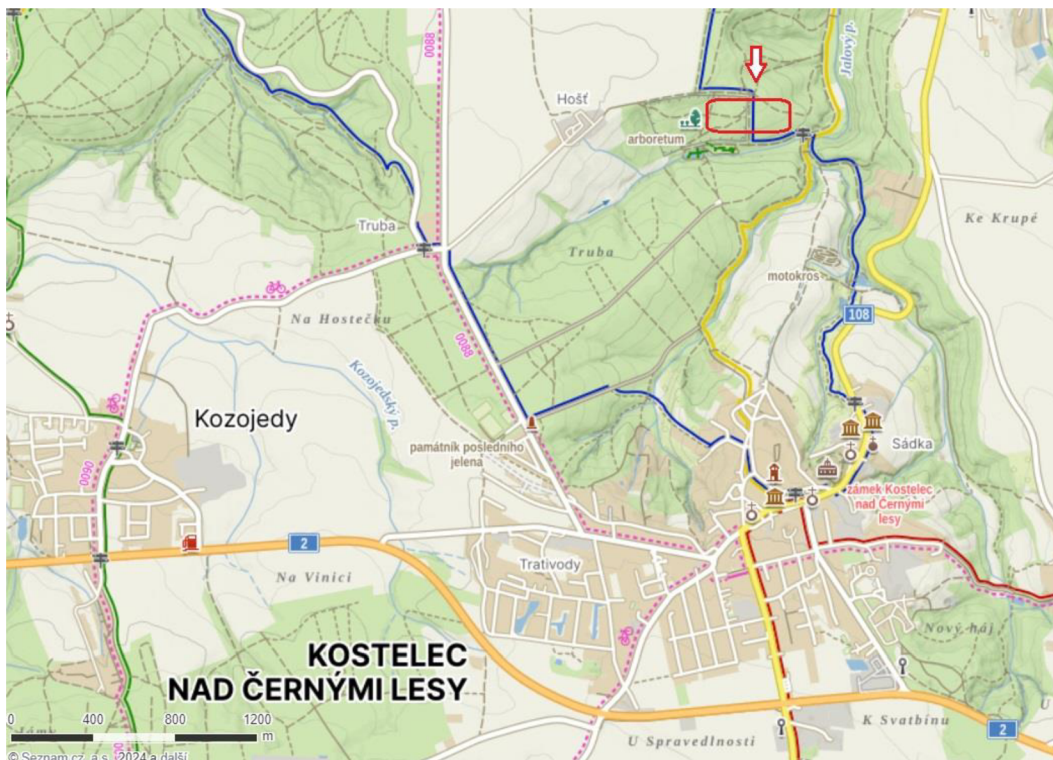
4.1 Lokalizace testovaného prostoru

Pro potřeby této práce, bylo vybráno území, na kterém bylo možné provést následující experiment. Jedná se o arboretum Fakulty lesnické a dřevařské v Kostelci nad Černými lesy a její nejbližší okolí. Toto arboretum se nachází přibližně 3 kilometry severně od Kostelce nad Černými lesy. Stromy se nacházeli na několika lokalitách v arboretu, přičemž část stromů se nacházela přímo v areálu arboreta, a to na parcele číslo 3110/5 a na parcele číslo 3110/6. Zbývající stromy se nacházejí na východní straně od arboreta na parcele číslo 3202.

4.2 Přírodní podmínky

Arboretum se nachází v nadmořské výšce od 300 m n. m. až přibližně do 340 m n. m. Areál arboreta se nachází ve svahu exponovanému k jihu, svažitosť terénu je přibližně 8°. Území arboreta lze zařadit do mírně teplé klimatické oblasti. Průměrná roční teplota je přibližně 8, 14°C, průměrné roční srážky jsou 662 mm, průměrná teplota v lednu je – 1,9 °C a průměrná teplota v červenci je 17,8°C (Data z meteorologické stanice Kostelec – Truba, 1960–1995).

Z geologického hlediska je podklad arboreta tvořen permským pískovcem, který je v severní části překryt vrstvou křídového pískovce a směrem na jih je pískovec překryt vrstvou hlinité spraše. Vzhledem k jižní orientaci svahu a geologickému podkladu je většina plochy arboreta poměrně suchá a rostliny zde trpí přísuškou, hlavně během suchých period.



Obrázek č. 4 - Lokalizace prostoru, ve kterém došlo k testování stromů v rámci arboreta v Kostelci nad Černými lesy (Mapy.cz, 2024).

4.3 Systém zaznamenání

Identifikační údaje

Terénní průzkum zahrnoval výběr vhodných dřevin a jejich taxonomické určení. Správné určení je důležité pro vyhodnocení výsledků práce i pro identifikaci dřevin na stanovišti. Každý strom v tabulce, má přiřazené dvě identifikační číslíčky. Tyto čísla se přiřazují podle daných pravidel, první číslíček označuje pořadové číslo stromu, tedy od jedné do padesáti. Druhým je identifikační číslo v rámci jednoho stromu. Tedy pokud byl strom poraněn pouze z jedné strany bude za prvním číslem následovat vždy jednička. Pokud byl strom poraněn z více světových stran, bude druhé číslo sloužit k rozlišení těchto poškození.

Z jedné světové strany může být vytvořeno více ran, ale tyto rány se budou se brát jako jedna položka, protože se nacházejí v takové blízkosti, že navzájem ovlivňují a nelze je od sebe oddělit, toto slouží k pozorování významu více ran u sebe. Rána nebo více ran u sebe bude v následujícím textu označeno jako „soubor ran“.

Dendrometrické atributy

Dalšími údaji, jsou dendrometrické údaje, které slouží pro odvození například fyziologického stáří stromu a jeho velikosti. Prvním bylo změření obvodu pomocí obvodového pásma, toto změření bylo prováděno ve výčetní tloušťce 130 centimetrů nad zemí. Jako další bylo provedeno změření výšky pomocí dálkoměru Nikon Forestry Pro II, toto měření bylo prováděno s přesností na metry.

Popisné atributy vytvořených poškození

Dalším údajem je orientace souboru ran na světové strany. Toto prostorové určení bylo provedeno kompasem a soubory ran bylo zařazeny do 8 kategorií podle jejich světové orientace, na sever, severozápad, západ, jihozápad, jih, jihovýchod, východ a severovýchod. Dalším údajem je velikosti rány, jedná se průměr kruhového poškození. Tato velikost nebylo v této fázi měřena, ale určena velikostí plochého vrtáku, který byl zvolen a použit při vývrtu.

Následuje informace o počtu ran v souboru poškození, na tuto skutečnost navazují další dva atributy, se kterými bylo pracováno. V případě většího počtu ran, než je jedna, se určovala prostorová orientace ran vůči sobě, přičemž byli dvě možnosti, buď se rány nacházejí vedle sebe, nebo se rány nacházejí na sebou. Další informací v případě většího počtu ran v jednom souboru ran, je informace označující velikost korního můstku. Korní můstek je místo, které označuje prostor, který se nachází mezi dvěma ranami.

4.4 Typy a specifika poranění

Celkem bylo vybráno padesát stromů. Na 41 stromech bylo vytvořeno poškození pouze z jedné strany. Na zbývajících 9 stromech bylo vytvořeno poškození ze 2 stran. Celkový počet souborů ran je tedy 59.

Všechny stromy byly poškozeny na bázi kmene, přičemž 56 souborů ran bylo vytvořeno ve výčetní výšce 130 centimetrů nad zemí, dva soubory ran byly vytvořeny ve výšce 50 centimetrů nad zemí a jeden soubor ran byl vytvořeno ve výšce 200 centimetrů nad zemí.

Počet vytvořených poškození v jednom souboru ran se pohyboval od jedné do tří. Z celkového počtu 59 souborů ran, byla jedna rána vytvořena celkem u 25 stromů. Největší zastoupení měl typ, kde byli vytvořeny dvě rány v různé

vzdálenosti od sebe v rozpětí od 0,1 milimetru po 100 milimetrů. Tento typ dvou ran byl vytvořen v 32 případech. Tři rány v blízkosti u sebe byly vytvořeny u 2 souborů ran.

Orientace ran vůči sobě, v případě více ran v jednom souboru ran, byla následující: 17 ran bylo vytvořeno ve vertikálním směru (nad sebou), 16 souborů ran s orientací v horizontálním směru (vedle sebe).

4.5 Tvorba poranění

Umělá zranění byla provedena před začátkem vegetace v termínu 3. 4. 2023. Na každém z vybraných stromů bylo vytvořeno poškození aku vrtačkou s plochým vrtákem (sukovníkem). Každé vytvořené poškození bylo popsáno, údaje byly zaznamenány do poznámkového bloku a poté přepsány do elektronické tabulky v Excelu.

Všechna vytvořená poškození mají kruhový tvar. Z celkového počtu 59 souborů ran bylo 57 provedeno plochým vrtákem o průměru 35 milimetrů. Zbýlé 3 poranění byla provedena plochým vrtákem o průměru 20 milimetrů. Hloubka poranění se pohybovala v rozpětí od 5 milimetrů do 30 milimetrů v závislosti na tloušťce kůry nebo borky. Po vytvoření rány se strom označil páskou s jejím identifikačním číslem konkrétního souboru rány a toto poranění bylo vyfoceno.

4.6 Pozorování vytvořených poranění

V termínu 26. 10. 2023 bylo provedeno vyhodnocení dynamiky hojení ran po první vegetační sezóně. Při něm byla měřena velikost rány bez vytvořeného kalusového pletiva. Aktuální velikost rány byla změřena pomocí posuvného měřítka s přesností na 0,5 milimetru. Změření aktuální velikosti nezahojené části rány bylo provedeno v podélném a příčném směru. Obě tyto hodnoty byly zaznamenány. V případě více ran v jednom souboru ran bylo změření provedeno u všech ran. Součástí tohoto kroku bylo i vizuální zhodnocení korního funkčnosti korního můstku.

5 Výsledky

Výsledky této práce jsou šířka vytvořeného kalusu v příčném a podélném směru rány, která byla zjištěna jako rozdíl mezi velikostí rány po vytvoření umělého poškození (3.4. 2023) a velikostí rány po jednom vegetačním období (26. 10. 2023). Pro vybrané druhy dřevin, na kterých byl experiment proveden byli vytvořeny grafy, které zobrazují šířku vytvořeného kalusu v příčném a podélném směru rány. Šířka vytvořeného kalusu je zobrazena pro každou ránu, přičemž je odlišen růst kalusu v příčném směru, který je zobrazen modrou barvou sloupců a v podélném směru, ten je zobrazen oranžovou barvou sloupců.

5.1 Druhy testovaných dřevin

Během jednoho vegetačního období, kdy probíhala tato studie, došlo k velkým rozdílům v dynamice zarůstání mechanického poškození napříč druhy. Dohromady bylo testováno 7 druhů dřevin, 6 z nich bylo listnatých a jeden druh byl jehličnatý. Z těchto sedmi vybraných druhů je šest z nich domácích v České republice a jeden druh (*Quercus rubra*) je nepůvodní, který se přirozeně vyskytuje ve východní části Spojených států.

Borovice lesní (*Pinus sylvestris*)

Borovice lesní je jediným zástupcem jehličnatých dřevin v tomto testování. Dohromady bylo mechanicky poškozeno 10 stromů, u 4 souborů ran byli provedeny 2 rány. Všechna poškození byla kruhovitěho tvaru o průměru 35 milimetrů. Tyto stromy se vyskytují v zápoji a jejich obvod byl v rozmezí od 40 cm do 100 cm.

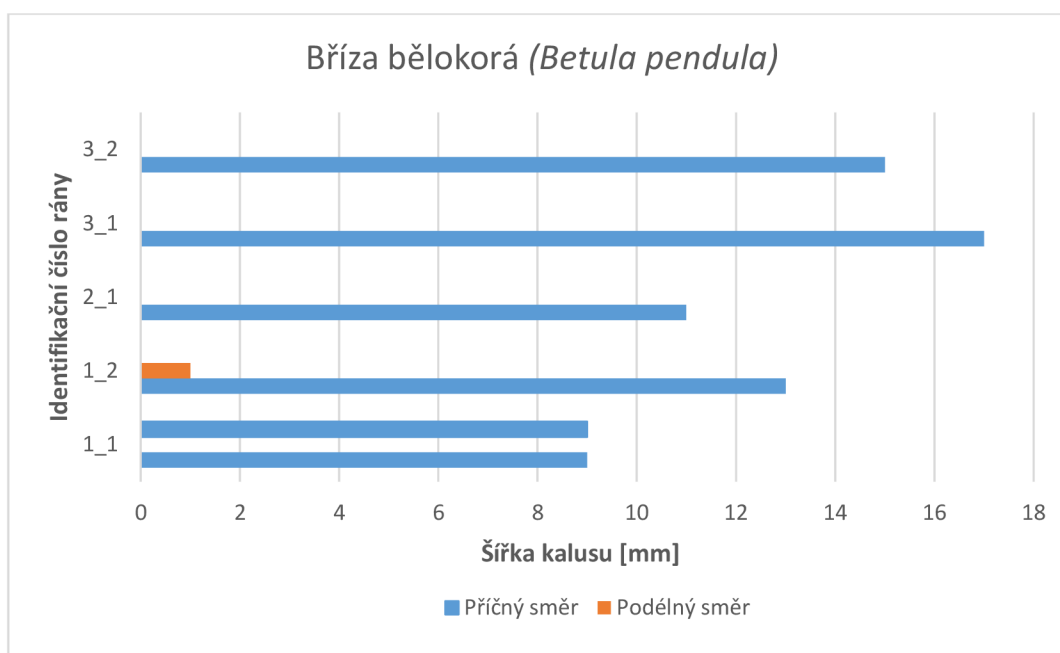
Z celkem 14 jednotlivých ran ani jeden strom nevytvořil během jednoho vegetačního období kalus. Průměr těchto poškození při měření kalusu na konci září byl úplně shodný s průměrem ran, které byli vytvořeno na začátku dubna téhož roku.

Tento výsledek by souhlasil s výsledky studie Víctor Chano et al. (2015), jejímž závěrem je, že jehličnaté dřeviny se hojí výrazně pomaleji v důsledku zalití rány pryskyřicí, tento ochranný proces sice zpomaluje hojení rány, ale na druhou stranu funguje jako ochranná bariéra proti vstupu patogenních organismů. V důsledku tohoto procesu může rána zarůstat i řadu let.

Bříza bělokorá (*Betula pendula*)

Břízy bělokoré byli uměle poškozeni celkem 3 jedinci, přičemž bylo vytvořeno celkem 5 souborů ran. Na jednom stromu byly vytvořeny 2 rány. Všechny rány měly kruhový průměr 35 milimetrů. Nejmenší jedinec měl obvod 23 cm a největší jedinec měl obvod 138 cm, přičemž průměrný obvod je 84 cm. Jeden soubor ran byl vytvořen 50 cm nad zemí a jeden 200 cm nad zemí, ostatní byly vytvořeny ve výšce 130 cm. Jednalo se o dřeviny v roztroušeném porostu.

Ani jedna rána během jednoho vegetačního období nestihla zcela zarůst. V průměru vytvořili dřeviny 12,33 mm hojivého pletiva v příčném směru a 0,17 mm ve směru podélném. Z grafu je patrné že bříza bělokorá během tohoto testování vytvářela kalusové pletivo téměř pouze v příčném směru. V podélném směru vytvořil pouze jeden jedinec kalus o šířce 1 mm.



Graf č. 1 - Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců břízy bělokoré, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

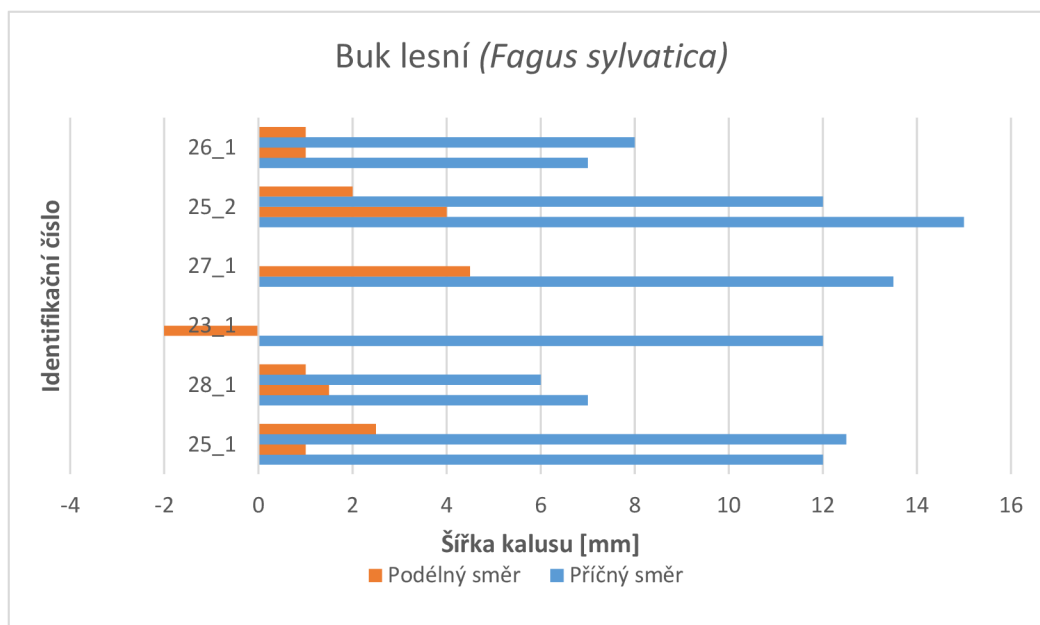
Buk lesní (*Fagus sylvatica*)

Bylo poškozeno 5 jedinců buku lesního, na jednom z nich byly vytvořeny rány ze dvou směrů. Jednalo se o menší stromy, výšky do 15 metrů a obvodu 95

centimetrů. Vytvořená kruhová poškození měla u 2 stromů velikost 35 milimetrů. Na stromech označených pořadovým číslem 26_1, 27_1, 28_1, bylo vytvořené poškození o velikosti 20 milimetrů. Obvod stromů se pohyboval od 41 cm do 93 cm měřeno ve výšce 130 cm nad zemí, přičemž průměrný obvod těchto stromů činí 67,83 cm.

Schopnost hojit mechanická poškození borky kmene buku lesního byl vyhodnocen jako pomalejší. Ani jedinci na kterých byli vytvořeny menší rány, nebyli schopni tuto ránu zavalit. Schopnost tvořit kalus více v příčném směru byl u tohoto druhu rovněž prokázán. V průměru bylo vytvořeno 10,5 mm hojivého pletiva v příčném směru a 1,65 mm ve směru podélném.

Na 3 stromech byly vytvořeny dvě rány u sebe. Na stromech číslo 25_1 a 28_1 byly rány vytvořeny nad sebou. Na stromech číslo 25_2 a 26_1 byly rány vytvořeny vedle sebe. Z výsledků není příliš znatelný rozdíl mezi dynamikou přírůstu kalusu podle orientace ran vůči sobě. Rány orientovány vedle sebe byly pokryty vrstvou hojivého pletiva o 1,12 mm širší v příčném směru 0,5 mm širší v podélném směru než rány orientovány nad sebou. U souboru rány č. 23_1 došlo k diebacku a zvětšení rány v podélném směru dohromady o 2 mm.

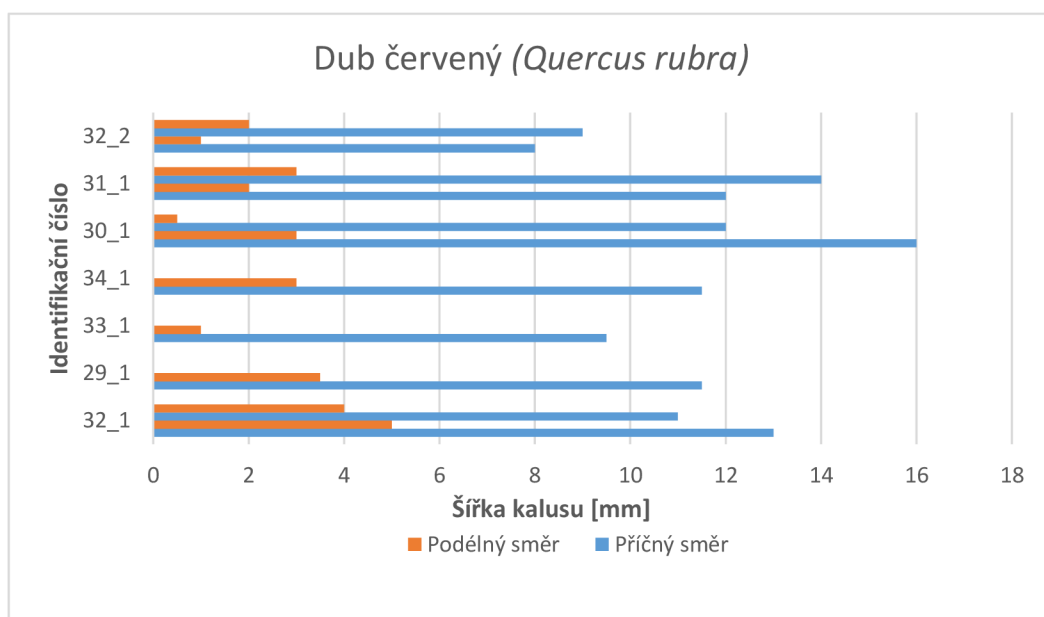


Graf č. 2 - Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců buku lesního, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

Dub červený (*Quercus rubra*)

Dubů červených bylo poškozeno celkem šest, jeden strom ze dvou stran. Na třech stromech byla vytvořena pouze jedna rána, na ostatních byly vytvořeny dvě rány u sebe. Velikost obvodu kmene ve výšce 130 cm nad zemí se pohybovala od 46 do 172 cm, přičemž průměrný obvod těchto stromů činí 117,14 cm.

Podle výsledků má dub červený horší schopnost tvorby kalusového pletiva než naše domácí druhy rodu *Quercus*. Tyto stromy vytvořili v průměru 11,59 mm v příčném směru a 2,55 mm ve směru podélném hojivého pletiva na okraji rány. V příčném směru nebyl zpozorován výraznější rozdíl naměřených hodnot, v podélném směru rány nad sebou byli pokryty vrstvou hojivého pletiva v průměru o 2,5 mm širší než rány vedle sebe. V souboru ran číslo 32_1 byly vytvořeny dvě rány na sebou, v ostatních případech byly rány orientovány vedle sebe.



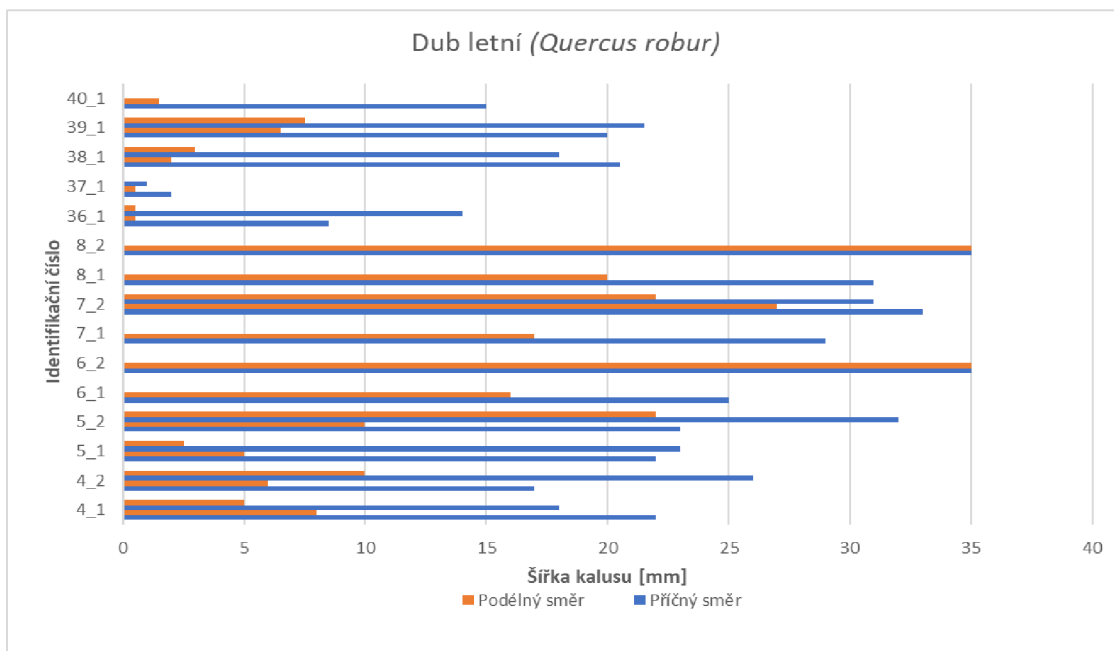
Graf č. 3 - Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců dubu červeného, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

Dub letní (*Quercus robur*)

Dubů letních bylo poškozeno dohromady 10, přičemž bylo vytvořeno 15 souborů ran. Velikost všech poškození byla 35 mm a výška ve které bylo poškození vytvořeno byla 130 cm. V tomto případě stromy zavalily za jedno vegetační období úplně dvě rány, tyto stromy měly obvod kmene 150 a 190 cm a u obou byla vytvořena jedna rána v souboru ran. Velikost obvodu kmene se pohybovala od 61 cm do 190 cm měřeno ve výšce 130 cm nad zemí. Průměrně měly testované stromy obvod 129,1 cm.

Duby letní měly nejlepší výsledky, co se týče šířky vytvořeného kalusového pletiva za testované jedno vegetační období. Vytvořily v průměru 21,77 mm hojivého pletiva ve směru příčném a 10,94 mm ve směru podélném. Obvod kmene se pohyboval od 60 centimetrů do 190 centimetrů, přičemž strom s nejmenším obvodem kmene ve výčetní výšce (37_1) měl nejmenší přírůst kalusu ze zástupců tohoto druhu. Průměrně byl obvod testovaných stromů 129,1 cm měřeno ve výšce 130 cm nad zemí.

Rány orientované nad sebou se hojily průměrně o 5 mm v podélném směru a o 3 mm ve směru příčném rychleji než rány orientované vedle sebe.



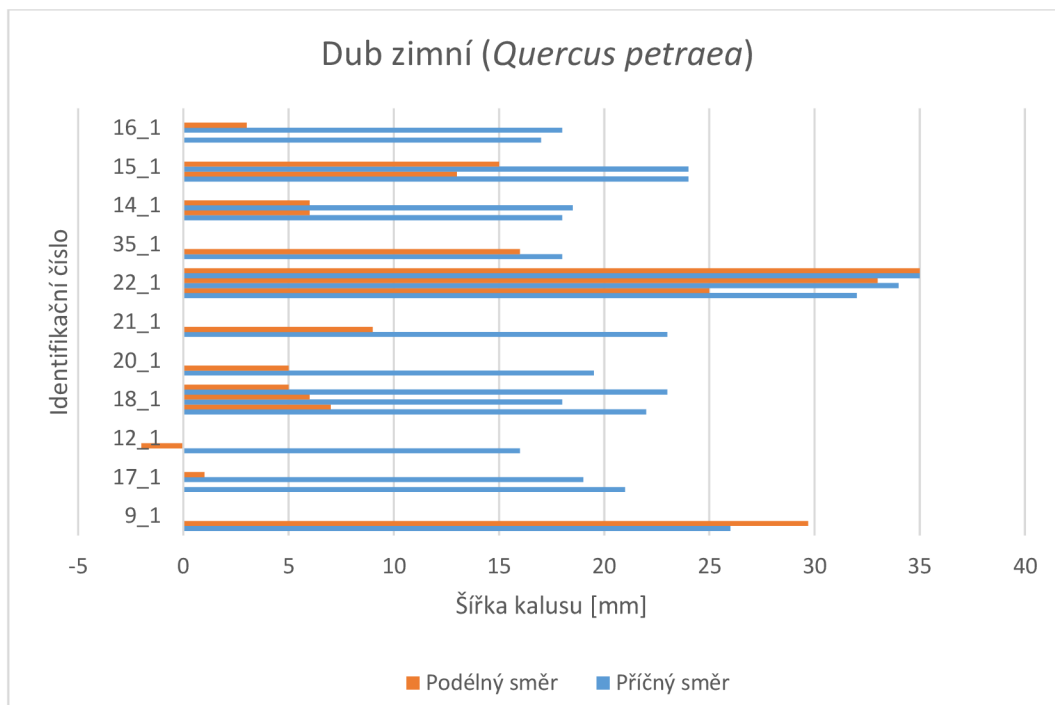
Graf č. 4 - Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců dubu letního, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

Dub zimní (*Quercus petraea*)

Dubů zimních bylo uměle poškozeno 11, na všech jedincích byl vytvořen pouze jeden soubor ran. Na čtyřech jedincích byla vytvořena jedna rána, na pěti dvě rány a na dvou byly vytvořeny tři rány. Obvod jedinců se pohyboval v rozsahu od 40 cm do 84 cm měřeno v 130 cm od země. Průměrně byl obvod poškozených stromů 60,8 cm. Jeden soubor ran byl vytvořen ve výšce 50 cm (21_1), jinak všechny ostatní byly vytvořeny ve výšce 130 cm. Všechny rány byli kruhové o průměru 35 mm.

Duby zimní mají nejlepší výsledky, v příčném směru vytvořily v průměru 22,42 mm a ve směru podélném 11,19 mm hojivého pletiva. Rozdíl v rychlosti tvorby hojivého pletiva v příčném a podélném směru je i zde jasně patrný.

Rozdíl mezi rychlostí zarůstání poškození v závislosti na orientaci více ran vůči sobě je i v tomto případě málo neprůkazný. Z porovnání dynamiky hojení ran lze říci, že rány orientované nad sebou se hojily průměrně o 1,2 mm rychleji než rány orientované vedle sebe. V podélném směru byl rozdíl pouze 0,1 mm. U souboru ran s identifikačním číslem 9_1 došlo k odumření korního můstku.



Graf č. 5 - Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců dubu zimního, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru

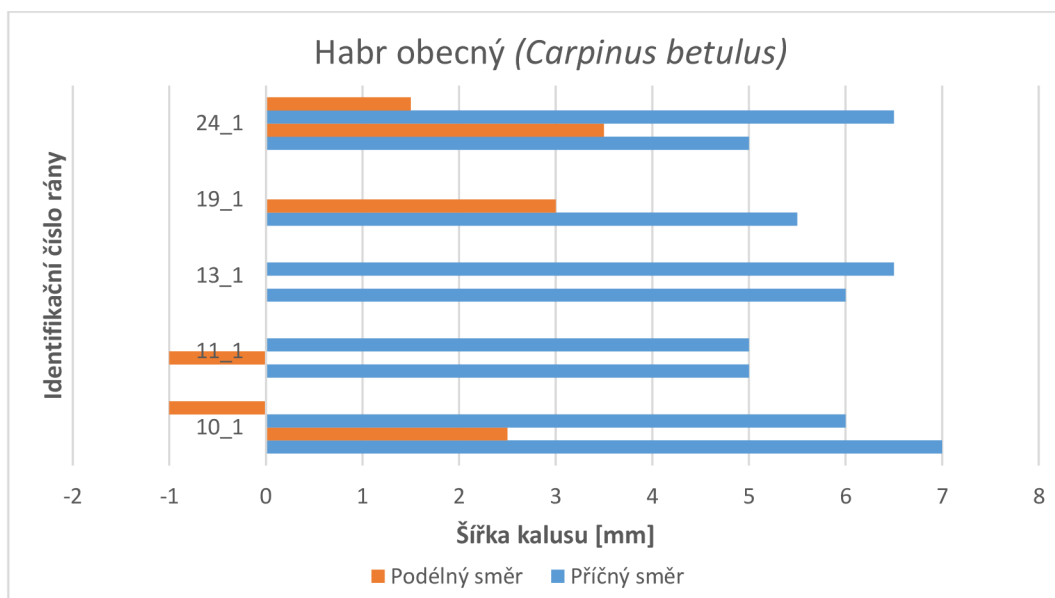
rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

Habr obecný (*Carpinus betulus*)

Habrů obecných bylo poškozeno celkem 5, na čtyřech z nich byly vytvořeny 2 rány v jednom souboru ran. Všechny rány měly průměr 35 milimetrů a byly vytvořeny ve výšce 130 centimetrů nad zemí. Obvod stromů se pohyboval od 36 cm do 60 cm měřeno ve výšce 130 cm nad zemí. Průměrně byl obvod testovaných stromů 48, 8 cm.

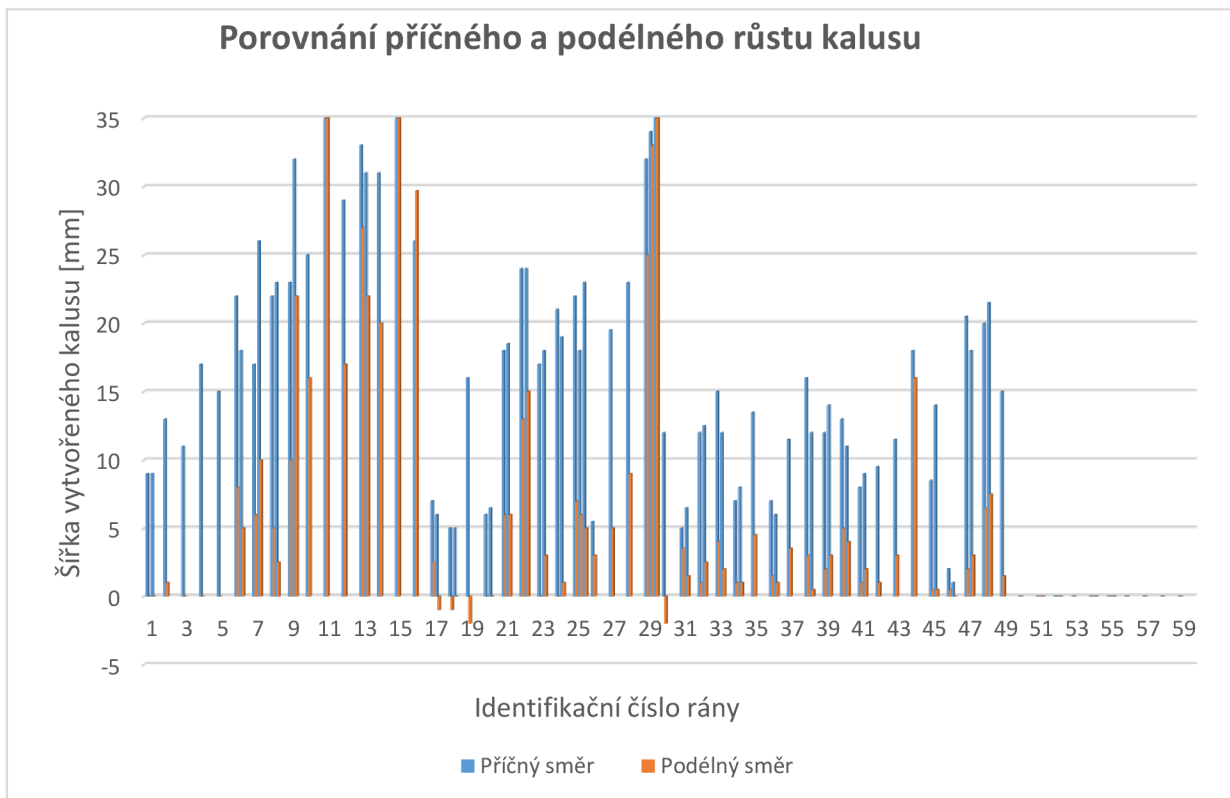
Z uvedených výsledků je zřejmé, že habr obecný má z testovaných listnatých dřevin nejmenší schopnost zavalovat rány. Protože průměrně v příčném směru došlo k zahojení pouze 5,7 milimetrů při součtu obou okrajů rány. V příčném směru u dvou jedinců došlo k diebacku 1 milimetr. V průměru tyto stromy vytvořili 5, 83 mm hojivého pletiva v příčném směru a 0,94 mm ve směru podélném. Což je druhý nejmenší průměr ze všech testovaných druhů.

Porovnání významu orientace více ran vůči sobě je u tohoto druhu neprůkazné, protože dvě rány vedle sebe byly vytvořeny pouze jednou. U souboru ran s identifikačním číslem 11_1 došlo k odumření korního můstku.



Graf č. 6 - Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců habru obecného, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

5.2 Porovnání příčného a podélného růstu kalusu



Graf č. 7 - Graf vyjadřuje na ose y šířku vytvořeného kalusu [mm] na obvodu rány. Modrou barvou je označen růst v příčném směru rány. Oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose x je označení čísla souboru rány.

V grafu osa y vyjadřuje šířku kalusového pletiva, jedná se o součet hodnot z obou směrů, protože kalusové pletivo zarůstá ránu od jejích okrajů a postupně zarůstá poškozené místo. Na ose x leží hodnoty vyjadřující identifikační číslo souboru ran, které jsme na začátku testování přiřadili zvláštní každému souboru ran.

Na grafu č. 7 lze vidět modré a oranžové sloupce které vyjadřují šířku vytvořeného kalusu. Modře označené sloupce vyjadřují růst kalusu v příčném směru, oranžové hodnoty vyjadřují růst kalusu v podélném směru. Po porovnání hodnot těchto sloupců lze usuzovat že rány na kmeni stromů mají větší tendenci v zarůstání poškození v příčném než v podélném směru. Dále lze na grafu vidět, že se největší rozdíl v dynamice zarůstání příčného a podélného směru nachází u ran, které zarůstají hůře a pomaleji, zatímco stromy, které zarostly většinu vytvořeného poškození v příčném směru, tak zavalili velkou část poškozené plochy i ve směru podélném. Také lze na stejném grafu pozorovat že některé

sloupce se dostávají do záporných hodnot. Tento fenomén se dá popsat termínem dieback, který je popsán v literární rešerše této práce a v tomto případě znamená odumírání živých buněk na okraji rány, což vede ke zvětšení rány.

Velkou roli v procesech souvisejících s hojením rány tvoří přírodní podmínky, které se odráží ve vitalitě jedince. Vzhledem k tomu, že stromy na našem stanovišti se v rámci celého testování nacházejí v relativní blízkosti stovek metrů, bylo možné vyloučit rozdílný vliv stanovištních podmínek napříč testovanými dřevinami.

5.3 Vliv orientace více ran na rychlost tvorby kalusu

U čtyř druhů dřevin, na kterých bylo možné provést porovnání rozdílu v dynamice zarůstání více ran v závislosti na jejich prostorové orientaci byly výsledky následující:

- Poškození na bucích lesních, které bylo orientováno vedle sebe se hojilo o 1,12 mm rychleji v příčném směru a o 0,5 mm rychleji v podélném směru než v případě ran orientovaných nad sebou.
- Poškození na dubech červených, které bylo orientováno nad sebou se hojilo o 2,5 mm rychleji v podélném směru než rány orientované nad sebou. V příčném směru byla velikost vytvořeného kalusu shodná s ranami vytvořenými vedle sebe.
- Poškození dubech letních bylo orientováno nad sebou se hojilo o 5 mm rychleji v příčném směru a o 3 mm rychleji v podélném směru než rány orientované vedle sebe.
- Poškození na dubech zimních, které bylo orientováno nad sebou se hojilo o 1,2 mm rychleji v příčném směru a o 0,1 mm rychleji v podélném směru než rány orientované vedle sebe.

Z výsledků je zřejmé, že zástupci dubu červeného, dubu letního a dubu zimního vykazují rychlejší procesy hojení ran na kmeni, pokud jsou rány orientované nad sebou než rány orientované vedle sebe. Největší rozdíl byl u dubu letního.

Zástupci buku lesního vykazovali rychlejší procesy hojení u ran orientovaných vedle sebe než u ran orientovaných nad sebou. Nicméně je nutné podotknout, že statisticky průkazné vyhodnocení vlivu orientace více ran na rychlost hojících procesů je nemožné kvůli velmi omezenému rozsahu testování.

6 Diskuze

Cílem této práce bylo popsání procesu hojení ran na kmeni stromu. Jedná se o fyziologický proces dřevin, který je nutné pochopit, pokud se snažíme o provádění odborných arboristických zásahů na stromech. Dalším cílem, bylo popsat vliv orientace více ran na proces hojení těchto ran. Tento faktor je v poslední době ožehavým tématem v arboristické komunitě a v této době na ní není jednoznačná odpověď. Poslední důležitou otázkou této práce je popsání faktorů, které mají na tento proces vliv. Tyto faktory mají velký vliv na průběh hojení ran a pro vhodné zásahy na stromech je nutné znát a počítat s těmito faktory. V praktické části této práce se jako faktory ovlivňující rychlost zarůstání ran berou vliv druhu dřeviny a vliv orientace více ran na rychlost hojivého procesu. Nicméně velký dopad má bezpochyby i vitalita dřeviny, která v praktické části nebyla zhodnocena, protože dřeviny rostly ve velice podobných stanovištních podmínkách, které by měli umožnit podobný růst všem jedincům. Tyto otázky lze rozdělit do tří kapitol které budou rozebrány níže.

Porovnání příčného a podélného růstu kalusu

Hloubka rány ovlivňuje počet buněk, které zůstávají na povrchu rány. Tyto buňky mohou být schopné dělit se a tím ovlivňují růst kalusu na povrchu rány (H. Stobbe et al., 2002). V hlubších poranění dochází k obnažení dřeva, které vyschne a odumře. Na tomto odumřelém povrchu se nemůže začít tvořit kalus, a proto nejdříve kalus přerůstá ránu z jejích okrajů až do chvíle kdy je rána pokryta tímto kalusem. Později dochází k diferenciaci kalusu na xylém, sekundární floém a kortikální pletiva. (Neely, 1988). Tyto dva typy se nejčastěji liší i v příčině vzniku poškození. Zatímco lehčí typ poškození, kdy nedošlo k odstranění diferenciačního xylému je častým výsledkem dopravních nehod nebo bezohledné těžby dřeva v lesích (H. Stobbe et al., 2002). Druhý typ, při kterém dochází k hlubšímu poranění je častěji zapříčiněn ořezem stromů.

Vzhledem k tomu že se rány, které byly vytvořeny na námi testovaných jedincích začali zarůstat od jejích okrajů, můžeme vyvodit, že byly vytvořeny dostatečně hluboká poškození, aby došlo k odstranění diferenciačního xylému, který je schopný začít tvořit kalus přímo na povrchu rány.

Mechanická poškození dřevin mají rozdílnou dynamiku hojení. Tvrzení, které prezentovali McQuilkin (1950), Marshall (1931) a Nelly (1970) ukazují že, se vrchní, a hlavně spodní část rány se hojí výrazně pomaleji než boční strany rány. Poškozené místo se hojí primárně na obou bočních stranách. Výsledky této studie se shodují s výše uvedenými tvrzením a ukazují, že námi testovaní jedinci měli rozdílnou dynamiku zarůstání rány v podélném a příčném směru rány. Z těchto výsledků je zřejmé, že dřeviny zarůstají vytvořené poškození rychleji na jejich horizontálních bočních stranách než na stranách vertikálních.

Vliv orientace více ran na rychlost tvorby kalusu

Další otázkou je vliv vzájemné orientace více ran na kmeni stromu. Tyto rány se vzájemně ovlivňují, pokud jsou vytvořeny v určité blízkosti vůči sobě. Odborná publikace, kterou vydali Mattheck C & Kubler H. 1995 prezentuje kapitolu o významu a velikosti ponechávaného korního můstku mezi dvěma ranami. Tato publikace uvádí, že v případě dvou ran nad sebou, by měla být ponechána vzdálenost, která se rovná trojnásobku největší z ran. Pokud jsou rány orientovány vedle sebe, stačí pouze vzdálenost největšího průměru z těchto ran. To znamená, že pokud je u ran orientovaných vedle sebe dostačující menší vzdálenost tak by se rány vedle sebe měli hojit lépe než rány orientovány nad sebou. Otázkou je z čeho uvedení autoři čerpali tyto poznatky.

Vliv druhu dřeviny na rychlost tvorby kalusu

Je jasné, že jsou velké rozdíly ve schopnosti tvorby hojivého kalusu na povrchu rány napříč druhy (D. Neely, 1983). Nicméně neexistuje žádná studie, která by přímo uváděla rychlost tvorby kalusu v závislosti na druhu dřeviny. Tento úkol navíc ztěžuje skutečnost, že proces tvorby kalusu ovlivňuje celá řada vnějších faktorů, které nelze opomenout, ale zároveň nelze určit jejich přesný vliv na proces tvorby kalusu.

I přesto je možné uvést určité rozdíly v rychlosti tvorby kalusu, pokud dřeviny rozdělíme do určitých skupin. Velký rozdíl v procesu navazujícím na vytvoření poškození dřeviny lze pozorovat mezi odlišnými taxonomickými

skupinami. Nahosemenné dřeviny (*Angiospermae*) mají odlišný proces po vzniku poranění od dřevin krytosemenných (*Magnoliophyta*).

Nahosemenné dřeviny jako první reakci na vytvoření rány zalijí poškození pryskyřicí, tento proces je shodný u většiny jehličnatých dřevin. Zalití rány pryskyřicí funguje jako velmi účinný způsob ochrany proti infekci dřevokaznými houbami. Nicméně sebou nese i určité nevýhody, protože proces tvorby kalusu je tímto velmi zpomalen ve srovnání s nahosemennými dřevinami a může být i o řadu let pomalejší. Nahosemenné dřeviny hojí mechanická poškození kmene pouze růstem okrajů rány, pomocí zvýšenému periklinálnímu a radiálně antiklinálnímu dělení kambia. Nebyla zpozorována proliferace jiných pletiv než kambia, jako je floém nebo radiální parenchym (Víctor Chano et al., 2015).

Výsledky této studie se shodují s výsledky výše uvedené studie (Víctor Chano et al., 2015). V našem experimentu došlo k poškození dohromady deseti jedinců taxonu *Pinus sylvestris* na kterých bylo vytvořeno 14 ran. Z tohoto počtu ani u jedné z vytvořených ran nedošlo k vytvoření kalusu za jedno vegetační období. Všechny ostatní krytosemenné dřeviny vytvořili alespoň nějaký hojivý kalus a řada z nich se za jedno vegetační období stihla zcela zahojit. Z toho je zřejmé, že nahosemenné dřeviny mají výrazně pomalejší proces tvorby hojivé kalusu ve srovnání s dřevinami krytosemennými.

Krytosemenné dřeviny mají ve srovnání s nahosemennými rychlejší proces tvorby kalusu. Navíc, pokud dojde pouze k povrchovému poškození a nedojde k porušení diferenciačního xylému, dochází k tvorbě kalusu přímo na povrchu rány. Tento způsob hojení je u dřevin nahosemenných nemožný. Dřeviny se běžně rozdělí podle rychlosti růstu na dřeviny rychle rostoucí a dřeviny pomalu rostoucí. Studie, kterou vydal (Neely, 1983), ukazuje, že rány na rychle rostoucích stromech se v rámci druhu během vegetačního období uzavírají méně na jednotku radiálního přírůstu než pomaleji rostoucí dřeviny. Jedním z vysvětlení tohoto fenoménu může být to, že proces uzavírání ran je energeticky velmi náročný proces. Rána je místem spotřeby sloučenin nutných k buněčnému dělení. U pomaleji rostoucích stromů se k hojení ran používá větší procento dostupných sloučenin než pro radiální růst kmene v porovnání s rychle rostoucími dřevinami. Tato teorie je ve shodě s výsledky naší studií. Nejmenší průměrný přírůst hojivého

kalusu měl z našich testovaných druhů habr obecný. Jedná se o poměrně rychle rostoucí druh. Na dalším místě se nachází buk lesní, který je také považován za rychle rostoucí dřevinu. Dále došlo k testování jedinců břízy bělokoré, která je také rychle rostoucí dřevina. Dalším testovaným druhem byl dub červený, který je další rychle rostoucí dřevinou. Dalšími testovanými druhy byli naše domácí duby (*Quercus robur*, *Quercus petraea*). Oba tyto druhy měli výrazně rychlejší tvorbu hojivého kalusu v porovnání s ostatními testovanými druhy. Oba tyto druhy jsou považovány za pomalu rostoucí dřeviny.

7 Závěr

Z měření vytvořeného hojivého pletiva za jedno vegetační období bylo zjištěno, že se rány na kmeni stromů hojí výrazně rychleji z bočních stran rány, zatímco vrchní a spodní strana rány zarůstá pomaleji.

Dynamika uzavírání ran na kmeni stromů se velmi lišila napříč testovanými druhy. Testovaní jedinci borovice lesní jako jediní zástupci nahosemenných dřevin nevytvořili žádné hojivé pletivo, brzy po poranění došlo k zalití rány pryskyřicí. Hojení ostatních testovaných jedinců dopadlo podle očekávání. Zástupci našich domácích dubů (*Quercus robur* a *Quercus petraea*) vytvořili výrazně větší vrstvu hojivého pletiva a několik ran bylo úplně překryto hojivým pletivem. Zástupci ostatních druhů dřevin vytvořili většinou kolem poloviny průměru rány v příčném směru, výjimkou je habr obecný, který byl schopný zarůst přibližně jednu pětinu průměru rány v příčném směru.

Porovnání vlivu orientace ran vůči sobě na rychlost tvorby hojivého pletiva je bezpochyby důležitou otázkou pro arboristickou veřejnost, nicméně výsledky této studie na danou problematiku nejsou plně přesvědčivé a rozchází se s pozorováním jiných studií. Z našich výsledků je patrné, že většina dřevin rychleji hojila rány, pokud jsou orientovány nad sebou, nicméně zástupci buku lesního zarůstaly rychleji rány orientovány vedle sebe. Je nutné podotknout, že na toto téma není příliš mnoho informací a v jedné z odborných publikací je uvedeno, že u ran orientovaných vedle sebe stačí dodržet menší rozstup mezi ranami než u ran orientovaných nad sebou. Z toho lze předpokládat, že by se měly

hojit rychleji orientovány právě nad sebou. Pro vyhodnocení vlivu orientace více ran na rychlost tvorby kalusu by bylo potřeba provést rozsáhlé testování s dostatečně velkým počtem testovaných jedinců. Zároveň by bylo žádoucí zaměřit se na fyziologické procesy a interakce, které vznikají při vytvoření více ran ve vzájemné blízkosti.

8 Literatura

Amponsah, N T, et al. "Seasonal Wound Presence and Susceptibility to *Neonectria Ditissima* Infection in New Zealand Apple Trees." *Proceedings of the New Zealand Weed Control Conference*, vol. 68, 8 Jan. 2015, pp. 250–256, <https://doi.org/10.30843/nzpp.2015.68.5799>. Accessed 5 Apr. 2024.

Arbellay, Estelle, et al. "Changes in Tracheid and Ray Traits in Fire Scars of North American Conifers and Their Ecophysiological Implications." *Annals of Botany*, vol. 114, no. 2, 1 Aug. 2014, pp. 223–232, <https://doi.org/10.1093/aob/mcu112>. Accessed 5 Apr. 2024..

Black, Marvin. "Tree Vandalism: Some Solutions." *Arboriculture & Urban Forestry*, vol. 4, no. 5, 1 May 1978, pp. 114–116, <https://doi.org/10.48044/jauf.1978.027>. Accessed 5 Apr. 2024.

Boddy, Lynne. "Fungal community ecology and wood decomposition processes in angiosperms: from standing tree to complete decay of coarse woody debris." *Ecological Bulletins* (2001): 43-56. DOI:[10.2307/20113263](https://doi.org/10.2307/20113263), Accessed 5 Apr. 2024

BODDY, LYNNE, and A. D. M. RAYNER. "ORIGINS of DECAY in LIVING DECIDUOUS TREES: THE ROLE of MOISTURE CONTENT and a RE-APPRAISAL of the EXPANDED CONCEPT of TREE DECAY." *New Phytologist*, vol. 94, no. 4, Aug. 1983, pp. 623–641, <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1983.tb04871>. Accessed 5 Apr. 2024.

Fisher, Jack B. "Wound Healing by Exposed Secondary Xylem in *Adansonia* (Bombacaceae)." *Iawa Journal*, vol. 2, no. 4, 1 Jan. 1981, pp. 193–199, <https://doi.org/10.1163/22941932-90000732>. Accessed 5 Apr. 2024.

Gallagher, Peter. *Genetic variation and growth regulator effects on wound response among Acer and Populus taxa* /. 1982. Ohio State University, Doctoral dissertation. *OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center*, http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1487171978758581. Accessed 5 Apr. 2024.

Gallagher, P W, and T D Sydnor. "Electrical Resistance Related to Volume of Discolored and Decayed Wood in Silver Maple." *HortScience*, vol. 18, no. 5, 1 Oct. 1983, pp. 762–764, <https://doi.org/10.21273/hortsci.18.5.762>. Accessed 5 Apr. 2024.

Gardner, R. O. "Vanillin-Hydrochloric Acid as a Histochemical Test for Tannin." *Stain Technology*, vol. 50, no. 5, Jan. 1975, pp. 315–317, <https://doi.org/10.3109/10520297509117081>. Accessed 5 Apr. 2024.

Giannino, Francesco, et al. "An Individual Based Model of Wound Closure in Plant Stems." *IEEE Access*, vol. 7, 2019, pp. 65821–65827, <https://doi.org/10.1109/access.2019.2915575>. Accessed 28 May 2022.

Hamada, Kazutoshi, et al. "Healing Process of the Wounds of the Branches of the Japanese Persimmon That Were Caused by Girdling, Scoring, and Strangulation." *Scientia Horticulturae*, vol. 120, no. 2, Apr. 2009, pp. 276–281, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.11.014>. Accessed 5 Apr. 2024.

Hosius, D. "Bark stripping consequences on beech." *Allgemeine Forst Und Jagdzeitung* 22 (1967): 484-487

C. P. Heisenberg and Y. Bellaïche, "Forces in tissue morphogenesis and patterning," *Cell*, vol. 153, no. 5, pp. 948–962, May 2013.

www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092867413005734,
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.05.008>. Accessed 5 Apr. 2024.

Víctor Chano, et al. “Proliferation of Axial Parenchymatic Xylem Cells Is a Key Step in Wound Closure of Girdled Stems in *Pinus Canariensis*.” *BMC Plant Biology*, vol. 15, no. 1, 27 Feb. 2015, <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0447-z>. Accessed 5 Apr. 2024..

Ikeuchi, Momoko, et al. “Plant Callus: Mechanisms of Induction and Repression.” *The Plant Cell*, vol. 25, no. 9, 1 Sept. 2013, pp. 3159–3173, www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3809525/, <https://doi.org/10.1105/tpc.113.116053>. Accessed 5 Apr. 2024.

Larjavaara, Markku, and Helene C. Muller-Landau. “PERSPECTIVE: Rethinking the Value of High Wood Density.” *Functional Ecology*, vol. 24, no. 4, 15 Mar. 2010, pp. 701–705, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01698>. Accessed 5 Apr. 2024..

Marshall, Rush Porter. *The relation of season of wounding and shellacking to callus formation in tree wounds*. No. 246. US Department of Agriculture, 1931., pp. 28, Accessed 5 Apr. 2024.

MATTHECK, Claus a Hans KUBLER. *Wood: the internal optimization of trees*. Berlin: Springer - Verlag, 1997. ISBN 978-3-540-62019-8.

McQuilkin, W E. “Effects of Some Growth Regulators and Dressings on the Healing of Tree Wounds.” *Journal of Forestry*, vol. 48, no. 9, 1 Sept. 1950, pp. 423–428, <https://doi.org/10.1093/jof/48.9.423>. Accessed 5 Apr. 2024.

Micco, Veronica De, et al. “Fire Influence on *Pinus Halepensis*: Wood Responses Close and far from the Scars.” *IAWA Journal*, vol. 34, no. 4, 2013, pp. 446–458, <https://doi.org/10.1163/22941932-00000036>.

Accessed 5 Apr. 2024.

De Micco, Veronica, et al. "TYLOSES and GUMS: A REVIEW of STRUCTURE, FUNCTION and OCCURRENCE of VESSEL OCCLUSIONS." *IAWA Journal*, vol. 37, no. 2, 7 July 2016, pp. 186–205, <https://doi.org/10.1163/22941932-20160130>. Accessed 5 Apr. 2024.

Mullick, D. B. "A New Tissue Essential to Necrophylactic Periderm Formation in the Bark of Four Conifers." *Canadian Journal of Botany*, vol. 53, no. 21, 1 Nov. 1975, pp. 2443–2457, <https://doi.org/10.1139/b75-271>. Accessed 5 Apr. 2024.

Neely, D. "Healing of Wounds on Trees." *Journal of the American Society for Horticultural Science*, vol. 95, no. 5, 1 Jan. 1970. Accessed 5 Apr. 2024.

Neely, Dan. "Tree wound closure." *Journal of arboriculture* 14.6 (1988): 148-152. Accessed 5 Apr. 2024.

Nowak, David J., Joe R. McBride, and Russell A. Beatty. "Newly planted street tree growth and mortality." *Arboriculture & Urban Forestry (AUF)* 16.5 (1990): 124-129. Accessed 5 Apr. 2024.

Oven, Primož, and Niko Torelli. "Response of the cambial zone in conifers to wounding." *PHYTON-HORN-* 39.3 (1999): 133-138. Accessed 5 Apr. 2024.

G. Di Pasquale, P. Di Martino, and S. Mazzoleni, "Forest history in the Mediterranean region," in *Recent Dynamics of the Mediterranean Vegetation and Landscape*, S. Mazzoleni, G. di Pasquale, M. Mulligan, P. di Martino, F. Rego, Eds. Chichester, U.K.: Wiley, Oct. 2005, pp. 15–25. Accessed 5 Apr. 2024.

Pauleit, Stephan, et al. "Tree Establishment Practice in Towns and Cities

– Results from a European Survey.” *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 1, no. 2, Jan. 2002, pp. 83–96, <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00009>. Accessed 5 Apr. 2024.

PEARCE, R. B. “Antimicrobial Defences in the Wood of Living Trees.” *New Phytologist*, vol. 132, no. 2, Feb. 1996, pp. 203–233, <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb01842>. Accessed 5 Apr. 2024.

Rademacher, P, et al. “Characteristics of Xylem Formed after Wounding in *Acer*, *Betula*, and *Fagus*.” *Iawa Journal*, vol. 5, no. 2, 1 Jan. 1984, pp. 141–151, <https://doi.org/10.1163/22941932-90000879>. Accessed 5 Apr. 2024.

Rittinger, P A, et al. “Histochemistry of Lignin and Suberin Deposition in Boundary Layers Formed after Wounding in Various Plant Species and Organs.” *Canadian Journal of Botany*, vol. 65, no. 9, 1 Sept. 1987, pp. 1886–1892, <https://doi.org/10.1139/b87-258>. Accessed 5 Apr. 2024.

Romeiro, Diego, et al. “AS ANATOMICAL FEATURES of the XYLEM COULD INFLUENCE WOUND HEALING PROCESS in TREES?” *Revista Do Instituto Florestal (Impresso)*, vol. 33, no. 2, 2 Dec. 2021, pp. 119–138, <https://doi.org/10.24278/2178-5031.202133201>. Accessed 5 Apr. 2024.

Sharples, A., and H. Gunnery. "Callus formation in *Hibiscus rosa-sinensis* L. and *Hevea brasiliensis* Müll. Arg." *Annals of Botany* 47.188 (1933): 827-839. Accessed 5 Apr. 2024.

Shigo, A L. “Compartmentalization: A Conceptual Framework for Understanding How Trees Grow and Defend Themselves.” *Annual Review of Phytopathology*, vol. 22, no. 1, Sept. 1984, pp. 189–214, <https://doi.org/10.1146/annurev.py.22.090184.001201>. Accessed 5 Apr. 2024.

STOBBE, H., et al. "Developmental Stages and Fine Structure of Surface Callus Formed after Debarking of Living Lime Trees (*Tilia* Sp.)." *Annals of Botany*, vol. 89, no. 6, 1 June 2002, pp. 773–782, www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4233843/, <https://doi.org/10.1093/aob/mcf137>. Accessed 5 Apr. 2024.

Stoffel, M., and M. Bollschweiler. "Tree-Ring Analysis in Natural Hazards Research – an Overview." *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 8, no. 2, 11 Mar. 2008, pp. 187–202, <https://doi.org/10.5194/nhess-8-187-2008>. Accessed 5 Apr. 2024.

M. Stoffel, M. Bollschweiler, D. R. Butler, and B. Luckman, "Tree rings and natural hazards: An introduction," in *Tree Rings Natural Hazards: A State-of-the-Art*, vol. 41, M. Stoffel, M. Bollschweiler, D. R. Butler, and B. Luckman, Eds. New York, NY, USA: Springer, Mar. 2010, pp. 3–23. Accessed 5 Apr. 2024.

Sutherland, Elaine Kennedy, and Kevin T. Smith. "Resistance is not futile: the response of hardwoods to fire-caused wounding." *Proceedings: workshop on fire, people, and the central hardwood landscape. General Technical Report NE-274, US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Newtown Square, PA*. 2000, pp. 111-115. Accessed 5 Apr. 2024.

Farzam Tavankar, et al. "Assessment of Wound Recovery and Radial Growth 10 Years after Forest Operations in Hardwood Stands." *Forests*, vol. 13, no. 9, 31 Aug. 2022, pp. 1393–1393, <https://doi.org/10.3390/f13091393>. Accessed 5 Apr. 2024.

Tubby, K.V., et al. "The Efficacy of Chemical Thinning Treatments on *Pinus Sylvestris* and *Larix Kaempferi* and Subsequent Incidence and Potential Impact of *Heterobasidion Annosum* Infection in Standing Trees." *Forestry: An International Journal of Forest Research*, vol. 90, no.

5, 23 Sept. 2017, pp. 728–736,

<https://doi.org/10.1093/forestry/cpx038>. Accessed 5 Apr. 2024.

Viswanathan, Bhavana, et al. “Impervious and Pervious Pavements Increase Soil CO₂ Concentrations and Reduce Root Production of American Sweetgum (*Liquidambar styraciflua*).” *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 10, no. 2, Jan. 2011, pp. 133–139,

<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.01.001>. Accessed 5 Apr. 2024.

Wahlström, K. T., and M. Johansson. “Structural Responses in Bark to Mechanical Wounding and *Armillaria ostoyae* Infection in Seedlings of *Pinus sylvestris*.” *Forest Pathology*, vol. 22, no. 2, May 1992, pp. 65–76, <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.1992.tb01434>. Accessed 5 Apr. 2024.

Lothar Wessoly, Martin Erb, *Manual of Tree Statics and Tree Inspection*, ISBN 978-3-87617-143-2, 2016 Patzer Verlag, Berlin – Hanover, pp. 180

C. R. White and G. L. Harley, “Historical fire in longleaf pine (*Pinus palustris*) forests of south Mississippi and its relation to land use and climate,” *Ecosphere*, vol. 7, no. 11, Nov. 2016, Art. no. e01458. Accessed 5 Apr. 2024.

Zajączkowska, Urszula. “Regeneration of Scots Pine Stem after Wounding.” *IAWA Journal*, vol. 35, no. 3, 9 Sept. 2014, pp. 270–280, <https://doi.org/10.1163/22941932-00000065>. Accessed 5 Apr. 2024.

Seznam obrázků

Obr. č. 1 Modelová simulace uzavření rány v průřezu kmene dřeviny. A-D: Zleva doprava, každý sloupec představuje snímek v čase. V horní řadě jsou obrázky rány na kmeni stromu, které slouží pro porovnání vývoje zarůstání rány vytvořené simulací. Žluté buňky představují odhalené dřevo při poranění. Červené buňky

představují kambium. Zelené buňky představují borku. Fialové buňky znázorňují kalus. (Giannino, Francesco, et al., 2019)

Obr. č. 2 Osa y vyjadřuje velikost vytvořeného kalusu [mm] na radiální přírůst kmene [mm] vytvořeného za 3 roky pro rány široké 50 mm, v kulatém, čtvercovém a eliptickém tvaru. Na ose y jsou znázorněny tři druhy dřevin (ash-Fraxinus americana, oak – Quercus palustris, locust – Gleditsia triacanthos) Rány byly vytvořeny v roce 1967 a každá hodnota je průměrem deseti ran. (Nelly, 1970)

Obr. č. 3 Osa x vyjadřuje šířku vytvořeného hojivého pletiva [mm] měřeno v srpnu 1968, poranění byla vytvořena na jaře, v létě a na podzim roku 1967 a v zimě 1967-1968. Na ose y jsou znázorněny tři druhy dřevin (ash-Fraxinus americana, oak – Quercus palustris, locust – Gleditsia triacanthos). Každá hodnota je průměr 10 ran na stromech (Nelly, 1970)

Obr. č. 4 Lokalizace prostoru, ve kterém došlo k testování stromů v rámci arboreta v Kostelci nad Černými lesy (MAPY.CZ.Online.Seznam.cz, 2024. Dostupné z: <https://mapy.cz/turisticka?x=14.8482680&y=49.9984954&z=14>, [citováno 2024-04-01].).

Seznam grafů

Graf č. 1 Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců břízy bělokoré, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

Graf č. 2 Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců buku lesního, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

Graf č. 3 Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců dubu červeného, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru

rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

Graf č. 4 Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců dubu letního, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

Graf č. 5 Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců dubu zimního, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

Graf č. 6 Graf vyjadřuje na ose x šířku vytvořeného kalusu [mm] testovaných zástupců habru obecného, modrou barvou je označen růst kalusu v příčném směru rány, oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose y je označení identifikačního čísla souboru rány.

Graf č. 7 Graf vyjadřuje na ose y šířku vytvořeného kalusu [mm] na obvodu rány. Modrou barvou je označen růst v příčném směru rány. Oranžovou barvou je označen růst kalusu v podélném směru rány. Na ose x je označení čísla souboru rány.

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Tabulka s daty, popisujícími vytvořená poškození (3.4.2023).

Tabulka č. 2 Tabulka s daty, popisujícími šířku zbývajícího nezahojeného prostoru v mm, v příčném směru (A), v podélném směru (B). V případě více ran v souboru ran se rány řadí v pořadí zleva doprava číslicemi 1, 2 a 3.

9 Samostatné přílohy



Příloha č. 1 – Čerstvě vytvořená rána na borovici lesní, 3. 4. 2023, (vlastní foto).



Příloha č. 2 – Měření kalusu borovice lesní na konci vegetačního období, 26. 10. 2023, (vlastní foto).



Příloha č. 3 – Čerstvě vytvořená rána na dubu letním, 3. 4. 2023, (vlastní foto).



Příloha č. 4 – Měření kalusu dubu letního na konci vegetačního období, 26. 10. 2023, (vlastní foto).



Příloha č. 5 - Čerstvě vytvořená rána na dubu letním, 3. 4. 2023, (vlastní foto).



Příloha č. 6 – Měření kalusu dubu letního na konci vegetačního období, 26. 10. 2023, (vlastní foto).



Příloha č. 7 - Čerstvě vytvořená rána na buku lesním, 3. 4. 2023, (vlastní foto).



Příloha č. 8 – Měření kalusu buku lesního na konci vegetačního období, 26. 10. 2023, (vlastní foto)



Příloha č. 9 - Čerstvě vytvořená rána na habru obecném, 3. 4. 2023, (vlastní foto).



Příloha č. 10 – Měření kalusu habru obecného na konci vegetačního období, 26. 10. 2023, (vlastní foto)



Příloha č. 11 - Čerstvě vytvořená rána na dubu letním, 3. 4. 2023, (vlastní foto).



Příloha č. 12 – Měření kalusu dubu letního na konci vegetačního období, 26. 10. 2023, (vlastní foto)



Příloha č. 13 - Čerstvě vytvořená rána na dubu zimním, 3. 4. 2023, (vlastní foto).



Příloha č. 14 – Měření kalusu dubu zimního na konci vegetačního období, 26. 10. 2023, (vlastní foto)



Příloha č. 15 - Čerstvě vytvořená rána na dubu zimním, 3. 4. 2023, (vlastní foto).



Příloha č. 16 – Měření kalusu dubu zimního na konci vegetačního období, 26. 10. 2023, (vlastní foto).

Taxon	ID	Obvod (cm)	Výška (m)	Světová orientace	Ø rány (mm)	Počet ran	Rozmístění ran	Korní můstek (cm)	Výška rány	Hloubka rány (cm)
<i>Betula pendula</i>	1_1	72	14,8	západ	35	2	nad sebou	1	130	
<i>Betula pendula</i>	1_2	70		východ	35	1			200	
<i>Betula pendula</i>	2_1	23	5	severovýchod	35	1			130	
<i>Betula pendula</i>	3_1	117	15,8	západ	35	1			130	2,5
<i>Betula pendula</i>	3_2	138		východ	35	1			50	3
<i>Quercus robur</i>	4_1	128	18	západ	35	2	vedle sebe	2,5	130	1,5
<i>Quercus robur</i>	4_2	128		východ	35	2	vedle sebe	5	130	
<i>Quercus robur</i>	5_1	145	17,2	východ	35	2	nad sebou	2,5	130	1,5
<i>Quercus robur</i>	5_2	145		západ	35	2	nad sebou	5	130	
<i>Quercus robur</i>	6_1	151	23	západ	35	1			130	1,5
<i>Quercus robur</i>	6_2	151		východ	35	1			130	2
<i>Quercus robur</i>	7_1	171	22,4	západ	35	2	nad sebou	0	130	1,5
<i>Quercus robur</i>	7_2	171		východ	35	2	nad sebou	3,5	130	2
<i>Quercus robur</i>	8_1	190	23,4	sever	35	1			130	1,5
<i>Quercus robur</i>	8_2	190		jih	35	1			130	3,5
<i>Quercus petraea</i>	9_1	63	14,5	jih	35	2	nad sebou	0,5	130	0,5
<i>Carpinus betulus</i>	10_1	36	13	jih	35	2	nad sebou	10	130	0,3
<i>Carpinus betulus</i>	11_1	60	12	jih	35	2	nad sebou	2	130	
<i>Quercus petraea</i>	12_1	40	11,5	jih	35	1			130	0,4
<i>Carpinus betulus</i>	13_1	48	13	jih	35	2	vedle sebe	2	130	
<i>Quercus petraea</i>	14_1	53	12,4	jih	35	2	vedle sebe	1	130	
<i>Quercus petraea</i>	15_1	63	15	jih	35	2	vedle sebe	10	130	
<i>Quercus petraea</i>	16_1	65	14	jih	35	2	vedle sebe	3	130	
<i>Quercus petraea</i>	17_1	64	14	jih	35	2	nad sebou	10	130	
<i>Quercus petraea</i>	18_1	58	13	jih	35	3	nad sebou	5	130	
<i>Carpinus betulus</i>	19_1	52	11	jih	35	1			130	
<i>Quercus petraea</i>	20_1	60	13	sever	35	1			130	
<i>Quercus petraea</i>	21_1	58	12	jih	35	1	vedle sebe		50	
<i>Quercus petraea</i>	22_1	61	12	jih	35	3		2,5 a 1	130	
<i>Fagus sylvatica</i>	23_1	63	13	jih	35	1			130	
<i>Carpinus betulus</i>	24_1	48	10	sever	35	2	nad sebou	2,5	130	
<i>Fagus sylvatica</i>	25_1	93	15	jih	35	2	nad sebou	2	130	
<i>Fagus sylvatica</i>	25_2	93		sever	35	2	vedle sebe	2	130	
<i>Fagus sylvatica</i>	26_1	65	15	jih	20	2	vedle sebe	2	130	
<i>Fagus sylvatica</i>	27_1	52	14	jih	20	1			130	
<i>Fagus sylvatica</i>	28_1	41	14	jih	20	2	nad sebou	2	130	
<i>Quercus rubra</i>	29_1	110	22	jih	35	1			130	
<i>Quercus rubra</i>	30_1	98	22	jih	35	2	vedle sebe	1	130	
<i>Quercus rubra</i>	31_1	100	17	jih	35	2	vedle sebe	1	130	
<i>Quercus rubra</i>	32_1	172	24	jih	35	2	nad sebou	5	130	2
<i>Quercus rubra</i>	32_2	172		sever	35	2	vedle sebe	5	130	
<i>Quercus rubra</i>	33_1	46	15	jih	35	1			130	3
<i>Quercus rubra</i>	34_1	122	22	jih	35	1			130	
<i>Quercus petraea</i>	35_1	84	22	jih	35	1			130	0,5
<i>Quercus robur</i>	36_1	72	18	jih	35	2	vedle sebe	5	130	0,5
<i>Quercus robur</i>	37_1	61	20	jih	35	2	nad sebou	5	130	
<i>Quercus robur</i>	38_1	83	20	jih	35	2	nad sebou	1	130	
<i>Quercus robur</i>	39_1	86	20	jih	35	2	vedle sebe	1	130	
<i>Quercus robur</i>	40_1	65	20	jih	35	1			130	
<i>Pinus sylvestris</i>	41_1	98		jih	35	1			130	1,5
<i>Pinus sylvestris</i>	42_1	95		jih	35	2	nad sebou		130	
<i>Pinus sylvestris</i>	43_1	72		jih	35	2	vedle sebe	5	130	
<i>Pinus sylvestris</i>	44_1	68		jih	35	1			130	
<i>Pinus sylvestris</i>	45_1	76		jih	35	2	nad sebou	1	130	
<i>Pinus sylvestris</i>	46_1	76		jih	35	2	vedle sebe	1	130	
<i>Pinus sylvestris</i>	47_1	81		jih	35	1			130	
<i>Pinus sylvestris</i>	48_1	42		jih	35	1			130	
<i>Pinus sylvestris</i>	49_1	60		jih	35	1			130	
<i>Pinus sylvestris</i>	50_1	101		jih	35	1			130	

Tabulka č. 1 Tabulka s daty, popisujícími vytvořená poškození (3.4.2023).

1. měření (26. 10. 2023)	Taxon	1 - A	1 - B	2 - A	2 - B	3 - A	3 - B	poznámka:
1_1	<i>Betula pendula</i>	26	35	26	35			
1_2	<i>Betula pendula</i>	22	34					
2_1	<i>Betula pendula</i>	24	35					
3_1	<i>Betula pendula</i>	18	35					
3_2	<i>Betula pendula</i>	20	35					
4_1	<i>Quercus robur</i>	13	27	17	30			
4_2	<i>Quercus robur</i>	18	29	9	25			
5_1	<i>Quercus robur</i>	13	30	12	32,5			
5_2	<i>Quercus robur</i>	12	25	3	13			
6_1	<i>Quercus robur</i>	10	19					
6_2	<i>Quercus robur</i>	0	0					
7_1	<i>Quercus robur</i>	6	18					
7_2	<i>Quercus robur</i>	2	8	4	13			
8_1	<i>Quercus robur</i>	4	15					
8_2	<i>Quercus robur</i>	0	0					
9_1	<i>Quercus petraea</i>	9	5,3					Korní můstek odumřel
10_1	<i>Carpinus betulus</i>	28	32,5	29	36			
11_1	<i>Carpinus betulus</i>	30	36	30	35			korní můstek nefunkční
12_1	<i>Quercus petraea</i>	19	37					
13_1	<i>Carpinus betulus</i>	29	35	28,5	35			
14_1	<i>Quercus petraea</i>	17	29	16,5	29			
15_1	<i>Quercus petraea</i>	11	22	11	20			
16_1	<i>Quercus petraea</i>	18	35	17	32			
17_1	<i>Quercus petraea</i>	14	35	16	34			
18_1	<i>Quercus petraea</i>	13	28	17	29	12	30	
19_1	<i>Carpinus betulus</i>	29,5	32					
20_1	<i>Quercus petraea</i>	15,5	30					
21_1	<i>Quercus petraea</i>	12	26					
22_1	<i>Quercus petraea</i>	3	10	1	2	0	0	
23_1	<i>Fagus sylvatica</i>	23	37					
24_1	<i>Carpinus betulus</i>	30	31,5	28,5	33,5			
25_1	<i>Fagus sylvatica</i>	23	34	22,5	32,5			
25_2	<i>Fagus sylvatica</i>	20	31	23	33			
26_1	<i>Fagus sylvatica</i>	13	19	12	19			
27_1	<i>Fagus sylvatica</i>	6,5	15,5					
28_1	<i>Fagus sylvatica</i>	13	18,5	14	19			
29_1	<i>Quercus rubra</i>	23,5	31,5					
30_1	<i>Quercus rubra</i>	19	32	23	34,5			
31_1	<i>Quercus rubra</i>	23	33	21	32			
32_1	<i>Quercus rubra</i>	22	30	24	31			
32_2	<i>Quercus rubra</i>	27	34	26	33			
33_1	<i>Quercus rubra</i>	25,5	34					
34_1	<i>Quercus rubra</i>	23,5	32					
35_1	<i>Quercus petraea</i>	17	19					
36_1	<i>Quercus robur</i>	26,5	34,5	21	34,5			
37_1	<i>Quercus robur</i>	33	34,5	34	35			
38_1	<i>Quercus robur</i>	14,5	33	17	32			
39_1	<i>Quercus robur</i>	15	28,5	13,5	27,5			
40_1	<i>Quercus robur</i>	20	33,5					
41_1	<i>Pinus sylvestris</i>	35	35					
42_1	<i>Pinus sylvestris</i>	35	35	35	35			
43_1	<i>Pinus sylvestris</i>	35	35	35	35			
44_1	<i>Pinus sylvestris</i>	35	35					
45_1	<i>Pinus sylvestris</i>	35	35	35	35			
46_1	<i>Pinus sylvestris</i>	35	35	35	35			
47_1	<i>Pinus sylvestris</i>	35	35					
48_1	<i>Pinus sylvestris</i>	35	35					
49_1	<i>Pinus sylvestris</i>	35	35					
50_1	<i>Pinus sylvestris</i>	35	35					

Tabulka č. 2 Tabulka s daty, popisujícími šířku zbývajících nezahojeného prostoru v mm, v příčném směru (A), v podélném směru (B). V případě více ran v souboru ran se rány řadí v pořadí zleva doprava číslicemi 1, 2 a 3.