

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav lesnické a dřevařské techniky



Posouzení vlivu mechanizovaného soustředování dříví na půdní povrch

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Posouzení vlivu mechanizovaného soustředování dříví na půdní povrch zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne: 25. 4. 2015

podpis studenta

Poděkování

Pár slovy bych chtěl za velkou pomoc poděkovat vedoucímu této bakalářské práce Ing. Tomáši Zemánkovi, PhD. za jeho čas, trpělivost a ochotu během konzultací a za drahocenné rady a připomínky při zpracování práce.

Rovněž děkuji prof. Radomíru Ulrichovi, CSc. za jeho vstřícnost a poskytování neméněcenných informací a doporučení v průběhu tvorby práce. Dále děkuji všem, kteří byli jakýmkoliv způsobem nápomocni.

Rodině a přátelům neméně děkuji za veškerou podporu během studia i při zpracování bakalářské práce.

Abstrakt

Jméno a příjmení: Lukáš Černý

Posouzení vlivu mechanizovaného soustředování dříví na půdní povrch

Bakalářská práce pojednává o měření a hodnocení okamžitých tlaků v půdě po pojezdu těžkých strojů pro soustředování dříví. Dále se zabývá metodou měření škod na půdě a stromech v porostu po těžebním zásahu. Měření okamžitých tlaků probíhalo na Školním lesním podniku Masarykův les Křtiny. Posuzovaným strojem byl prototyp vyvážecího traktoru Novotný LVS 720 a univerzální traktor Zetor Proxima Plus 8541 na stejném typu podloží (rendzina kambická). Výsledky z měření prokázaly, že prototyp vyvážecího traktoru způsobil nižší okamžité tlaky během vyvážení vyšší hmotnosti nákladu než univerzální kolový traktor. Při měření škod na stromech a půdě v porostu na lokalitě Telč a Plumlov byly hodnoceny technologie úvazková a bezúvazková. Znovu se potvrdilo, že bezúvazková technologie je šetrnější k prostředí lesních porostů.

Klíčová slova: okamžitý tlak v půdě, soustředování dříví, poškození půdy v porostu, poškození stromů v porostu, vyvážecí traktor, univerzální kolový traktor

Abstract

Name and surname: Lukáš Černý

An assessment of the influence of mechanized logging of wood on the soil surface

This Bachelor thesis deals with the measurement and evaluation of the immediate pressure in the soil after heavy machinery for the gathering of logs travels over it. It further looks into the method of measuring damage to the soil and trees in the forest cover after the logging operation. Measurement of immediate pressures was carried out at the Training Forest Enterprise of Masaryk Forest Křtiny. The prototype machine forwarder Novotný LVS 720 and the universal wheeled tractor Zetor Proxima Plus 8541 were assessed on the same type of soil with similar natural conditions. The results of the measurements proved that the prototype forwarders produced less immediate pressures during the transport of heavier loads than the universal wheeled tractor. The classical technology and CTL technology were evaluated for the measuring of damage to trees and soil in the forest cover at the areas of Telč and Plumlov. It was again confirmed that the CTL technology is more gentle to the environment of forest cover.

Key words: immediate pressure in the soil, logging of wood, damage soil in the forest cover, damage to trees in the forest cover, forwarder, universal wheeled tractor

Seznam použitých zkratk

- BK – buk lesní (*Fagus sylvatica*, L.)
- CTL – cut-to-length [harvestorová technologie]
- DB – dub zimní (*Quercus petraea*, Matt., Liebl.)
- HB – habr obecný (*Carpinus betulus*, L.)
- LT – Lesní typ
- LVS – Lesní vegetační stupeň
- SM – (*Picea abies*, L., Karst.)
- ŠLP – Školní lesní podnik
- UKT – Univerzální kolový traktor

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl práce.....	10
3	Současný stav řešené problematiky	11
3.1	Namáhání půdy při pojezdu dopravních strojů	12
3.1.1	Vznik tlaků v půdě při pojezdu strojů	12
3.1.2	Elasticita a plasticita půdy	13
3.2	Únosnost půdy.....	13
3.3	Poškození půdy	14
3.3.1	Zhutnění půd.....	14
3.3.2	Vliv zhutnění na texturu a strukturu půdy.....	15
3.3.3	Vliv zhutnění na pórovitost	15
3.3.4	Vliv zhutnění na vodní režim	16
3.3.5	Vliv zhutnění na humusový horizont	16
3.3.6	Vliv zhutnění na půdní organismy	17
3.3.7	Vliv zhutnění na výměnu plynů	17
3.3.8	Půdní eroze	18
3.4	Regenerace půdy	20
3.5	Poškození lesních porostů během těžebně dopravní činnosti	21
3.5.1	Poškození nadzemní části stromů.....	21
3.5.2	Poškození kořenového systému.....	22
3.5.3	Překonání mechanického odporu kořenů při pronikání půdou	23
3.6	Adaptace kořenového systému stromu.....	24
4	Metodika.....	25
4.1	Stručný popis lokalit a přírodních podmínek	25
4.2	Základní popis vyvážecího traktoru Novotný LVS 720	26

4.3	Základní popis univerzálního kolového traktoru	
	Zetor Proxima 8541 Plus.....	26
4.4	Měření styčné plochy	27
4.5	Měření a registrace okamžitých tlaků v půdě	27
	4.5.1 Půdní sonda	28
	4.5.2 Měření vlhkosti.....	29
	4.5.3 Práce s aparaturou	30
4.6	Stanovení indexu rezistence	31
4.7	Stanovení počtu zkusných ploch.....	32
4.8	Hodnocení poškození stromů.....	33
4.9	Hodnocení poškození půdy	35
5	Výsledky.....	37
	5.1 Výsledky z výpočtu indexu rezistence	37
	5.2 Výsledky měření okamžitých tlaků.....	37
	5.2.1 Obecné poznatky z praktické části metody	38
	5.2.2 Výsledky z měření okamžitých tlaků vyvážecího traktoru	38
	5.2.3 Výsledky z měření okamžitých tlaků u UKT	42
	5.2.4 Vzájemné porovnání strojů	43
	5.3 Výsledky z měření poškození stromů	45
	5.4 Výsledky z měření poškození půdy	47
6	Diskuse	48
7	Závěr.....	53
8	Seznam citované literatury	54
9	Summary.....	60
	Přílohy.....	61

1 Úvod

Půda je podle Malíka a Dvořáka (2007) nenahraditelným výrobním prostředkem naší společnosti, zároveň je nezbytným článkem koloběhu života a také je považována za regulátor civilizace. Dle Vavříčka a Kučery (2015) se jedná o komplexní dynamické prostředí, které vzniká pod vlivem externích a interních faktorů, jež společně tvoří obraz krajiny a složku prostředí, která umožňuje růst rostlin. Pro lesnické účely je půda nástrojem rostlinné produkce a pro naplnění dřevoprodukční funkce je třeba zajistit i plnění funkcí mimoprodukčních, jako je ochrana půdy. Jakékoliv běžné operace v lesním prostředí způsobují zhutnění půd (Neruda a kol. 2013a), avšak mechanické těžebně-dopravní prostředky jsou dnes nedílnou součástí těžebně-dopravního procesu v lesním hospodářství (Malík, Dvořák 2007).

Vývoj technických prostředků pro soustředování dříví se posouvá s patřičnými důvody ve prospěch využití harvesterových technologií. Z historického hlediska však stoupá hmotnost a výkon používaných strojů, zejména vyvážecích traktorů, a to se odráží hned několika směry ve změnách podmínek lesního prostředí. Dle Klvače (2011) jde o trend, kdy se přechází od manuálních technologií k technologiím motomanuálním a poté mechanizovaným za účelem zvýšení produktivity a hygieny práce. S tím souvisí i nevyhnutelná rizika způsobená jejich činnostmi, které mohou být v jistých mezích eliminovány přístupem lesníka, konstrukcí strojů i samotnými operátory strojů. V této práci jsem se proto zabýval problematikou posouzení vlivu mechanizovaného soustředování na půdní povrch v porovnání mechanizačních prostředků a technologií.

2 Cíl práce

Cílem práce je seznámit se s problematikou vlivu těžké lesnické techniky na půdní povrch, kde je zahrnut výčet doporučené literatury stanovený vedoucím práce. Dále provést měření a hodnocení okamžitých tlaků v půdě způsobené přejezdy malého vyvážecího traktoru a univerzálního kolového traktoru s lesnickou nástavbou. K tomuto účelu je zvolen prototyp vyvážecího traktoru LVS 720 firmy Novotný a univerzální kolový traktor typové řady 8541 Proxima Plus značky Zetor. Následně stroje zhodnotit mezi sebou i samostatně s předpokladem kladných výsledků u vyvážecího traktoru. Vybraná metoda pro hodnocení poškození půdy a porostu je jako součást certifikované metodiky ukazatelů a systému technologických postupů v rámci těžební činnosti a udržitelného využívání lesních ekosystémů. Metoda je aplikována na klasickou technologii úvazkovou a technologii harvesterovou. Záměrem je posoudit jednotlivé technologie a k nim náležící stroje s faktory, které ovlivňují výsledky měření.

3 Současný stav řešené problematiky

Činností těžebně dopravních strojů v lesním prostředí vzniká řada nevyhnutelných problémů. Hlavní problémy jsou zachyceny v následujících kapitolách. Celá řada autorů se zabývala interakcí stanovišť vzhledem k použitým technologiím v těžbě a soustředování dříví a došla k nesčetnému množství výsledků. V této práci je zachycen pouze zlomek těchto skutečností, které z mého úhlu pohledu vystihují podstatu věci. V současné době, dle mého názoru i názoru jiných autorů neexistuje bezeškodný prostředek pro těžbu a dopravu dříví v lesním hospodářství a lze jen polemizovat o tom, zda je společnost schopna takový prostředek či prototyp zkonstruovat nebo tak uzpůsobit těžbu a dopravu dříví. To nevylučuje ani vzdušnou dopravu dříví pomocí vrtulníku, jak popisuje kolektiv autorů ve skriptu Mendelovy univerzity (Neruda a kol. 2013b). Cílem však není sestrojít takový prostředek, ale eliminovat nastávající rizika. Podle Nerudy a kol. (2013a) vzniká poškození půdy už od prvního přejezdu techniky a současně Hartmann a kol. (2013) uvádí, že hutnění půdy je hlavní negativní dopad spojený s těžbou dříví. Poškození půdy je přímo spojeno s poškozením porostů, jak popisuje Ulrich, Schlaghamerský a Štorek (2003). Kořenový systém není poškozován pouze na linkách, ale v celém porostu a stejně tak je poškozována i nadzemní část. Vavříček, Ulrich a Kučera (2014) i jiní naši a zahraniční autoři (Ulrich, Schlaghamerský, Štorek (2003); Mordhorst, Peth, Horn (2014); Goss (1977) a další) potom rozebírají možnosti dopadů po způsobených škodách, což svědčí o tom, že s touto problematikou se setkáváme i daleko za hranicemi naší republiky a to nejenom v Evropě ale i na jiných kontinentech. Pohyb strojů v lesním prostředí tedy nelze vyloučit, ale lze problémy s tím spojené předpokládat (Neruda a kol. 2008).

3.1 Namáhání půdy při jezdě dopravních strojů

3.1.1 Vznik tlaků v půdě při jezdě strojů

Teorii vzniku a šíření tlaku v půdě se zabývá terramechanika (Neruda a kol. 2013a). Tlak přenášený na podložku se u strojů děje koly, pásy či kolopásy a při jezdě se stýkají na dotykové ploše. Dotyková plocha je tvořena celou vytlačenou plochou včetně bočních ploch při zaboření pneumatiky do povrchu půdy. Obecná plocha je pro pneumatiky obtížně určitelná (Neruda, Vavříček, Ulrich, Janeček 2011), proto pro zjednodušení uvažujeme, že dosedací plocha (nebo také plocha otisku), je přibližně eliptická a u pásu přibližně obdélníková, protože dotyková plocha je tvořena ještě otláčením dezénu pláště a nazývá se plocha styku.

Tlakové síly nejsou vyvozeny pouze statickými silami, ale i dynamickými (Neruda a kol. 2013a). Statické síly působí kolmo na povrch země u hnaného kola, u kola hnacího vzniká smykové napětí, které je vyvoláno přenosem hnacího momentu a má směr rovnoběžný s povrchem podložky. Výslednice těchto sil (kolmé a vodorovné složky) s odečtením valivého odporu udává hnací sílu stroje. Specifický, neboli měrný či kontaktní tlak a smykové napětí způsobují výsledné zatížení povrchu pod pásy nebo koly. Při pohybu stroje se posouvá oblast nejvyšších tlaků do směru rychlosti pneumatik, díky působení dynamických sil. Zatížení kola přenáší vzduch v pneumatice, kostra pláště menším podílem. Tlak vzduchu v pneumatikách se šíří všesměrně a jeho hodnota objemu se mění velmi málo, proto i tlak v pneumatikách se mění minimálně. Podle Nerudy a kol. (2013a) by tlak na podložku byl shodný s tlakem huštění pneumatiky v případě, že by byl materiál pneumatiky ideálně pružný. Na tvrdých podložkách jsou specifické tlaky obecně vyšší než na měkkých podložkách, důvodem je zabřednutí kola do povrchu. S narůstající hloubkou zabřednutí kola se hodnoty specifických tlaků snižují. Šíření tlaků lze znázornit pomocí křivek napětí, takzvaných izobar (Neruda a kol. 2013b).

Ulrich, Schlaghamerský a Štorek (2003) uvádí, že skutečné způsobené tlaky, jež dosahují stroje v běžné praxi, se pohybují okolo 100-280 kPa. Jiní autoři (Malík, Dvořák 2007) popisují tlaky rozdílné 50-250 kPa. Spodní mez únosnosti 50 kPa stanovil Wästerlund (1989), kde dochází ke změně většiny půdních charakteristik (odpovídá tlaku lidské nohy). Při jízdě bez nákladu nepřekračuje většina šesti a osmikolových prostředků pro soustředování dříví tento limit, s nákladem je tato hodnota překročena vždy i za použití kolopásů (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014).

3.1.2 Elasticita a plasticita půdy

Dle Nerudy a kol. (2013a) má na velikost půdního tlaku též značný vliv dynamická vlastnost podložky, po které stroj pojíždí, rozlišujeme proto elasticitu a plasticitu půdy.

Plastický půdní povrch je takový, při kterém nastává trvalá deformace půdy a její povrch se už nevrací do původní polohy (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014). Elastický půdní povrch je takový, který se při dočasné deformaci vrací zpět do původní polohy. Typický půdní povrch v lesním prostředí je elastický, jeho elasticitu zajišťují kořeny vegetace (stromů a bylin) při povrchu půdy. Spodní vrstvy již mohou být charakteru plastického. Porušením elasticity klesá velmi rychle únosnost půdního tělesa a při opakovaných pojezdech může nastat prohloubení kolejí do takové míry, že další průjezd už nebude možný.

Vliv elasticity a plasticity se nejvíce projevuje za pojezdu stroje. Hodnota specifického tlaku by byla prakticky stejná na půdě elastické a plastické, jestliže by byl stroj v klidu, neboť styčná plocha by v obou případech byla stejná (Neruda a kol. 2013a). V případě pohybu se elastická půda vrací zpět do původní polohy a kolo je podepíráno i v prostoru za osou kola. Tento jev je v lesním hospodářství významný, neboť svrchní vrstvy půdy bývají zarmovány kořenovým systémem stromů a při opakovaných pojezdech těžkých strojů je elasticita půdy porušována a spolu s ní i kořeny (Neruda a kol. 2011). Největší vliv na elasticitu a plasticitu má vlhkost půdy.

3.2 Únosnost půdy

Definice únosnosti podle Nerudy, Vavříčka, Ulricha a Janečka (2011) je schopnost půdního tělesa odolávat účinkům vnějších sil, které v ní způsobují trvalé nebo přechodné deformace. Míru únosnosti tedy vyjadřuje hloubka stopy vytlačené do povrchu půdy jedním pojezdem strojů.

Míra únosnosti se hodnotí v různých stupních. Autoři Vavříček, Ulrich a Kučera (2014) ji hodnotili podle vytlačené stopy po jednorázovém přejezdu LKT 80. Únosné půdní těleso bylo definováno takové, které odolává měrnému tlaku 200 kPa ve stopě při hloubce koleje do 7 cm a to i při změnách vlhkosti půdy. Tento tlak byl považován za hraniční. Podle zmíněných autorů hodnotíme půdy s extrémně nízkou únosností, s velmi nízkou únosností, s sníženou únosností, s mírně sníženou únosností

a únosné půdy. Extrémně nízkou únosnost vykazovaly organosoly a glejosoly. Za sucha odolávaly 30-50 kPa a za vlhka pouze 5-12 kPa. Oproti tomu únosné půdy odpovídaly podzosolům, leptosolům a rankerovým subtypům, které odolávaly za sucha až 600 kPa a za vlhka 80-120 kPa. Hloubka stopy u půd s extrémně nízkou únosností byla více jak 30 cm a u půd únosných do 7 cm i při změnách vlhkosti.

3.3 Poškození půdy

3.3.1 Zhutnění půd

Jakékoliv běžné operace v lesním prostředí způsobují zhutnění půdy. Toto tvrzení přetrvává dodnes (již přes šedesát let), i přesto není tento problém zcela vyřešen (Neruda a kol. 2008). Historie zkoumání vlivu pojíždění strojů na půdu sahá dvacet let nazpět, uvádí Ulrich, Schlaghamerský a Štorek (2002). Problematika poškozování půdního a zároveň produkčního prostředí byla zmiňována i na světových konferencích, například Summit země v roce 1992, ze kterého pak vycházela Montrealská dohoda z roku 1998 apod. Zhutňování půd je ale také přirozený proces založený na ilimerizaci, inkrustaci půdní struktury solemi nebo zvětráváním a tvorbou jílových minerálů (Vavříček, Kučera 2015), dále sešlapem a pohybem zvěře apod., uvádí Klvač a Liška (Skoupý a kol. 2011). Nepřirozená forma zhutnění, kterou se tato práce zabývá, je důsledkem pojezdu těžkých strojů v lesním prostředí.

Důsledkem pojezdu těžkých strojů bylo zjištěno poškození půdních struktur i ve více jak 20 cm, dále změna vlhkostních podmínek a později bylo zjištěno, že důsledkem zhutnění půd se omezuje růst dřevní produkce (Neruda a kol. 2008). Zhutnění má vliv na celou řadu půdních charakteristik. Jako vnitřní faktory, které tyto charakteristiky ovlivňují, považují Gebauer a Martinková (Neruda a kol. 2008) zejména posun a změnu velikosti půdních částic, druh a množství absorbovaných minerálů, obsah organických látek, půdní strukturu a půdní texturu, stabilizaci kořenů a humusových látek, hustotu půdy, spojitost pórů a obsah vody. K vnějším faktorům přiřazují technologii těžeb, její intenzitu a způsob přepravy sortimentů dříví. Jako příklad uvádějí stroje s odlišnými pneumatikami. Není jednoduché určit parametr, který by mohl vyjádřit nebezpečí zhutnění a to proto, že přesná čísla vykazují velké variace způsobené zhutněním.

3.3.2 Vliv zhutnění na texturu a strukturu půdy

Vavříček a Kučera (2015) definují půdní texturu jako vzájemný poměr velikostních skupin půdních částic (frakcí). Textura výrazně ovlivňuje půdotvorné pochody (například zvětrávací proces je rychlejší u jemnozrnných půd), pohyb vody v půdě (perkolace vody probíhá intenzivněji v písčitých půdách) dále chemické, fyzikální a biologické vlastnosti (velikost půdních částic je úměrná jejich vnitřnímu povrchu). Půdní struktura podle těchto autorů vyjadřuje vnitropůdní uspořádání elementárních půdních částic do určitého celku. Tyto elementy jsou stmeleny ionty, půdními koloidy, humusovými látkami a seskvioxydy (tvoří cheláty tj. sloučeniny s kovy). Agregace půdních elementů probíhá v různých hloubkách a je podmíněna přítomností edafonu, koloidního humusu a druhu fyzikálních a chemických procesů.

Půdní struktura tedy přímo ovlivňuje poměr půdních částic a pórů a tím i vodní, vzdušný a tepelný režim, kdy mechanický tlak způsobuje změnu těchto aspektů.

3.3.3 Vliv zhutnění na pórovitost

Póry se nacházejí v půdě mezi částicemi a mezi agregáty (Vavříček, Kučera 2015). Pórovitost rozlišujeme na kapilární, semikapilární, nekapilární a makrokapilární.

Kapilární póry mají větší zastoupení v jílovitých půdách, jsou podstatné pro pohyb vody všemi směry, avšak tato voda je pro většinu rostlin nedostupná. Jelikož je voda více poutána kapilárními silami, zamezují pohybu vzduchu. Semikapilární póry jsou přechodem mezi kapilárními a nekapilárními póry. Vznikají v důsledku růstu kořenového vlášení a obsahují vodu pro rostliny fyziologicky dostupnou. Pohyb vody v těchto pórech je řízen gravitačními silami a se zužujícím se průměrem póru přechází v síly kapilární. Nekapilární póry jsou bez napětí a vznikají rovněž v důsledku růstu jemných kořenů nebo pohybem mezofauny. Rozdílem je průměr kapilár, kde se uplatňují pouze gravitační síly. Makropórami jsou pukliny v půdě vznikající například vlivem zmenšování a zvětšování objemu půdy při působení mrazu nebo pohybem žížal a největší význam mají na provzdušňování půdy.

Obecně lze hovořit o tom, že zhutnění mění celkovou pórovitost a celkový objem pórů se zhutňováním půd klesá (Neruda a kol 2008). Dle Vavříčka a Kučery (2015) se snižuje pórovitost vlivem pojezdu strojů, kdy se destruuje vnitřní struktury půdy. Vznikajícím tlakem se rozrušují především makropóry a v těchto místech potom vzniká

množství mikropórů, přičemž navýšení množství mikropórů přispívá i rozrušování půdních agregátů (Neruda a kol. 2008). Optimální objem kapilárních pórů k pórům nekapilárním je 2-3:1 (Vavříček a Kučera 2015). Pórovitost se v půdě pohybuje v rozmezí 40-50 % a u povrchového humusu 60-70 %. Kritický limit stanovený Grablem a Siemerem (1968) pro proudění vzduchu v pórech je 10 %.

Následky těchto změn se odráží ve snížení dostupnosti vody pro rostliny, sníženém provzdušňování, zvýšeném mechanickém odporu pro kořeny apod.

3.3.4 Vliv zhutnění na vodní režim

Voda obecně podmiňuje existenci a životaschopnost organismů (Vavříček, Kučera 2015). Nejvýznamnějším zdrojem jsou vertikální srážky. Ke ztrátám vody z půdy dochází vsakem, povrchovým odtokem a transpirací rostlin. Nejvýznamnější ztráty týkající se této problematiky je povrchový odtok, který závisí zejména na sklonu svahu, množství a intenzitě srážek, hloubce promrznutí, propustnosti půdy a vegetačním krytu. Nejdůležitějším horizontem majícím vliv na tyto podmínky je humusový horizont, dále pak struktura a textura půdy, ovšem důležité je i množství plynu obsaženém v půdě, protože vsakující se voda musí nejprve plyn vytlačit. Nejlépe propustné bývají hrubozrnné písčité půdy. Opakem jsou půdy se zvýšeným množstvím kapilárních pórů, kde zvýšením jejich množství může vést až k povrchovému odtoku, naopak jejich nedostatek znamená sníženou dostupnost vody pro rostliny. Zhutnění půd nemusí mít vždy negativní dopady na prostředí, avšak téměř vždy snižuje růst mnohých druhů, především jehličnanů. Autoři Gomez a kol. (2002) popisují ve své studii, že zhutnění půd může dočasně za určitých podmínek zvýšit růst stromů díky zvýšenému množství mikropórů, jež zvětšují sorpční potenciál vody v půdě.

Obsah vody v půdě stanovuje stupeň její plasticity, jež se odráží v únosnosti půdy (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014). Drsnost půdních částic se snižuje tenkým filmem vody. Opakovaným přejížděním se uvolňují i agregáty složené z půdních částic. Přesycením půdy vodou při zhutnění může docházet k půdní erozi.

3.3.5 Vliv zhutnění na humusový horizont

Humusový horizont představuje nejsvrchnější vrstvu půdy, jedná se prakticky o půdotvorný horizont (Vavříček, Kučera 2015). Hraje klíčovou roli v retenci vody a vytváří prostředí pro růst jemných kořenů lesních dřevin nalézající zde největší zásoby živin. Při jeho narušení nebo odstranění je pro lesní porosty narušen přísun živin, koloběh vody a biogenních látek a snížena ochrana kořenového systému dřevin proti

působení škodlivých činitelů. Změny v geobiochemických cyklech elementů se negativně odrážejí v růstových procesech a v celkové stabilitě ekosystému.

Obsah organického materiálu významně působí na půdní struktury a navíc na vlastní možnost zhutnění (Neruda a kol. 2008). Reakce půdních vlastností na změny ve struktuře humusu jsou znatelné již při 2-5 %. Vrstvy nadložního humusu jsou protekcí před působením toxických látek, které jsou uvolňovány při acidifikaci půdního prostředí (Vavříček, Kučera 2015). Porušením této důležité vlastnosti může, zejména v imisních oblastech, nabrat katastrofický scénář.

3.3.6 Vliv zhutnění na půdní organismy

Hlavní úlohou půdních organismů je dekompozice organických zbytků (Vavříček, Kučera 2015). Nejefektivnějším destruentem je mikroflóra (bakterie, houby, sinice, řasy, aktinobakterie), podílejí se na koloběhu dusíku, fosforu, síře a dalších. Spolu s kořeny rostlin tvoří 80 % půdních organismů. Do zoedafonu patří hlístice, prvoci, členovci, kroužkovci a savci. Funkce živočichů napomáhá aeraci, jejich pohybem vznikají póry. Výskyt bakterií je spjat, mimo minerální a organické látky, s vlhkostním a vzdušným režimem půd. Vyskytují se ve svrchních částech půdy a svou přítomností se podílejí na rozkladných procesech.

Hartmann a kol (2013) ve své studii zjistil, že se snižuje v důsledku změn pórovitosti a tím změn v cirkulaci vody a vzduchu, celkové množství půdních mikroorganismů, ale navzdory tomu se se změnou podmínek zvýší jejich diverzita. Nejvyšší změny byly zaznamenány na půdách ovlivněných vodou, kde se zvyšoval stav bakterií schopných anaerobní respirace. Dále uvádí, že z mikroorganismů jsou více odolné houby než bakterie, přičemž rozvoj ektomykorhizních druhů ubývalo na rozdíl od hub saprotrofních a parazitických. V souvislosti se změnami půdního prostředí narůstá díky mikrobiálním procesům koncentrace oxidu dusného, který emituje v jarním období do ovzduší (Šimek 2012).

3.3.7 Vliv zhutnění na výměnu plynů

Výdej CO₂ z půdního povrchu nebo z půdní respirace je považován za hlavní část biosférického cyklu uhlíku, zaujímá totiž 3/4 z celkové ekosystémové respirace (Neruda a kol. 2008). Zhutňování půd následuje snižování pórovitosti a tím omezení pohybu vzduchu. Mendelova univerzita v roce 2000 rozvíjela metodu měření CO₂ pomocí infračervených senzorů (CARBOCAP GMT 221) vkládaných do půdní sondy, které umožňovaly nepřetržité měření koncentrace (Neruda a kol. 2008).

Lze tak bezprostředně určit podmínky provzdušňování s přesností 97 %. Experiment byl proveden s forwarderem pro vyvážení dříví o hmotnosti 18 tun.

Naměřené hodnoty koncentrace CO₂ překročily ve všech případech několikanásobně hranici 0,6 % už po prvním přejezdu stroje. Výsledky výzkumu jednoznačně ukazují, že CO₂ se akumuluje pod špatně propustnými či nepropustnými vrstvami zhutněné půdy. Akumulace plynu může zastavit růst jemných kořenů nebo jejich odumírání. Zvláště pak na jílových půdách může docházet k poklesu stability stromů. Se snižující se vodní kapacitou pak dochází k usychání jedinců, protože se snižuje aktivní absorpční plocha kořenového systému. Stlačení středních a velkých pórů zapříčiní vytlačení vzduchu a přeruší se příjem kyslíku a velmi rychle vznikají hnilobné a kvasné procesy, jež působí toxicky na rostliny a tím může dojít ke změně životních pochodů v půdě (Malík, Dvořák 2007). Ve studii, kterou se zabývali autoři Mordhorst, Peth a Horn (2014), se naráží na problém se změnami vlastností půdního plynu a jeho pohybu. Výzkum probíhal na orné půdě. Tok CO₂ byl pozorován před, v průběhu a po mechanickém zatížení. Bylo prokázáno, že uvolňování CO₂ se mění v průběhu zhutnění v různých hloubkách s degradací systému pórů a to při tlaku vyšším než je vnitřní pevnost agregátů. Ve strukturách půdy je fyzicky zachycen CO₂, který se může uvolnit změnou struktury agregátů. Posun ke zvyšování koncentrace CO₂ docházel při větší respiraci během mikrobiální činnosti díky změně prostorového rozložení mikroorganismů.

Zvyšování koncentrace CO₂ nenastává ve všech případech. Jak ve své studii uvádí Hartmann a kol. (2013), vlivem změn v půdní respiraci, dochází ke změnám půdní mikroflóry. Ta má za následek zvyšování koncentrace N₂O. Oxid dusný je jeden ze skleníkových plynů, který odbourává ozon v atmosféře (Šimek 2012). Dusík je během zimy hromaděn v půdě, následně je metabolizován mikrobakteriemi. Na jaře emituje do atmosféry za příznivé teploty a vlhkosti.

3.3.8 Půdní eroze

Vavříček a Kučera (2015) definují erozi jako ztrátu nebo odnos zemského povrchu vlivem vody, větru, ledu a též jako geologický faktor za účasti zemské gravitace. V ekosystému probíhá proces eroze nepřetržitě tempem, které nepřevyšuje tvorbu půdy a je tedy přírodním procesem nazývaný se eroze geologická (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014). Eroze způsobená antropogenní činností je eroze zrychlená a je 10-1000x rychlejší než geologická. Dochází tak k fyzikální, chemické a biologické

degradaci půdy. Mění se půdní struktura, textura, objemová hmotnost, retence pro vodu, pórovitost, infiltrační schopnost, fyziologická hloubka. Snižuje se obsah organické hmoty, minerálních živin. Je odnášena biologicky neaktivnější část půdy. Zpomalují se koloběhy látek ekosystému.

Narušením povrchu půdy erozí rýhou se charakter odtékající vody soustřeďuje v povrchový odtok, jenž za normálních okolností nevzniká. Tvoří se stružky, rýhy, strže, kterými jsou unášeny půdní částice i z mezirýhového prostoru a ty se usazují většinou na bázích svahů (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014). Při stlačování půdy dochází ke zvyšování objemové hmotnosti, tím pádem ke zhoršování propustnosti pro vodu (Malík a Dvořák 2007). Jestliže operátor stroje používá při jízdě jednu a tu samou kolej za mokrého stavu, dochází k vytlačování zeminy rozrušeného povrchu, a pokud je obsah vody vysoký, dochází k jejímu rozstříkání do okolí (Neruda, Vavříček, Ulrich, Janeček 2011). Následkem vzniku kašovité konzistence při míšení půd s vodou, odtéká velké množství zeminy.

Zmínění autoři (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014) rozlišují faktory, za kterých eroze nastává a při jejich sloučení se erodibilita zvyšuje. Tyto faktory jsou kvalitativního a kvantitativního charakteru. Kvalitativní eroze vyjadřuje dlouhodobou ztrátu z ekosystémové půdní složky a je určena zejména vodní erozí přívalových dešťů. Kvantitativní eroze závisí na více faktorech, které korelují s indexem rezistence popsaným v kapitole 4. Stanovení indexu rezistence, vyjma prvního a posledního faktoru. Prvním je faktor erozní účinnosti dešťů, kdy se počítá s četností výskytu srážek, četností úhrnu, jejich intenzitě a kinetické energii, která doprovází vodu padající k povrchu. Při deštích půda infiltruje vodu a mění se tak konzistence zeminy. Odnos půdních částic začíná tehdy, jestliže jsou póry plně nasyceny vodou. Posledním faktorem je účinnost protierozních opatření.

Z hlediska faktoru půdní erodovatelnosti rozlišují Neruda, Vavříček, Ulrich a Janeček (2011) půdně taxonomické jednotky na extrémně erodovatelné, lehce erodovatelné, středně lehce erodovatelné, středně těžce erodovatelné a těžce a velmi těžce erodovatelné půdy. U extrémně erodovatelných půdně taxonomických jednotek převažuje proces ilimerizace. Předpokládaná rizika jsou v referenčních třídách luvisolů, regosolů, arenických subtypech. Oproti tomu charakterizují těžce erodovatelné půdy, které mají podíl jílovité a písčité složky vyrovnaný a vyznačují se hydricky ovlivněnou ekologickou řadou. Na příkladu uvádějí glejosoly a organosoly. Je známo, že s přibývajícím jílovitou složkou stoupá soudržnost zeminy (Vavříček, Ulrich,

Kučera 2014). Jíly se vyznačují vysokou kohezí, kdy velká styčná plocha částíček zmírňuje riziko rozrušení, zatímco u písčitých a štěrkových substrátů nezávisí tolik na kohézních silách jako na hrubosti zrn.

Vezmeme-li v úvahu rychlost tvorby půdy, můžeme jí považovat za neobnovitelný přírodní zdroj (Vavříček, Kučera 2015). Eroze je považována za globální hrozbu v souvislosti s pěstováním zemědělských plodin a s nárůstem populace.

3.4 Regenerace půdy

Regenerace půdy do původního stavu je dlouhodobý proces. Nejrychlejší dobu regenerace uvádějí Gebauer a Martinková (Neruda a kol. 2008) 10 let od zhutnění, jiní autoři však uvádějí i dobu delší jak 30 let. Zjištěním schopnosti přirozeného obnovení makropórů u lesních půd, se zabýval Bottinelli a kol. (2013) v severovýchodní Francii. Tým pracoval na dvou mírně prachovitých půdách náchylných na zhutnění. Zhutnění bylo měřeno ve třech hloubkách (0-7 cm, 15-30 cm a 30-45 cm) po dobu tří let bylo vyhodnocováno pomocí analýzy 2D obrazu a mikroskopii. Výsledkem bylo snížení pórovitosti o 49-96 % v celé hloubce měření (0-45 cm). Bylo zjištěno, že k přirozené regeneraci makropórů došlo v horní vrstvě půdy, zatímco spodní vrstvy zůstaly kompaktní. Zcela se obnoví mikropóry a stávají se četnější oproti makropórům. Makropóry se regenerují pouze zřídka a transformují se do podoby plochých horizontálních plošek, které byly před zhutněním kulovitého nebo válcovitého tvaru s četnými výstupky. Tyto výsledky naznačují, že v prvotní fázi přirozeného procesu regenerace makropórů, se účastní pravděpodobně nejvíce rostliny pronikáním kořenů a fyzikální procesy bobtnáním a smršťováním vlivem mrazu. Obnovení činnosti půdní fauny se děje až později.

Meyer, Lüscher a Schulin (2013) vyšetřovali regeneraci půdy přímo ve stopách vytlačených lesnickou technikou za použití olše lepkavé (*Alnus glutinosa*, L.). Sazenice byly vysazeny v roce 2003 do vyjeté koleje silně zhutněné půdy na dvou lokalitách ve Švýcarsku. Některé koleje byly vyplněny kompostem a jiné zůstaly prázdné. V roce 2009 a 2010 byl posuzován úspěch opatření na základě fyzikálních parametrů půdní struktury (objemová hmotnost, celková pórovitost a propustnost vzduchu) a kořenové hustoty stromů. Výsledek výzkumu dokázal, že na osázených kolejích byl zaznamenán

velký nárůst celkové pórovitosti a propustnost pro vzduch oproti neošetřeným kolejím a tento nárůst se blížil hodnotám na plochách v bezprostřední blízkosti.

Kořenová masa koreluje s fyzikálními půdními charakteristikami. Kompost na jednom místě zvýšil růst stromů a regeneraci pórů, avšak na druhém místě působil retardačním účinkem.

3.5 Poškození lesních porostů během těžebně dopravní činnosti

3.5.1 Poškození nadzemní části stromů

Škodami na stojících stromech se rozumí stržení či odloupení kůry, na jakékoliv části kmene i na kořenech a kořenových náběžích (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014). Mohou být různého rozsahu, kdy jsou rozrušená ochranná pletiva, floém, kambiální zóny, xylém apod. Zlomy větví se nepovažují za závažné.

Poškození stromů v porostu se odlišuje v závislosti na použité technice a technologii provedení těžebních zásahů. Ulrich a kol. (2009) se zmiňuje o tom, že délka u vlečených kusů při kmenové metodě ovlivňuje poškozování stromů v mnohem větší míře než druh zvoleného přibližovacího prostředku. Neruda a kol. (2013a) uvádí, že poškození stromů je nejčastěji u harvesterové technologie způsobeno interakcí hydraulického jeřábu, nebo kácecí hlavicí. Zásadní rolí jsou zkušenosti, disciplína a schopnosti operátora. Dále se zmiňuje o problematice šířky linek, přičemž kořenové náběhy jsou nejvíce poškozovány, jsou-li linky nedostatečně široké. Podle rozměrů techniky by měly být linky s ohledem na daný terén široké 4,0-4,5 m. Geomorfologie terénu s jeho překážkami má podíl na vzniku rizik pro poškození, kdy při přejezdu překážek se vyvážecí traktory vyklání do stran a odírají při nepozornosti operátora kůru stromů klanicemi či jinými částmi stroje.

Poškození však vznikají i pádem těžných stromů (Malík, Dvořák 2006). Jiní autoři (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014, Ulrich, Schlaghamersky, Štorek 2003) došli k závěru, že nejvíce jsou poškozovány kořenové náběhy na úzkých liniích a okrajové stromy na lince by proto měly být vzdáleny minimálně 70-80 cm od vyjetých stop mechanizačních prostředků. Tohoto rozměru se dosáhne při dodržení šíře linky alespoň 4 m vzhledem k terénu. Ulrich (1999) poukázal na to, že největší a zároveň nejnebezpečnější poškození odřením stromů vzniká ve vzdálenosti do 60 cm od paty kmene stromu.

Při stržení kůry až na dřevo se stromy vystavují infekci houbovými patogeny, u smrku ztepilého (*P. abies.*, L., Karst.) především pevníkem krvavějícím (*Stereum sanguinolentum*, Alb. & Schwein., Fr.). Dle Gebauera a Martinkové (Neruda a kol. 2008) jsou kořenové náběhy v jarním období nejzranitelnější a snadno dochází ke stržení kůry, lýka, kambialních zón až k nejmladšímu letokruhu. Důvodem je široká vrstva buněk s dosud nedostatečně lignifikovanými stěnami a vysokým podílem živých protoplastů koloidní a slizové povahy. Závažnost zranění je posuzována podle velikosti, která hraje důležitou roli při regeneraci. Drobná mechanická poškození do 10 cm² se lépe zavalují a lze u nich očekávat celkové zhojení. U poškození do 100 cm² je regenerace uvažována po použití organických regulátorů s fungicidními účinky. Stromy s poškozením nad 100 cm² mají nejvyšší pravděpodobnost nezhojení a napadení houbovými patogeny i po ošetření fungicidními látkami, navíc jsou velkým zásahem do vodivého systému stromu. Z ekonomického hlediska představují v předmýtních zásazích škody zmíněným způsobem dlouhodobou a výraznou finanční újmu (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014).

Poškozená místa by se měla ošetřovat aplikací přípravků fytohormonálního charakteru, které zajišťují urychlenou regeneraci kůry stromu a zacelení poškození. Ošetření by se mělo provádět ve většině případů nejpozději do dvou hodin od doby, kdy k poškození došlo, avšak ani ošetření provedené neprodleně po poškození nezaručuje ochranu před patogeny.

3.5.2 Poškození kořenového systému

Kořenový prostor je pod středoevropským smrkem zhruba 8-30 cm hluboký (Neruda a kol. 2008). Biogenním propojením kořenů se systémem pórů je zajištěno zásobování vodou, vzduchem a ionty v pevných částech půdy. Při způsobení deformací pórů lze tedy očekávat snížení kontaktu s vodou, rezervami iontů a se vzduchem. Obnova struktury půdy v přirozených podmínkách trvá velmi dlouho, v průměru se udává 10-15 let i více (Neruda a kol. 2013a). Poruchy půdní aktivity lze těžko v praxi měřit a určit.

Dokonce i při organizovaném pohybu mechanizace pouze po kolejích na vyvážecí lince můžeme očekávat poškození kořenového systému stromů (Neruda kol. 2013a). Na místech s vysokou frekvencí pojezdu se nemusí poškozovat kořeny přímo přetržením nebo přelomením, ale postačí odření.

Poškození může být různého rozsahu, kdy jsou rozrušená ochranná pletiva, floém, kambiální zóny, xylém apod. Jestliže jsou kořeny rozdrceny, nastává pro část organismu vysychání a svou činnost opět zahajuje houbová infekce. Poškození nemusí vždy souviset s vlečením dříví těžbou, ale vzniká i při nevhodném uložení sortimentů dříví.

Úplné přerušení kořenů se projevuje na snížení absorpční funkce kořenového systému, následkem toho se snižuje velikost transpiračního proudu a to až o 40 % a rostlina se tak vystavuje do celkového stavu ohrožení (Neruda a kol. 2013a). Detekce těchto změn je možná na silnějších skeletových kořenech a na kmenech stromů. Rostliny se tento stres snaží vyrovnávat spouštěním obranných mechanismů zabraňujících pronikání infekcí a změnou růstu, což se odráží na jejich růstové dynamice. Například u smrku ztepilého (*Picea abies* L., Karst.) je známo, že vzhledem k jeho stavbě kořenového systému, probíhá intenzivní výměna iontů právě ve svrchních vrstvách půdy. Ulrich, Schlaghamerský a Štorek (2003) uvádí, že kořenový systém stromů na linkách je nejvíce poškozován na vlášení, které jsou rozprostřeny pod půdním povrchem. Též Neruda a kol. (2008) došli ke stejnému závěru. Nedostatky tímto způsobené mohou rostliny nahrazovat růstem adventivních kořenů, jedná se zejména o rody *Taxus*, *Thuja*, *Juniperus*, *Abies*, *Picea* a *Larix*, ovšem jedná se o další výdej energií.

3.5.3 Překonání mechanického odporu kořenů při pronikání půdou

Zhutnění půdy způsobené opakovaným průjezdem těžebně dopravních strojů, má negativní následky produkční i vodohospodářské (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014). Mechanický odpor půdy musí kořen překonávat, aby si mohl protlačit cestu půdním prostředím (Neruda a kol. 2013a). Síla vyvinutá kořenem musí převýšit mechanickou odolnost půdních agregátů jejich přemístěním nebo deformací. Podle Gebauera a Martinkové (Neruda a kol. 2008) při překovávání mechanického odporu působí na kořeny tření o půdní částice, textura půdy, kohezní a adhezní síly a průměr kořene. Tření se snižuje polysacharidovým slizem, napomáhá i radiální rozpínavost a možnost kroucení.

Rostliny mohou reagovat na zhutnění půdy různým způsobem. Autoři Gebauer a Martinková (Neruda a kol. 2008) popisují reakci, kdy rostliny mají zvýšené nároky na fotosyntázy, tím dojde k prodlužujícímu růstu a obnově jemných kořenů, aby překonaly mechanický odpor půdy, podobně se o tom zmiňují i Klvač a Liška (Skoupý a kol. 2011). Dále uvádějí, že k fyziologickému obnovení jemných kořenů

může být jedincem investováno až 70 % dostupného uhlíku, což vyvolává i pokles mykorhizního soužití. Faktory zvýšeného či nadměrného odporu kořenů se projevují negativně na celkovém sníženém přírůstu vyvolaného nedostatečným prouděním vzduchu a nasycením vodou, klesá tak celková kořenová plocha a schopnost absorpce. Gebauer a Martinková (Neruda a kol. 2008) provedli experiment na sazenicích smrku ztepilého (*P. abies*) vážením sušiny z kořenového systému a došli k závěru, že po zhutnění klesla celková objemová hmotnost kořenů. Silnější kořeny reagovali na stres po poškození výrony pryskyřice i po roce od pojezdu od vyvážecího traktoru.

Stanovení odporu půdy reprezentující míru vynaložení sil kořene se provádí penetrometrem. Autor Atwell (1977) určil hraniční odpor při pronikání kořene 2,0 MPa, kdy se kořeny zkracují u většiny rostlinných druhů. Russell a Goss (1977) uvádí, že se již při tlaku o velikosti 0,01-0,02 MPa deformují buněčné stěny kořenů. Neruda a kol. (2008) došli k závěru, že při zvýšeném zhutnění mohou dřeviny ztrácet více jak polovinu svých kořenů před dosažením dospělosti (ca 30 let).

3.6 Adaptační kořenového systému stromu

Kořenový systém neumí okamžitě reagovat na změny ve vnějším nebo vnitřním prostředí (Neruda a kol. 2008). Reakce na okamžité změny se dějí pouze individuálně na buněčné úrovni, kde záleží na rychlostech dělení buněk. Růst nadzemní části je celý přímo ovlivňován změnami klimatických podmínek, u kořenového systému mohou nastat podmínky v různých částech rozdílné. Jako příklad může posloužit nerovnoměrná dormance, kdy část kořenů se nachází v úplné dormanci a část je plně aktivních. Stejně tak reagují kořeny na lokální nedostatky živin, vody a vzduchu, kdy svým růstem směřují do míst s větší zásobou, zvyšuje se absorpční povrch a celkový příjem minerálů a dalších látek. Tento fakt narůstá na významu hlavně při střídání růstových period. Gebauer a Martinková (Neruda a kol. 2008) hovoří o zkracování nadzemního výškového přírůstu a již zmíněné zvýšené spotřebě energie a fotosyntátů. Obvykle se mění při zhutnění tvar kořenového systému, kdy jsou kořeny nuceny usměrnit růst do lepších podmínek, nebo opět zmíněný fakt, kdy u vybraných druhů může nastat růst adventivních kořenů. Důležitou roli v růstu kořenů hraje kolísání klimatu i expozice svahu.

4 Metodika

4.1 Stručný popis lokalit a přírodních podmínek

Lokality sběru dat měření okamžitých tlaků a výpočtu indexu rezistence (Lokalita 1 a 2) se nachází v Jihomoravském kraji v okrese Blansko. Průměrná roční teplota za rok 2014 pro kraj je 10,5 °C s průměrným ročním úhrnem srážek 622 mm (Český hydrometeorologický ústav 2014).

Lokalita 1

První lokalita se nachází severně od asi 1 km vzdušnou čarou vzdálené obce Rudice a cca 250 m jihovýchodním směrem od Dykových školek v porostu 156A10 (Mapový server ŠLP Křtiny 2015). Dle zmíněného mapového serveru je podloží vápenec devonský. Půdní typ byl určen jako rendzina kambická. Nadmořská výška se pohybuje okolo 525 m. Svah zaujímá severozápadní expozici s délkou ca 700 m a sklonem do 10 %. LVS byl určen jako bukový (4) a LT obohacená bučina kapradinová (4D4). Jedná se o smíšený porost výškově a tloušťkově nediferencovaný ve věku 81-100 let dle věkové třídy. Druhovú skladba je tvořena hlavními dřevinami BK, přimíšená DB a vtroušeně HB.

Lokalita 2

Lokalita se nachází asi 1,2 km vzdušnou čarou jihovýchodním směrem od obce Olomučany v porostu 107B8. Přibližně 350 m severovýchodním směrem se nachází památník J. V. Wachtla (Mapový server ŠLP Křtiny 2015). Podloží jsou opět vápence devonské s půdním typem rendzina kambická. Nadmořská výška se pohybuje okolo 465 m. Svah zaujímá severní expozici s délkou 150 m a sklonem do 10 %. LVS byl určen jako dubobukový (3) a LT svěží dubová bučina biková (3S6). Jedná se o smíšený porost výškově a tloušťkově diferencovaný ve věku 61-80 let dle věkové třídy. Druhovú skladba je tvořena hlavní dřevinou BK a přimíšenou SM.

Oblastmi sběru dat poškození půdy a stromů v porostu byly Vojenské lesy a statky Plumlov na Rychtářovsku a Lesy České republiky v oblasti Telč.

Telč spadá do kraje Vysočina, kde se průměrná teplota za rok 2014 rovnala 9 °C a průměrné srážky činily 660 mm (Český hydrometeorologický ústav 2014). Rychtářov se nachází v kraji Jihomoravském severozápadně od Vyškova. Průměrné roční teploty

zde dosahují 10,5 °C a srážky činily 622 mm (Český hydrometeorologický ústav 2014). V zájmu šetření byly vybrány porosty se zásahy v předmýtním věku různé druhové a prostorové skladby. Celkově bylo hodnoceno 26 porostů na lokalitě Telč s hlavní dřevinou SM, kde byl posouzen vliv rozdílných technologií na poškození půdy a porostu. Na lokalitě Plumlov byl na výzkumné ploše posouzen vliv šíře linky na poškození stromů v porostu 194C8 se 100% zastoupením SM.

4.2 Základní popis vyvážecího traktoru Novotný LVS 720

Prototyp osmikolového vyvážecího traktoru LVS 720 zkonstruovala strojírna Novotný ve spolupráci s Ústavem lesnické a dřevařské techniky na Mendelově univerzitě v Brně. Jedná se o účelový stroj pro vyvážení sortimentů dříví v těžebně dopravním procesu. Podvozek se skládá ze dvou polorámů spojených axiálním kloubem a ovládaných hydraulickým systémem. Vysokou adhezní sílu zajišťuje pohon všech osmi kol, které se nacházejí na tandemových (bogíe) nápravách, jež umožňují nasazení kolopásů. Pohonem kol je hydraulicko-mechanický systém. Stroj vyniká svojí otočnou kabinou, která zlepšuje ergonomii a umožňuje optimální výhled. Ložný prostor se nachází na zadním polorámu, je opatřen čelní mříží a pěti páry ocelových klanic. Nakládání a skládání dříví je zajištěno hydraulickým jeřábem s drapákem. Příčná stabilita je podporována hydraulicky ovládanou rámovou brzdou. Podrobnější přehled parametrů nabízí tabulka 1 v příloze 1.

4.3 Základní popis univerzálního kolového traktoru Zetor Proxima 8541 Plus

Traktory vyrábí firma Zetor a. s. v Brně. Traktory nabízí použití v lesnictví s lesnickou nástavbou složenou z přibližovacího štítu, ochranného rámu kabiny, dvoububnového navijáku, ochranné vany a rampovače se dvěma prsty. Podvozek je opatřen přední kyvnou nápravou. Adhezní sílu zajišťuje pohon všech čtyř kol. Pohonnou jednotku tvoří vznětový motor. Kabina nabízí velký prostor s optimálním výhledem. Pro soustředování dříví slouží dvoububnový naviják s elektro-pneumatickým ovládním vybavený ocelovým lanem, jež umožňuje tah břemene v polozávěsu. Podrobnější přehled parametrů nabízí tabulka 1 v příloze 1.

4.4 Měření styčné plochy

Měření styčné plochy bylo uskutečněno na tvrdé podložce (beton). Barevným sprejem byl zbarven prostor, kde se nestýká dezén pneumatik s podložkou, pro lepší manipulaci byl pod kolo umístěn čtverec plachty. Vzniklý obrazec (Obr. 1) byl vyfocen a plocha otisku byla změřena v programech pro úpravu fotografií podle počtu pixelů.



Obr. 1: Měření styčné plochy pneumatik (Zemánek 2015)

4.5 Měření a registrace okamžitých tlaků v půdě

Princip metody spočívá v umístění tlakových nádob propojených se senzory, které snímají tlak v různých hloubkách půdy, do středu dráhy kol jedné strany posuzovaného stroje.

Měření probíhalo vždy na nezhuťném rostlém půdním profilu. Výsledky z měření byly posuzovány z několika hledisek. V první řadě bylo hodnocení okamžitých tlaků soustředěno na samotný vyvážecí traktor, poté na UKT a nakonec byly porovnány oba stroje v možných parametrech. Celkově byly vždy zhotoveny minimálně 3 sondy u každého stroje, přičemž na každé sondě bylo uskutečněno 10 přejezdů. V případě vyvážecího traktoru se jednalo o 5 přejezdů vpřed a 5 vzad, vyjma obrázku 2 v příloze 3. V případě UKT se jednalo pouze o 10 přejezdů vpřed. Při porovnávání rozdílů naměřených hodnot byl použit pouze přejezd vpřed, aby nedošlo ke zkreslení výsledků. Každá náprava strojů byla zprůměrována aritmetickým průměrem z jednotlivých pokusů.

4.5.1 Půdní sonda

Ještě před započítím práce na půdních sondách je vhodné si předem naplánovat postup a umístění lokality, na které má být experiment proveden. S přihlédnutím na rozměry strojů a omezení pohybu v lesním prostředí není jednoduché nalézt místa disponující vyhovujícími podmínkami pro měření, obzvláště chceme-li opakovat více přejezdů na jedné půdní sondě. Například vyvážecí traktor, který jsme měli k dispozici (Novotný LVS 720) je dlouhý 8,318 m a široký 2,400 m. Měření bylo prováděno na místě nezhuťném, kde se neuskutečňovaly žádné operace s půdou. Na místě se nesmí vyskytovat klest (pokud neposuzujeme vliv klestového koberce) či jiné překážky. Povrch terénu byl rovinný, na svazích by docházelo k posunu těžiště do stran, přední nebo zadní části stroje, což by ovlivnilo výsledky.

Po nalezení vhodného místa pro vykopání sondy, byl stroj přistaven poblíž a byla přibližně vyznačena barevným sprejem nebo rýhou do půdy dráha, kterou projížděla kola posuzované strany stroje. Středky kol se musí nacházet v jedné přímce, aby stroj projížděl jednou stopou. Pro vůle v řízení bylo vhodné stroj vyrovnat už při příjezdu k místu tak, aby nevyhýbal při provádění pokusu. Horní hrana čela půdní sondy byla umístěna rovnoběžně s potenciální kolejí (Obr. 2). Hloubka sondy nebyla kopána až na kompaktní matečnou horninu, jak je tomu u obvyklých půdních sond. Postačila taková hloubka, která umožnila umístění plastových nádob s vodou přenášejících tlak (dále jen nádoby). Při kopání sondy bylo počínáno tak, aby nedošlo k poškození půdních horizontů v dráze potenciální koleje, tomu předcházelo umístění nádob z boku potenciální koleje (Obr. 2). Ihned po výkopu bylo provedeno bodové měření vlhkosti půdy vlhkoměrem. Nádoby byly instalovány po 10 cm hloubky od původního povrchu půdy a přitom se nenacházely nad sebou, jinak by působily jako pevná překážka ovlivňující tlak. Čelo půdní sondy bylo zarovnáno a následně bylo označeno umístění nádob. Nad nádobami se nesmí nacházet silnější kořeny a kameny větší velikosti i jiné předměty, které by mohly ovlivnit výsledky měření. Vrtačkou s půdním vrtákem o průměru nádob byly vyvrtány otvory kolmo do čela sondy. Hloubka otvorů byla odvozena podle toho, kde předpokládal přejezd středů kol (tam se musí nacházet i středy nádob). Nádoby byly vsunuty do otvorů tak, že se čelo nádob opíralo o dno vrtaného otvoru. Tlak vznikající stykem pneumatiky s půdou se nešíří pouze ve směru vertikálním, a protože se šíří i do stran od místa vzniku, byla k nádobám přihrnuta půda ze strany vývrtu okolo tlakové hadice, jinak by vznikla

vzduchová kapsa. Nakonec byla sonda zahrnuta odkopanou půdou a zlehka zhutněná tlakem nohy. Hmotnost navrácené půdy již působil znatelným tlakem na tlakové snímače. Proto bylo nezbytné kalibrovat záznam měření odpovídající talku v senzorech na nulu. Následně bylo spuštěno odpočítávání v programu a uskutečnil se přejezd. Po skončení měření byla změřena hloubka vzniklé koleje. Hodnota na pásnu byla odečtena od původního terénu za pomoci přiložené latě či rovné větve přes vytlačenou kolej. Nakonec byly odkopány senzory a byla změřena jejich hloubka zanoření od původní hloubky.

4.5.2 Měření vlhkosti

Měření vlhkosti bylo provedeno vlhkoměrem s čidlem ThetaProbe ML3, které je propojeno ohybným kabelem se čtecím zařízením HH2. Čidlo je opatřeno čtyřmi bodci, které se zasunují kolmo do půdy. Před začátkem měření bylo důležité kalibrovat rozteč bodců nasunutím kovového hranolu s otvory odpovídajícími správné vzdálenosti. Měření bylo uskutečněno minimálně v 5 náhodných bodech, ty byly při vyhodnocení zprůměrovány.

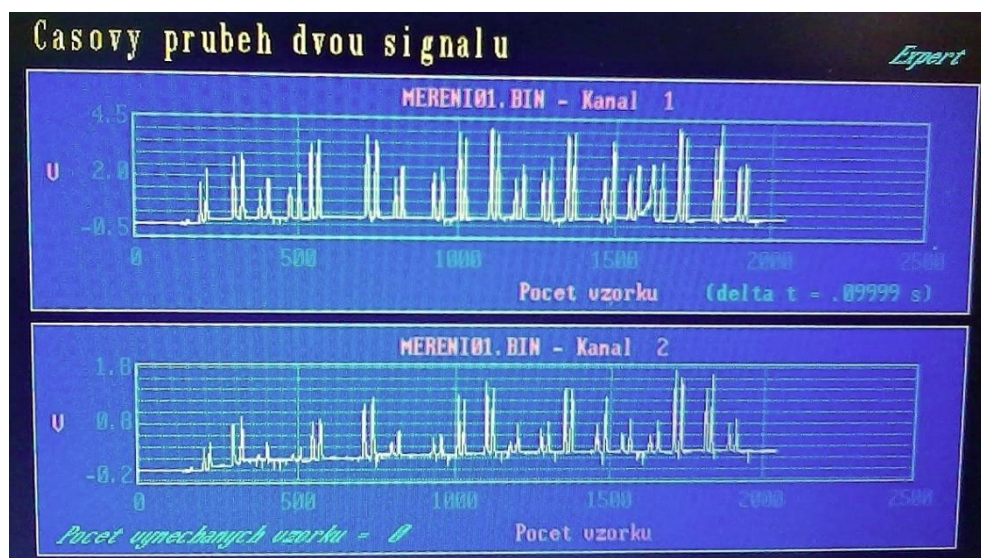


Obr. 2: Umístění měřícího aparátu do čela půdní sondy
(Zemánek 8. 10. 2014)

4.5.3 Práce s aparaturou

Hlavními pomůckami k měření okamžitých tlaků a zaznamenávání hodnot byly snímače tlakového pulsu a plastové nádoby naplněné vodou o průměru 30 mm a délce 140 mm. Voda tlakovými hadicemi přenáší tlak vyvozený na plastové nádoby a působí na tenzometrické senzory typu P8AP od firmy HBM, jež jsou ohebnými kabely napojeny konektory na převodník, který převádí analogový signál z tlakoměrných snímačů na signály digitální do PC. Program Expert AD provádí záznamy při působení tlaku. Zobrazuje jejich průběžný nárůst a pokles. Záznamy program zpracuje v podobě grafu a tabulky, kde jsou zachyceny hodnoty okamžitých tlaků v čase v milisekundách (Obr. 2).

Program Expert AD umožňuje nastavení délky času měření při prováděném experimentu a přerušování měření. Vzorovací frekvence byla nastavena na snímání 10 vzorků za sekundu (pro jeden kanál může činit až 50 000 vzorků/s) po dobu 204 sekund. Databáze uspořádá data podle pojmenovaných souborů. Systém dokáže zachytit práci vykonanou na 1 až 3 senzorech. Senzory jsou odpojitelné a jejich uspořádání v záznamu závisí na pořadí zapojení do vstupů počítače. Počítač byl v terénu připojen ke zdroji elektrické energie (autobaterie 12 V) s proudovým měničem. Tento systém dosahuje dostačující přesnosti při měření půdních tlaků s maximální chybou měření 4-5 %.



Obr. 3: Výstup grafického zpracování dat programu Expert AD (Černý 3. 4. 2015)

Výstupy z programu Expert AD byly zpracovány v programu Microsoft Excel. Z množství naměřených dat byly vybrány nejvyšší hodnoty naměřených okamžitých tlaků po přejezdu jednotlivých kol. Hodnoceny byly vždy jednotlivé nápravy, tedy jednotlivé tlaky kol, přičemž na tandemových nápravách vyvážecího traktoru byly zprůměrovány.

Metodika je velmi náročná na čas a prostor. Jsem si plně vědom, že grafy a výsledky nejsou statisticky prokazatelné vzhledem počtu konaných pokusů. Minimální počet výběrů pro Studentovo rozdělení je 10 hodnot s pravděpodobností 95 %. Hlavním důvodem byla časová tíseň, kdy nebylo možno rozšířit výběrový soubor. Na vyvážecím traktoru probíhalo testování pracovníky ÚLDT, pro dlouhodobé měření okamžitých tlaků nebyl větší prostor a pracovníky s UKT také nebylo vhodné tou dobou zatěžovat. Výsledky tedy můžeme považovat za příkladové a v odůvodněných případech za možné. Mým záměrem je rozšířit výběrový soubor dat v navazující diplomové práci.

4.6 Stanovení indexu rezistence

Index rezistence je součástí certifikované metodiky dle Ulricha a Vavříčka (2013) a slouží jako nástavba systému hodnocení poškození půdy a lesních porostů v důsledku těžebně dopravní činnosti. Index rezistence představuje vyjádření odolnosti půdy vůči vystavení vlivu těžebně dopravního procesu, pomáhá předcházet škodám půdního povrchu a jako prevenci předurčuje technologie a jejich vybavenost vzhledem k aktuálnímu stavu přírodních podmínek.

Hodnocení rezistence vychází z faktorů, které přímo ovlivňují stabilitu půdního tělesa. Proto se stanovuje index rezistence z bodově ohodnocených charakteristik nacházejících se aktuálně na dané lokalitě. Jsou to stupně únosnosti půdy, jež se váží na půdně taxonomické jednotky. Stupně erodovatelnosti, při nichž závisí na textuře a struktuře svrchní organické vrstvy a na její mocnosti a počítá se tak s infiltrační schopností půdního prostředí, odolností agregátů a s propustností. Stupně odolnosti z aspektu obsahu skeletu v půdním profilu. Stupně odolnosti z aspektu sklonu a nepřerušované délky svahu, kdy tyto veličiny mají vliv na zrychlení erozního toku a infiltraci vody. Dynamický účinek vody na půdní částice snižuje kohézní síly a uvolňuje agregáty. Méně se projevuje u konkávních svahů, více u svahů přímých a konvexních. Stupně odolnosti z hlediska pokrývnosti půdního povrchu.

Vegetační pokrývnost zpomaluje povrchový odtok a dále navyšuje pórovitost svým prokořeněním a známé je i zpevňování půdního tělesa v rámci jednotlivých půdních horizontů.

Z každého z těchto šesti parametrů je určen stupeň rezistence hodnocený čísly 1-5. Tedy číslo 1 znamená nejnižší odolnost k poškození, číslo 5 naopak nejvyšší. Součtem stupňů jednotlivých parametrů dostaneme skutečný stupeň rezistence ($I_{skut.}$), jež vždy dělíme stupněm rezistence maximálním ($I_{max.}$) tj. 30 (součet maximálních hodnot rezistence). Výsledkem je index rezistence neboli množina hodnot od 0,20 do 1,00. Tyto hodnoty se dále kategorizují do pěti podmnožin, které jsou uvedeny v příloze 4. (Tab. 2; 3; 4; 5; 6; 7).

Kategorie rezistencí obsahují soubor doporučení optimalizovaných technologií a technologických postupů při dopravě a těžbě dříví vycházející z přírodních podmínek. K tomuto účelu slouží výběr souborů lesních typů pro náležitou kategorii, které jsou definovány edafickými kategoriemi a lesními vegetačními stupni. Soubory lesních typů vycházejí z typologické klasifikace UHÚL. Metodika neslouží pro stanovení hloubky koleje vznikající díky pojezdovému ústrojí, nýbrž jako informativní hodnota pro vyjádření rizika poškození a degradace stanoviště.

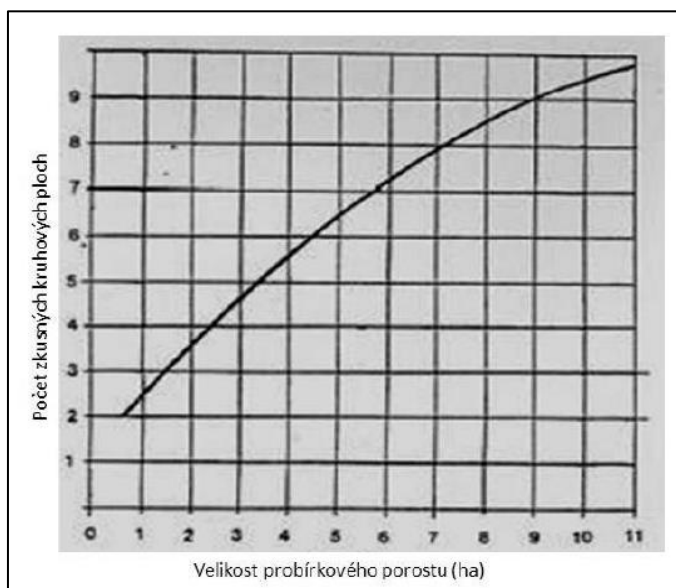
Vzorec výpočtu:

$$I_{opt.} = I_{skut.}/I_{max.}$$

4.7 Stanovení počtu zkusných ploch

Hodnocení faktorů pro výpočet indexu rezistence a následujícího poškození půdy a stromů v porostech bylo provedeno ve zkusných plochách velkých 20×20 m (0,04 ha). Počet zkusných ploch byl stanoven pro každý porost zvlášť podle grafikonu (Obr. 4), závisí na velikosti těženého porostu. Počet zkusných ploch lze také odvodit od velikosti porostu tak, že na každý ha náleží jedna zkusná plocha, ale tento počet ploch podle ha navýšíme vždy o jednu zkusnou plochu. Vzdálenost zkusných ploch na lince se odvíjelo od délky linek a jejich rozmístění po ploše porostu. Středů čtverců ležely vždy ve středu linky a byly orientovány svou stranou rovnoběžně s osou linky (Obr. 5).

Výběr ploch musí být vždy takový, aby byla zachována reprezentativnost výsledků stanoveného poškození půdy a lesního porostu. Minimálně byly určeny alespoň 3 plochy. Pochopitelně není na škodu stanovit více ploch, než je uvedeno. V prostu 194C8 na Rychrářovsku byl určen dvojnásobný počet ploch, než se obvykle stanoví, aby bylo dosaženo vyšší přesnosti ve vyhodnocení. Zkusné plochy svým účelem ulehčují práci hodnotitele. Názorná ukázka rozmístění zkusných ploch je uvedena v příloze 2 (Obr. 1).



Obr. 4: Grafikon určení počtu zkusných ploch (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014)

4.8 Hodnocení poškození stromů

Tato provozně použitelná metoda hodnocení poškození stromů byla popsána dle Vavříčka, Ulricha a Kučery (2014). Poškození stromů se v tomto případě rozumí u harvesterových technologií odřeni, odloupení kůry apod., mechanicky od hydraulického jeřábu vyvážecího traktoru nebo harvestoru, od uchopených kmenů v těžební hlavici harvestoru, odřením od klanic, od kol při pojezdu či jinou částí strojů. U UKT vzniká nejčastěji poškození vlečením kmenů, nebo koly či jinou částí při pojezdu stroje.

Hodnocení bylo uskutečněno nejpozději dva týdny po skončení navržených asanací majitelem lesa na těžebních plochách v oblasti Telč a Plumlov. Již na definovaných zkusných plochách byl proveden celkový součet všech stojících stromů, a to poškozených i nepoškozených. Každý započítaný strom označen.

Jednotlivá poškození se hodnotila vizuálně a byla zařazena do následujících kategorií:

- 1) Mechanické poškození kořenových náběhů, kmene stromu a kořenového systému s plochou do 10 cm² je bráno jako drobné
- 2) Poškození větší s plochou do 100 cm²
- 3) Poškození s plochou nad 100 cm²
- 4) Stromy bez poškození

Zmíněné body byly evidovány do předurčených sloupců v terénním formuláři uvedeném v příloze 6 (Tab. 11). Formulář je sestaven bez ohledu na používanou techniku a technologii. Jeho výstupem je protokol o předání a převzetí pracovišť nebo protokol o provedené probírce. K měření velikosti plochy poškození lze použít pravítka, pásma či jiných pomůcek. Jestliže bylo více poškození na jednom stromě, evidovalo se každé zvlášť. Pokud bylo více drobných poškození soustředěno poblíž sebe, počítala se jako jedno poškození většího rozsahu, jestliže se mezi nimi nacházel nepoškozený pruh kůry do šíře 10 cm. Počet poškozených stromů byl poté vynásoben 100 a podělen celkovým počtem stromů na ploše. Tímto způsobem byla vyjádřena procentuální poškození porostu po zásahu různými technologiemi.

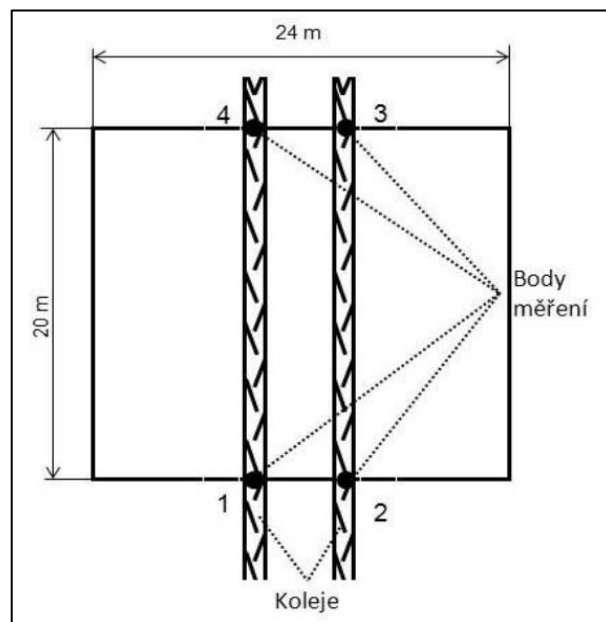
U jednotlivých stupňů poškození byla evidována výška, ve které k poškození došlo. Z toho mimo jiné vyplynulo použití techniky v daném porostu. Hydraulickým jeřábem a klanicemi u harvestorových technologií se zpravidla nacházelo poškození výše jak 1 m od paty kmene, odřením kmenů vlečeným dřívím u technologie úvazkové se naopak nacházela většina poškození do 1 m výše. Ovšem není vyloučeno poškození od vyvázacího traktoru na kořenových náběžích a části kmene do 1 m. Výška poškození hraje důležitou roli, jelikož poškozená místa do 1 m jsou daleko nebezpečnější, než vyšší poškozená místa.

4.9 Hodnocení poškození půdy

Poškození půdy bylo hodnoceno na lokalitě Telč. Na lokalitě Plumlov k poškození půdy nedocházelo z důvodu dodržení správného rozložení klesu na vyvážecí lince, kde se tato protékce ukázala účinná. Výška klestového koberce dosahovala výšek ca 25-35 cm po stlačení koly vyvážecího traktoru. Porovnávána byla opět úvazková a bezúvazková technologie při výchovném zásahu nad 40 let. Sklon svahu v měřených porostech se pohyboval do 10 % a průměrný úhrn srážek činí 660 mm.

Metoda je založena na kontrole hloubky a délky stopy a způsobené pohybem techniky v porostech při konání její těžební činnosti. Posuzován byl průsak vody skrze zhutnělou vrstvu koleje. Jestliže voda v kolejích stagnuje, hrozí nebezpečí eroze. Půdní druh byl určen z trojúhelníkového klasifikátoru dle Tomáška (2011). Vlhkost byla buď suchá, čerstvá, nasycená nebo mokrá. Pokud to bylo možné, prováděl se odhad počtu jízd s nákladem na lince.

Hodnocení poškození půdy bylo uskutečněno na stejných či obdobně stanovených plochách jako u poškození stromů v porostu (Obr. 5). Vytýčením čtvercové plochy vznikly protnutím strany čtverce a kolejí 4 měřící body (1-4 a 2-3).



Obr. 5: Schéma zkusných ploch (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014)

V jednotlivých bodech byla měřena hloubka kolejí svinovacím pásmem. Je podstatné měřit hloubky od původního povrchu terénu, tedy kolmo na povrch až k nejhlubšímu místu v měřícím bodu. Aby byla správně odečtená hodnoty na pásmu, opět se použila lať přiložená shora na kolej. Měří se vždy k rostlému povrchu půdy. Místo měření vzdálenosti pásmem lze využít dálkoměr nebo přístroje s měřícím vláknem. Zjištěné hodnoty byly zapsány do stejného formuláře jako při hodnocení poškození stromů. Souhrnně tak lze vyhodnotit provedenou kvalitu prací. Koleje hlubší se měřily od začátku koleje mělké. Maximální délka kolejí mohla tedy být konstantních 20 m shodujících se se stranou čtverce. Součtem délek kolejí byla vyjádřena délka všech kolejí v porostu, tedy 100 %. Z této délky bylo vypočteno procentuální zastoupení délek kolejí s různou hloubkou a z těchto hloubek bylo určeno porušení povrchu půdy se zohledněním LVS, nadmořské výšky, sklonu svahu linií, SLT a úhrnu srážek dle kritérií hloubky stopy jak je uvedeno v příloze 5 (Tab. 8; 9; 10).

5 Výsledky

5.1 Výsledky z výpočtu indexu rezistence

Lokalita 1

Kategorie rezistence lesních půd byla vypočtena jako rezistentní s indexem 0,63. Na těchto místech je doporučeno provádět soustředování dříví lanovými systémy se zvýšeným tažným lanem na dvoububnových navijácích. Na krátkých úsecích lze použít koňské potahy, alternativně také UKT a SLKT s flotačními pneumatikami. Při využití harvestorových technologií je třeba vždy zajistit dostatečné rozprostření klestu (min. 30-35 cm) do budoucích stop vyvázečích traktorů a na kořenové náběhy stromů. Z mokřých míst je nutno vyklizovat dřevo lanem navijáku.

Lokalita 2

Kategorie rezistence lesních půd byla vypočtena jako slině rezistentní s indexem 0,77. Na těchto místech lze provádět soustředování dříví s UKT, SLKT a vyvázečimi traktory po vytyčených linkách. Na vlhkých místech je doporučeno vyklizovat lanem navijáku a netrasovat linky těmito místy.

5.2 Výsledky měření okamžitých tlaků

Porovnávané prostředky, na kterých bylo provedeno šetření, se lišily vstupními parametry, které zachycuje následující tabulka (Tab. 1).

Tab. 1: Přehled vstupních parametrů porovnávaných strojů

	UKT Zetor 8541	Novotný LVS 720
Náklad [kg]	1 700	6 150
Šířka pneumatik přední nápravy [mm]	470	500
Šířka pneumatik zadní nápravy [mm]	600	500
Tlak v pneumatikách přední nápravy [kPa]	150	280
Tlak v pneumatikách zadní nápravy [kPa]	100	280
Celková styčná plocha stroje s půdním povrchem [cm ²]	2 900	10 200
Hmotnost připadající na 1 cm ² přední nápravy [kg/cm ²]	1,3	1,1
Hmotnost připadající na 1 cm ² zadní nápravy [kg/cm ²]	2,3	1,7
Půdní typ	rendzina kambická	
Vlhkost půdního profilu [%]	27	35
Průměrné okamžité tlaky přední nápravy [bar]	1,3	1,1
Průměrné okamžité tlaky zadní nápravy [bar]	2,4	1,6

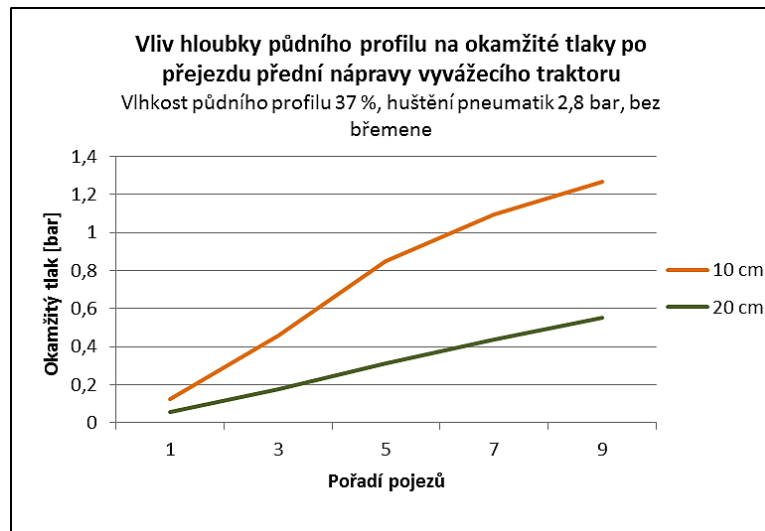
5.2.1 Obecné poznatky z praktické části metody

Půdní tlaky vyvozované při nájezdu kola přes senzor v půdě mají plynulý nárůst až do okamžiku maxima a potom strmě klesají. Při prvním přejezdu kola byly okamžité tlaky obvykle nižší než tlaky následující. Jestliže kolo vybočilo z dráhy o několik centimetrů, tlaky vyvozené na senzor v půdě byly nižší. Tlaková nádoba v zemi je dlouhá pouze 140 mm, jejím prodloužením by se usnadnila práce v terénu. Pokud se nad senzorem v půdním profilu nacházela jakákoliv překážka (větev, kořen, větší kámen apod.), snížila výsledný okamžitý tlak vyvozený na tlakovou nádobu. Při měkkém poddajném povrchu stroj tlakové nádoby v půdě vytlačil směrem do stran, důvodem je zřejmě plasticita půdy při vyšší vlhkosti půdy. Při nezdařilém pokusu, kdy se uskutečnil přejezd mimo nádoby, byly zaznamenány velmi nízké hodnoty okamžitých tlaků, evidentně se tlak šíří do stran. U dobře zarmovaného povrchu půdy kořeny u půd s nízkou vlhkostí se nevytvořila takřka žádná kolej i po deseti přejezdech. Manipulace s UKT byla, díky jeho délce a počtu kol, jednodušší při nájezdu na sondu i se zavěšeným břemenem. Každá sonda se díky půdě, jako velmi heterogennímu materiálu, liší svými parametry a naměřenými hodnotami.

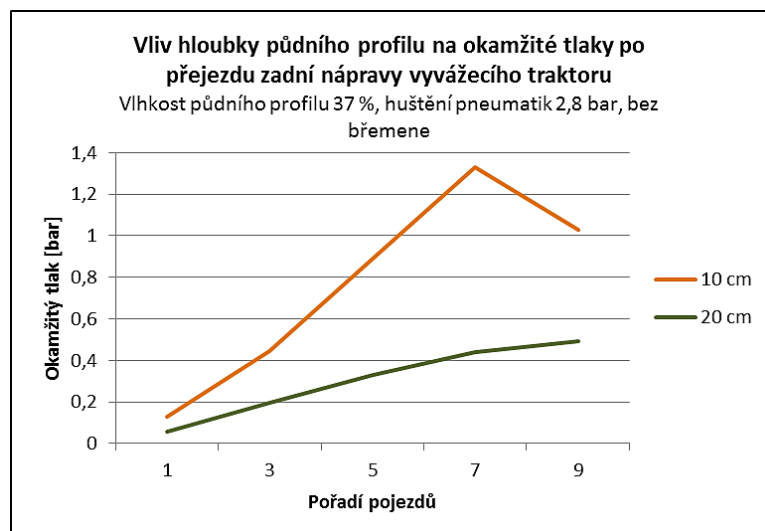
5.2.2 Výsledky z měření okamžitých tlaků vyvážecího traktoru

Grafy znázorňují okamžitý tlak po přejezdu senzorů přední (Obr. 6) a zadní nápravy (Obr. 7) vyvážecího traktoru bez břemene s huštěním pneumatik 2,8 bar a při vlhkosti půdního profilu 37 %. Zachycen je průběh vzrůstu tlaku při stoupajícím počtu přejezdů, přičemž se lišily hodnoty v jednotlivých hloubkách půdního profilu. Rozdíl se jeví až dvojnásobný. Porovnáním křivek v grafech (Obr. 6 a 7) bychom zjistili, že vyvozený tlak na přední a zadní nápravě má velmi podobný průběh a lze tedy usoudit, že rozložení hmotnosti na jednotlivé nápravy vyvážecího traktoru bez břemene je rovnoměrné. Vzniklá kolej měla hloubku 5-12 cm a po přejezdu vytlačila směrem do hloubky tlakové nádoby v půdě o 0-4 cm z původní hloubky 10 cm a o 0-2 cm z původní hloubky 20 cm. Lokalita disponovala nejvyšší půdní vlhkostí.

Jasný stoupající trend vyvozeného tlaku vyvážecího traktoru z hlediska času v sekundách je zobrazen v grafu na příkladové půdní sondě (Obr. 2), který je uveden v příloze 3. Rozlišeny jsou přejezdy v před a vzad barvou. Jeden sloupec odpovídá přejezdu jednotlivého kola, nikoliv celé nápravy. Trend evidentně zpočátku strměji stoupá a potom se pozvolna vyrovnává, přitom jednotlivá kola náprav se projevují rozdílným tlakem.

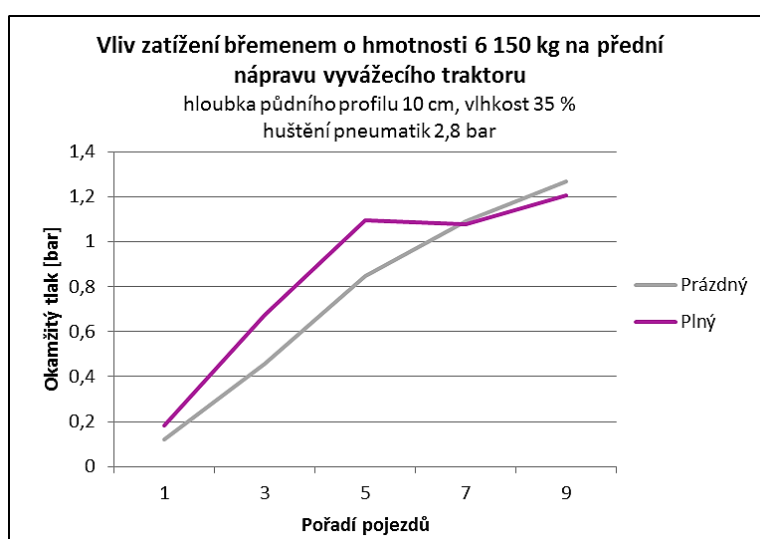


Obr. 6: Vliv hloubky půdního profilu na okamžité tlaky po přejezdu přední nápravy vyvážecího traktoru

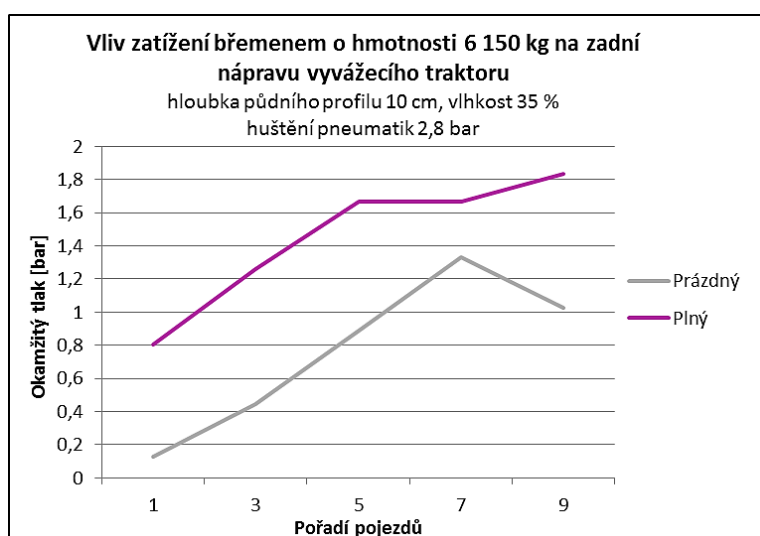


Obr. 7: Vliv hloubky půdního profilu na okamžité tlaky po přejezdu zadní nápravy vyvážecího traktoru

Vliv zatížení břemenem o hmotnosti 6 150 kg je zřetelně viditelný na fialové a šedé křivce (Obr. 8 a 9) při stejných podmínkách jako u předchozího případu. Pneumatiky byly nahuštěny na 2,8 bar a vlhkost půdního profilu 35 %. Pro tento účel byly použity pouze hodnoty z hloubky půdního profilu 10 cm, kde se rozdíly projevují nejvíce. Zatížení na přední nápravě tvoří malý rozdíl hodnot mezi strojem s břemenem a bez břemene, zatímco rozdíly hodnot při zatížení zadní nápravy vyvážecího traktoru se pohybovaly okolo dvojnásobku naměřených hodnot vyvážecího traktoru s břemenem a bez břemene. Tuto situaci lépe vystihuje obrázek 3 v příloze 7, kde jsou porovnány okamžité tlaky na jednotlivých nápravách v hloubce půdního profilu 10 cm.

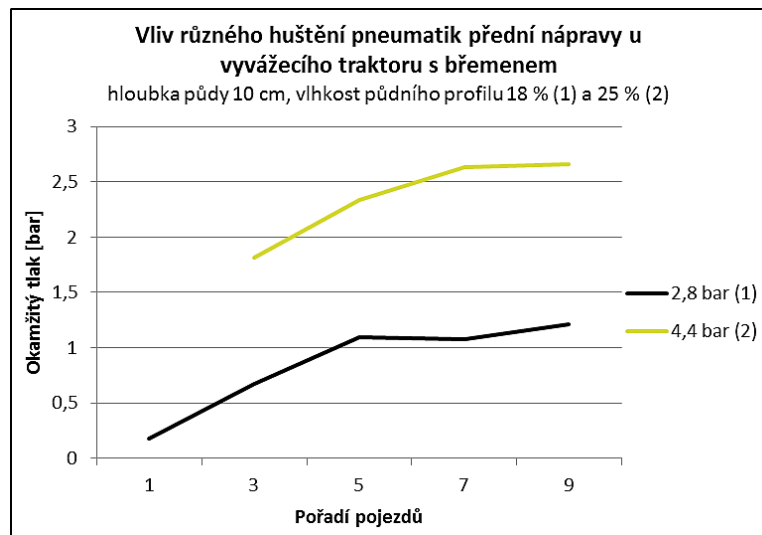


Obr. 8: Vliv zatížení břemenem o hmotnosti 6 150 kg na přední nápravu vyvážecího traktoru

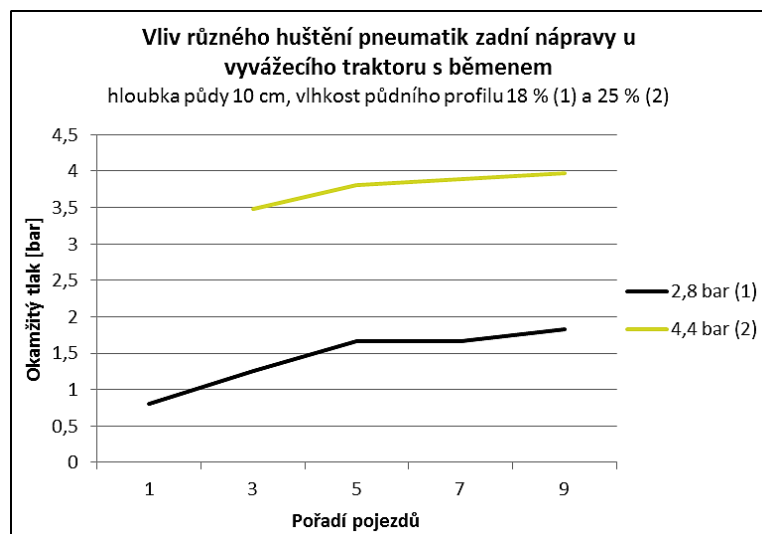


Obr. 9: Vliv zatížení břemenem o hmotnosti 6 150 kg na zadní nápravu vyvážecího traktoru

Vliv různého huštění pneumatik u vyvážecího traktoru s břemenem je znázorněn na následujících grafech (Obr. 10 a 11). V prvním případě je vyhodnocena přední náprava v hloubce půdního profilu 10 cm. Při tlaku v pneumatikách 2,8 bar byl tlak vynaložený na půdní sondu výrazně nižší než při tlaku v pneumatikách 4,4 bar a to více jak dvakrát. Na zadní nápravě okamžitý tlak také vzrostl až nad dvojnásobek hodnot při huštění 2,8 bar, přitom vlhkost půdního tělesa byla naměřena 25 % při tlaku vyšším a 18 % při tlaku nižším. Je nutno zmínit i rozdílnou vlhkost, za níž se zaboření pneumatiky do půdy měl tlak snižovat, díky zvětšení stykové plochy. Nahuštění pneumatik na 4,4 bar se na působení okamžitých tlaků vyvážecího traktoru na půdní povrch projevuje nejvýrazněji ze všech posuzovaných vlivů.



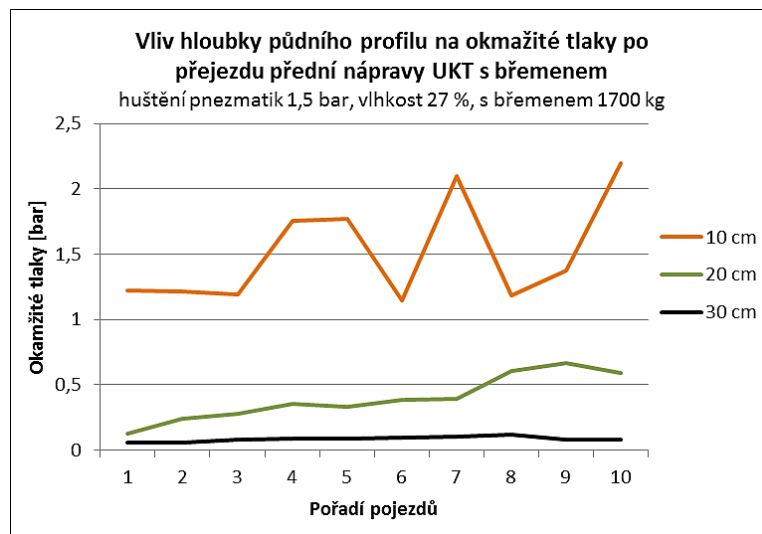
Obr. 10: Vliv různého huštění pneumatik přední nápravy u vyvážecího traktoru s břemenem



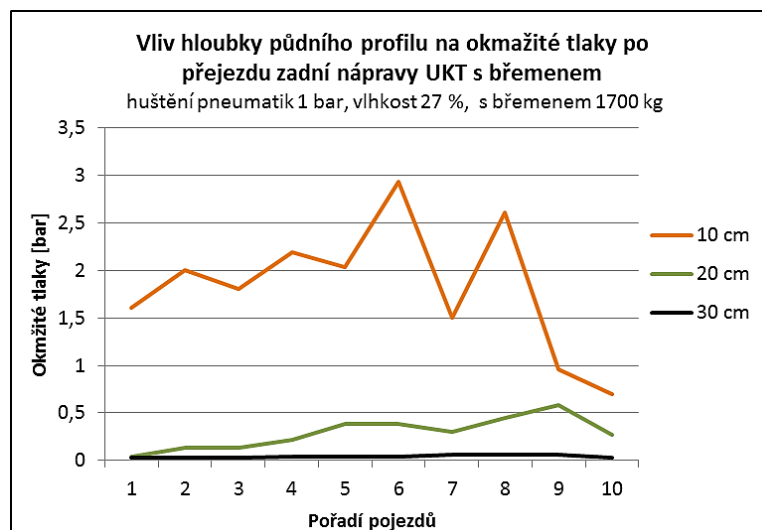
Obr. 11: Vliv různého huštění pneumatik zadní nápravy u vyvážecího traktoru s břemenem

5.2.3 Výsledky z měření okamžitých tlaků u UKT

Vliv hloubky půdního profilu na okamžité tlaky po přejezdu přední a zadní nápravy UKT ovlivnila skutečnost, že stroj byl osazen rozdílnými pneumatikami s rozdílným huštěním. Opět se potvrdil výrazný rozdíl tlaků na senzory v různé hloubce. Na první pohled je zřetelný vyšší tlak na zadní nápravě i přes nižší tlak huštění v širších pneumatikách. Celkově se přejezdy UKT projeví na oranžových křivkách v 10 cm více rozkolísaně, méně rozkolísaně ve 20 cm na zelených křivkách v grafech (Obr. 12 a 13).



Obr. 12: Vliv hloubky půdního profilu na okamžité tlaky po přejezdu přední nápravy UKT s břemenem



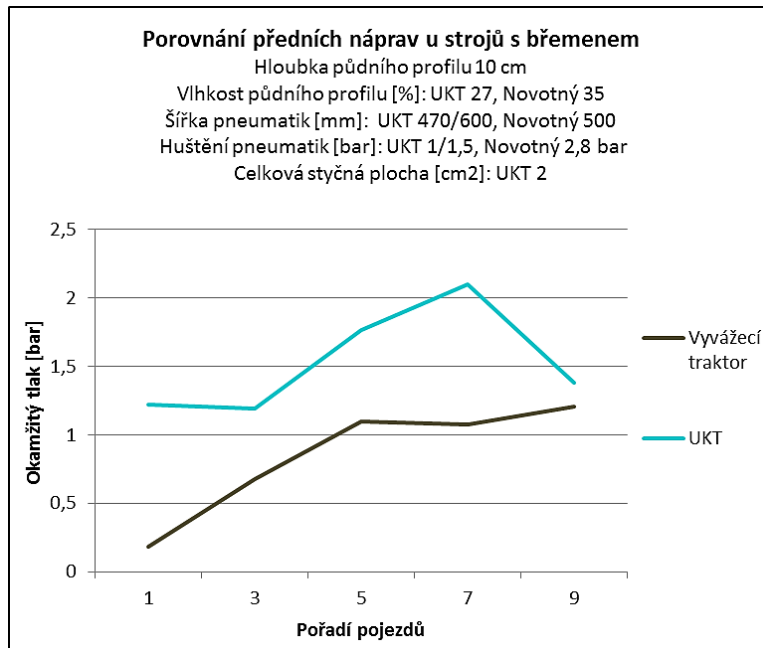
Obr. 13: Vliv hloubky půdního profilu na okamžité tlaky po přejezdu zadní nápravy UKT s břemenem

Spodní černé křivky senzoru ve 30 cm v podstatě nejeví žádný pokles či vzrůst, tlak vyvozený koly stroje do těchto hloubek takřka nedosahoval. Zajímavostí je, že UKT oproti vyvážecímu traktoru nezpůsobilo téměř žádnou kolej v půdě (pouze otlačený dezén běhounu pneumatiky), což pravděpodobně dokazuje elasticitu půdy díky armování kořenového systému smrku, čemuž přispívala i snížená vlhkost půdy ca o 10 %.

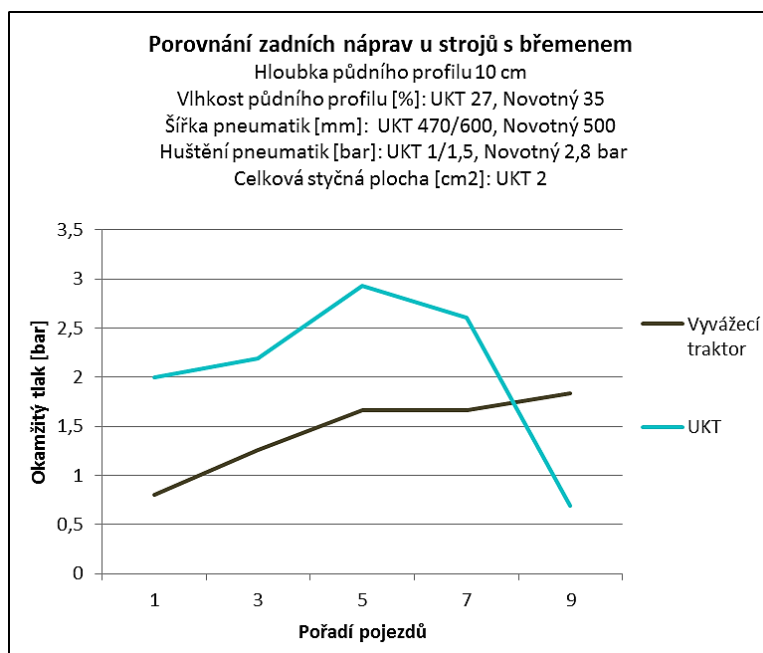
Na obrázku 4 v příloze 7 je porovnána přední a zadní náprava UKT s břemenem v hloubce půdního profilu 10 cm při vlhkosti 27 % s rozdílným huštěním a s odlišnými pneumatikami. Pneumatiky na zadní nápravě měly větší styčnou plochu, avšak tlak UKT byl díky vlečenému dříví v polozávěsu soustředěn na zadní nápravu.

5.2.4 Vzájemné porovnání strojů

Při porovnávání vyvážecího traktoru s UKT byl využit každý druhý pojezd UKT, abychom docílili podobnosti podmínek k vyhodnocení. Hlavními parametry, kterými se stroje lišily, popsány v kapitole 5. 2 Výsledky měření okamžitých tlaků (Tab. 1). Vyvážecí traktor se lišil vyšší hmotností nákladu. Šířka pneumatik přední a zadní nápravy byla u UKT rozdílná (přední 470 mm, zadní 600 mm) a u vyvážecího traktoru bylo všech 8 pneumatik stejně širokých (500 mm), zároveň tlak v pneumatikách UKT byl na přední nápravě 150 kPa a na zadní 100 kPa. U vyvážecího traktoru byl tlak huštění ve všech pneumatikách stejný 280 kPa. Tyto parametry určují celkovou velikost styčné plochy, jež u UKT byla 2 900 cm² a u vyvážecího traktoru 10 200 cm². Grafy na následující stránce (Obr. 14 a 15) jasně znázorňují, že UKT vyvodilo mnohem vyšší tlaky na senzory v půdě, než jak tomu bylo u vyvážecího traktoru. Vzhledem ke stejným počtům přejezdů vychází kladné hodnocení ve prospěch vyvážecího traktoru. Přestože bylo UKT vybaveno nízkotlakými pneumatikami na zadní nápravě s huštěním 100 kPa a jeho břemeno bylo o 4450 kg lehčí než zatížení vyvážecího traktoru, tlaky vyvozené vyvážecím traktorem byly nižší na přední i zadní nápravě.



Obr. 14: Porovnání předních náprav u strojů s břemenem pod vlivem rozdílných parametrů



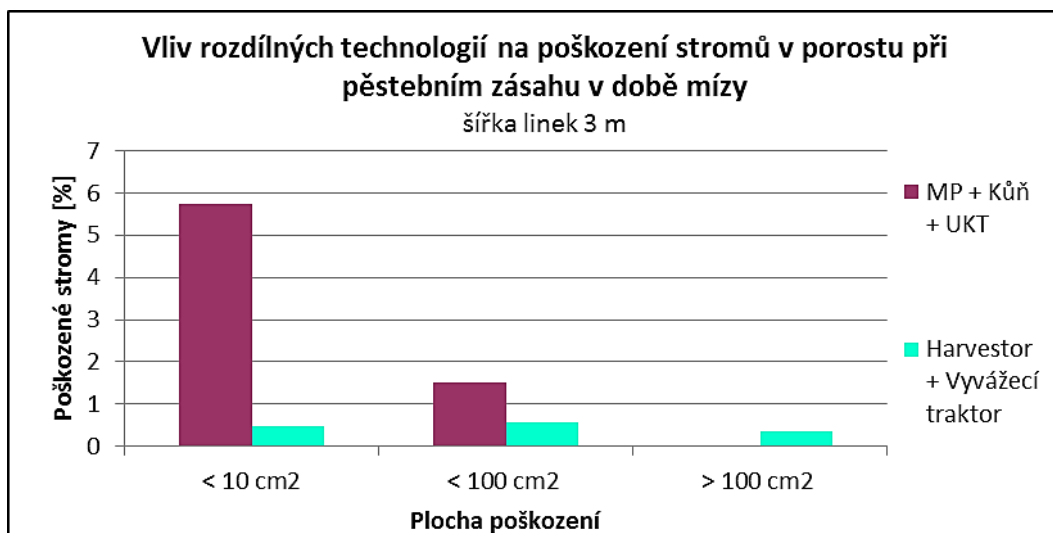
Obr. 15: Porovnání zadních náprav u strojů s břemenem pod vlivem rozdílných parametrů

5.3 Výsledky z měření poškození stromů

Šetření poškození stromů se uskutečnilo v porostech různého stáří, kde byly provedeny výchovné zásahy různého rozsahu a to na lokalitách Telč a Plumlov (viz kapitola 4.1). Hodnocení se orientovalo na porovnání bezúvazkového soustředování dříví (harvestor + vyvážecí traktor) a úvazkového soustředování (MP + kůň + UKT).

Vliv rozdílných technologií na poškození stromů v porostu v době mízy znázorňuje histogram níže (Obr. 16). Množství procentuálně vyjádřených poškozených stromů se pohybovalo nejvýše do 6 % po úvazkovém soustředování, zatímco soustředování bezúvazkové se jeví šetrněji s poškozením po zásahu do 1 %. Největší četnost drobných poškození do 10 cm² náleží úvazkovému soustředování, přitom nebylo zaznamenáno žádné velmi závažné poškození s plochou nad 100 cm² oproti soustředování bezúvazkovému.

Závislost poškozených stromů a šířky linky při výchovném zásahu do 40 let věku porostu byla hodnocena u bezúvazkového soustředování na lokalitě Plumlov (Obr. 17). Stroje zvolené na těžební zásah byly vyvážecí traktor Vimek 6006 a harvestor Rottne 2008. V porostu byly vyznačeny 3 druhy linek různých šířek. S překvapením vychází poškození v porostu s linkami širokými 3 m srovnatelné s linkami širokými 4 m. Vyšší rozdíl hodnot (ca 5%) je viditelný u linek širokých 5,5 m, kde docházelo k poškození pouze výjimečně.



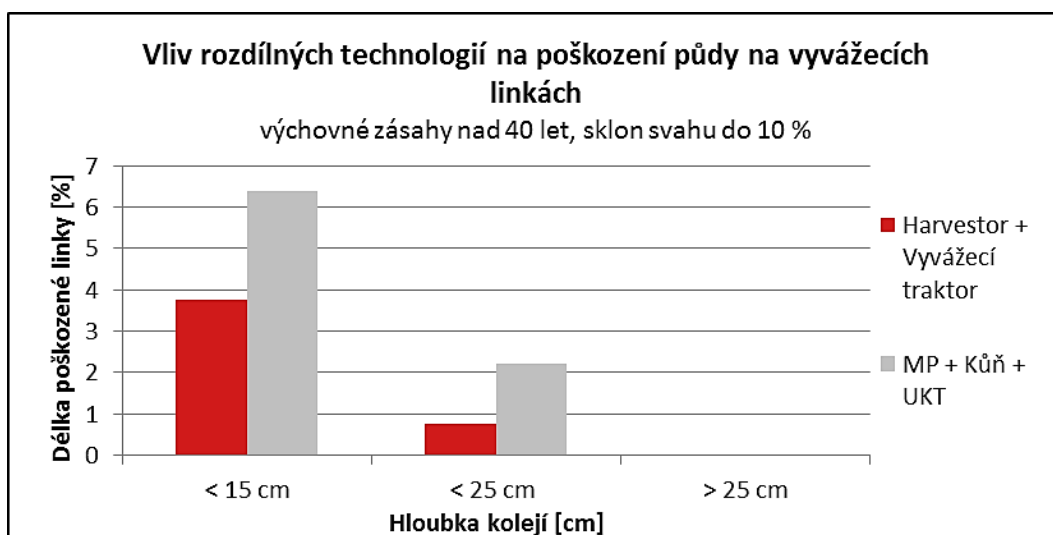
Obr. 16: Vliv rozdílných technologií na poškození stromů v porostu při pěstebním zásahu v době mízy



Obr. 17: Míra poškození stromů při různých šířkách linky během výchovného zásahu do 40 let věku porostu v době mízy

5.4 Výsledky z měření poškození půdy

Vliv rozdílných technologií na poškození půdního povrchu na vyvážecích linkách je zachycen na následujícím grafu (Obr. 18). Hodnocení je vyjádřeno v procentuálně z délky vyvážecí linky. Jako šetrnější technologie se opět jeví úvazkové soustředování, kdy nejvyšší četnost poškození (ca do 5 %) je u rýh hlubokých méně jak 15 cm. Úvazková technologie dosahuje poškození do 7 %, také s největší četností hloubky rýhy do 15 cm. Poškození vyžadující asanaci ihned po dokončení prací v porostu nezpůsobila žádná technologie. Dle certifikované metodiky autorů Vavříčka, Ulricha a Kučery (2014) vycházíme z mezních parametrů v příloze 5 (Tab. 8). Mezní parametry rýhy určují vyloučení technologických opatření na vyvážecích - vyklizovacích liniích (dočasných) nebo nutnou asanaci na sběrných - přibližovacích liniích (trvalých).



Obr. 18: Vliv rozdílných technologií na poškození půdy na vyvážecích linkách při výchovném zásahu nad 40 let

6 Diskuse

Indexem rezistence byla ověřena platnost certifikace dle autorů Vavříčka, Ulricha a Kučery (2014). Na obou lokalitách nedocházelo při užití doporučené techniky k závažnému poškození půdního povrchu. Bylo shledáno nižší vizuální poškození na lokalitě 2 i přes vyšší hmotnost stroje připadající na 1 cm². S přihlédnutím na vlastnosti půdy se můžeme domnívat, že na lokalitě 1 byla půda více plastická a na lokalitě 2 více elastická. Plasticitu a elasticitu ovlivňovala půdní vlhkost a druhové složení porostu. Naměřená vlhkost dosahovala rozdílu 7 % mezi lokalitami a druhové složení na lokalitě 1 bylo v místě půdní sondy tvořeno dřevinami hluboce kořenícími oproti lokalitě 2, kde byla půda ve svrchních vrstvách armována kořeny smrku ztepilého (*P. abies*) a právě vlhkost byla nižší.

Při posuzování vyvážecího traktoru Novotný LVS 720 bez břemene byl okamžitý tlak rozložen rovnoměrně na přední a zadní nápravu stroje bez břemene, tedy hmotnost přední a zadní části je velmi podobná. Prvotní nárůst tlaků byl obvykle nižší při prvním pojezdu, nicméně se zvyšující se četností přejezdů tlak úměrně vzrůstal stoupajícím trendem a následně se pozvolna vyrovnával. Tento jev způsobilo zřejmě postupné rozrušování půdních struktur. Vavříček, Ulrich a Kučera (2014) došli k závěru, že se nejprve stlačují makropóry a dále tlak rozrušuje i půdní agregáty. Mohli bychom předpokládat, že v ideálním případě by při maximálním zhutnění stejný prostředek docílil ke konstantním naměřeným hodnotám při dodržení stejné rychlosti a dráhy stroje, ovšem při porušení elasticity půdy by teoreticky tlak klesal následkem zaboření pneumatiky a tím zvýšení styčné plochy, jak popisuje Neruda a kol. (2013a). Právě během porušení elasticity se zároveň přetrhávají kořeny rostlin. Ulrich (2003) zmiňuje, že poškození kořenů rostlin úměrně stoupá s poškozením půdy. Z těchto poznatků vyplývá, že pro snižování rizik poškození půdy a stromů bychom měli omezit pohyb techniky v porostu a uskutečňovat ho pouze po předem vyznačených linkách, navíc omezit počet přejezdů po lince. Se stoupající hloubkou půdy se tlak vynaložený na podložku snižoval. Schopnost půdy tlumit tlak popisují také Neruda a kol. (2013b), znázorňují hodnoty tlaků pomocí izobar. Zatížením břemenem se rovnoměrnost rozložení okamžitých tlaků na nápravy ruší a okamžitý tlak se výrazně posouvá na zadní nápravu, přičemž na přední nápravě zůstává zachován přibližně stejný. Lze usoudit, že axiálním kloubem spojujícím polorámy stroje se okamžitý tlak nepřenáší a tíha břemene působí zejména na zadní nápravu. Operátor by se měl řídit tím, především

na vodou ovlivněných lokalitách, že hmotnost nákladu přímo ovlivňují okamžité tlaky vynaložené na půdní povrch a je podstatné stroj nepřetěžovat. Ke shodnému závěru došli i Vavříček, Ulrich a Kučera (2014). Zásadním faktorem je prevence použití flotačních pneumatik s minimální šířkou 500 mm a více. Minimalizací huštění se dosáhlo větší poddajnosti pneumatiky v terénu, tím ke zvětšení stykové plochy a ve výsledku byl tento vliv nejvýraznější. Výsledky se shodují s tvrzením výše zmíněných autorů. Přehuštěné pneumatiky nabízí na první pohled lepší jízdní vlastnosti stroje a snižují riziko proražení pneumatiky, ale potom jejich aplikace pozbývá smyslu. Použití flotačních pneumatik je však velmi nákladné, proto převládají u strojů ve vlastnictví fyzických osob pneumatiky běžné s nižší pořizovací cenou. Dalším současným konstrukčním řešením je možnost použití kolopásů na tandemových (bogie) nápravách. Tandemové nápravy už sami o sobě snižují tlak zvětšením styčné plochy a zvyšují stabilitu a jízdní vlastnosti stroje. Lépe se přizpůsobují terénním nerovnostem mikroreliefu. Opatřením kolopásky nejen zvětšíme plochu styku s podložkou, ale zvyšují se trakční schopnosti i ve smyslu vyšší stoupavosti a bezpečnosti (Vavříček, Ulrich, Kučera 2014). Trakční schopnost je důležitým parametrem, protože prokluzem kol se porušují povrchové horizonty půd, které jsou podstatné pro stabilitu produkčního prostředí. Předcházet škodám na půdním povrchu lze navrstvením klestového koberce o minimální výšce 25-30 cm po stlačení (Ulrich 2003). Toto se potvrdilo na lokalitě Rychtářov, kde nevzniklo v podstatě žádné poškození půdního povrchu po pěstebně-těžebním zásahu harvesterovou technologií. Doporučené používání mobilních rohoží z různých materiálů by mělo být účelným řešením na nejméně únosných terénech. Lépe se však zdá užití metody dlouhého lana v přídatném navijáku na vyvážecím traktoru nebo při aplikaci lanových systémů.

Univerzální kolový traktor Zetor Proxima Plus 8541 byl osazen oproti vyvážecímu traktoru odlišnými pneumatikami na přední a zadní nápravě a chování vyvozených tlaků bylo proto rozdílné. Naměřené hodnoty se v grafickém znázornění (Obr. 12 a 13) projeví rozkolísaně pod předními i zadními koly náprav v hloubce půdního profilu 10 cm, kde je možno dedukovat elasticitu půdy, zatímco v hloubce 20 cm vykazují celkově plynulý nárůst, kde se jedná o horizont plastický. Bottinelli a kol. (2013) se zabývali regenerací půdy, kdy bylo zjištěno, že po dvou letech obnovují svou pórovitost svrchní vrstvy půdy (0-7 a 7-15 cm), ale spodní vrstvy (> 15 cm) zůstávají ztuhlé. Nejenže se podle Klvače a Lišky (2011) zvyšuje

mechanický odpor pronikání kořenů a zvyšují se nároky dřevin na fotosyntáty, ale podle Hartmanna a kol. (2013) dochází ke změně půdní mikroflóry a tím i ke změnám toku CO₂. Na zhutněných půdách může být proto obnova holiny obzvláště u smrku velmi problematická. Po 10 pojezdech prostředku nebyla znatelná kolej na půdním povrchu, byl pouze otačen dezén pneumatiky. Ke zvýšení tlaků napomáhala snížená vlhkost. Tlumící schopnost půdy se projevila natolik, že okamžitý tak hloubce půdního profilu 30 cm nebyl tlak téměř zaznamenán. Porovnáním náprav stroje byl zjištěn vyšší tlak na zadní nápravě a to při vyšší stykové ploše vlivem zatížení břemenem o hmotnosti 1700 kg.

Porovnáním strojů bylo zjištěno (kapitola 5.2.4), že vyvážecí traktor Novotný LVS 720 na lokalitě 1 způsobil nižší okamžité tlaky na přední i zadní nápravě na rozdíl od univerzálního kolového traktoru Zetor Proxima Plus 8541 na lokalitě 2. Vstupujícími parametry byla rozdílná vlhkost půdního profilu, tlak huštění, celková styčná plocha, rozdílné pneumatiky a jejich počet, hmotnost nákladu, rozdílný způsob přepravy břemene a složení porostu. Půdním typem byla v obou případech rendzina kambická. Půda s vlhkostí 27 % se nacházela na lokalitě 2 a díky kořenovému systému smrku ztepilého (*P. abies*) se značila elasticitou. Na lokalitě 1 se vyskytovaly hluboce kořenící druhy stromů s řídkou pokryvností bylinného patra. Zde byla vlhkost půdy o 7 % vyšší a jevila se více plastická. Při transportu dříví bylo dosaženo podobných hodnot okamžitých tlaků během čtvrtého pojezdu u UKT na přední nápravě jako u vyvážecího traktoru u šestého pojezdu. Na zadní nápravě vyvážecí traktor ani nedosáhl podobných tlaků jako UKT, vyjma posledního desátého přejezdu, kde křivka vyvozeného tlaku v grafu (Obr. 15 a 16) strmě klesala. Pravděpodobně došlo k vychýlení UKT z dráhy. Podstatným ukazatelem šetrnosti vyvážecího traktoru byla hmotnost transportovaného dříví. Během 10 pojezdů přepravil vyvážecí traktor o celých 40 500 kg dříví více než UKT a to při působení nižších okamžitých tlaků na zadních nápravách, větší hygieně práce a při čistotě přepravovaných kmenů. Výše tlaku je evidentně úměrná celkové velikosti styčné plochy, která byla u UKT o 7 300 cm² menší jak u vyvážecího traktoru i přesto že byl u UKT nižší tlak v pneumatikách. Soustředováním dříví v polozávěsu se těžiště UKT posouvá na zadní část stroje, navíc při vlečení po půdním povrchu vzniká odpor břemene způsobený třením. Oba tyto faktory spolu s tvarem dezénu a velikostí styčné plochy pneumatiky i plynulostí a rychlostí pojezdu mají vliv

na tažnou schopnost, která se promítne v silách adhezních. Vyvážecí traktor zvýhodňuje pohon všech osmi kol.

Poškození stromů v porostu bylo shledáno jak u technologie bezúvazkové (harvestorové), tak u klasické úvazkové. Z výsledků měření se jednoznačně ukázala šetrnější technologie bezúvazková. Celkovou četnost poškození do 10 cm² převyšovala technologie úvazková šestkrát technologii bezúvazkovou, potom jedenkrát u poškození do 100 cm². Poškození nad 100 cm² byla zaznamenána pouze u technologie bezúvazkové. Rozsah poškození určovala část stroje, kterou byla způsobena. K poškození ve větší výšce docházelo u technologie bezúvazkové vlivem interakce hydraulického jeřábu s drapákem a v nižší výšce docházelo, kvůli vlečení kmenů po půdním povrchu, k častějšímu poškození u technologie úvazkové. Stejně jako u šetření Ulricha a kol. (2009) se potvrdilo, že při větší délce soustředovaných kmenů docházelo k většímu poškození stojících stromů, a to nejen z důvodu vlečení z lokality pařez na vývozní místo, ale díky délce vzniká i větší poloměr zatáčení, který je v mnohých případech nedostačující při ústění linky na odvozní cestu. Dále posuzované poškození šířek linky na Rychtářovsku překvapivě vycházelo podobně na linkách čtyřmetrových a třímetrových, přitom obecnou platností dle Nerudy a kol. (2013a) je větší četnost poškození na linkách čtyřmetrových. Vezmeme-li v úvahu tvrzení Ulricha (1999) o tom, že největší poškození vzniká, když je jízdní stopa do 60 cm od paty stromu, pak jsou vysvětlením rozměry strojů malé třídy, které však ztrácí boční stabilitu a mají úzké pneumatiky. Zároveň je nutné zmínit, že většina poškození odpovídala interakci hydraulického jeřábu s drapákem u bezúvazkové technologie, tedy nacházela se většinou ve větší výšce jak 1 m od paty kmene. Dále se naskýtá možnost přehlédnutí poškození na kmeni, neboť i při důkladném prohlednutí kmene splývají zatřené poškození hnědé barvy. Na linkách šířky 5,5 m se hodnota nepoškozených stromů blížila ke 100 %, avšak je otázkou růstových vlastností jednotlivých druhů dřevin, zda nedochází k zavětvení kmenů u okrajových stromů a tím ztrátě na kvalitě budoucích sortimentů. Podle Slodičáka (Neruda a kol. 2013a) dochází ke světlostnímu přírůstu na vyvážecích linkách širších než 4 m. Proto byly ve zkušném porostu na Rychtářově upevněny přírůstoměry na všech třech šířkách linek po 10 ks a v dalších 30 ks v porostu mezi nimi.

Ve zpracovaných výsledcích není samozřejmě možné zaručeně zachytit schopnosti operátorů strojů. Jejich odborná kvalifikace s délkou praxe podmiňují kvalitu a rychlost práce, jež se podepisuje na způsobených škodách na stromech a půdě. Zohledněn musí být i mikroreliéf povrchu, kde se předpokládá náklon strojů při přejíždění terénních nerovností i výška pařezů a slon svahu. Opatření proti tvorbě škod na stojících stromech umocňuje význam v době mízy, jsou to různé mechanické zábrany, jako je na vrstvení klestu na kořenových náběžích, ponechání odrazníků a další, přičemž bychom měli mít na mysli hmotnost taženého břemene.

Hodnocený prototyp vyvážecího traktoru hodnocen jako šetrnější k prostředí lesních porostů z pohledu poškození půdního povrchu a stromů v porostu nežli UKT, nicméně UKT nelze vyloučit z těžební činnosti v lesním hospodářství. Prostředek pro soustředování dříví je nutno volit podle podmínek stanoviště, na kterém se uskuteční těžebně-dopravní činnost strojů.

7 Závěr

Prototyp vyvážecího traktoru Novotný LVS 720 a univerzální kolový traktor Zetor Proxima Plus 8541 byly posouzeny metodou měření okamžitých tlaků na typově stejném půdním prostředí. Bylo zjištěno, že vyvolané tlaky interakcí s povrchem půdy se mezi prostředky projevují různě na každé nápravě. Hlavními vstupními parametry, jež ovlivňovaly velikost měřených hodnot, byl tlak huštění pneumatik, celková styčná plocha stroje s podložkou, hmotnost transportovaného břemene, vlhkost půdního profilu a vlastnost elasticity a plasticity půdy. Výsledky jednoznačně dokládají větší šetrnost vyvážecího traktoru na rozdíl od UKT. Vyvážecí traktor působil nižšími tlaky na půdní povrch při přepravě s více než třikrát větší hmotnosti dříví během prvního i desátého pojezdu. Dále bylo hodnoceno poškození stromů a půdy v porostu na nejpoužívanějších technologiích. Úvazková metoda soustředování dříví, kde bylo použito přibližování koněm a UKT, byla hodnocena jako méně šetrná ke škodám na kmenech stojících stromů vlivem vlečení kmenů, zatímco metoda bezúvazková se jevila příznivěji. Navzdory výsledkům však nelze vyloučit z provozu lesního hospodářství úvazkové technologie, naopak je nutné je volit na lokality, kde nedostačují technologie bezúvazkové nebo, kde mohou dokonce působit větší škody.

8 Seznam citované literatury

ATWELL, B. J. Response of roots to mechanical impedance. *Environmental and Experimental Botany* [online]. 1993, vol. 33, vydání1, s. 27-40 [cit. 8. 4. 2015]. DOI: 10.1016/0098-8472(93)90053-i.

BOTTINELLI, N., V. HALLAIRE, N. GOUTAL, P. BONNAUD a J. RANGER. Impact of heavy traffic on soil macroporosity of two silty forest soils: Initial effect and short-term recovery. *Geoderma* [online]. 2014, 217-218, s. 10-17 [cit. 26. 3. 2014]. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.10.025. Dostupné z: <<http://www.scopus.com>>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. Historická data: Územní srážky, Územní teploty. Praha, 2014. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_4_Uzemni_tepoty&last=false; http://portal.chmi.cz/portal/dt?menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_5_Uzemni_srazky>

NERUDA, J., J. ČERMÁK, N. NADĚŽDINA, R. ULRICH, R. GEBAUER, D. VAVŘÍČEK, M. MARTINKOVÁ, R. KNOTT, A. PRAX, E. POKORNÝ, L. AUBRECHT, Z. STANĚK, J. KOLLER, J. HRUŠKA., 2008. Determination of damage to soil and root systems of forest trees by the operation of logging machines. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 138 s. ISBN 978-80-7375-251-4.

GOMEZ, A., R. F. POWERS, M. J. SINGER a W. R. HORWATH. SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA JOURNAL. Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in California's Sierra Nevada [online]. 4. vyd. South segoe road, Madison, USA, 2002 [cit. 7. 4. 2015]. Dostupné z: <http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=50&SID=S2LoslmfvPBefb3862t&page=5&doc=46>

GOSS, J. M. Effects of mechanical impedance on root growth in barley (*Hordeum vulgare* L.). 1. Effects on the elongation and branching of seminal root axes. CAB Abstracts Archive 1910 - 1989. 1977, č. 23. [cit. 5. 5. 2015]. Dostupné z: <<http://ovidsp.tx.ovid.com/sp-3.15.1b/ovidweb.cgi>>

GRABLE, A. R. a E. G. SIEMER. Soil science society of america proceedings. Effects of bulk density aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion redox potentials and elongation of corn roots [online]. 2. vyd. South sogeo road, USA, 1968, 180 s. [cit. 7. 4. 2015]. Dostupné z: <http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=67&SID=S2LoslmfvPBefb3862t&page=1&doc=2>

HARTMANN, M., P. A. NIKLAUS, S. ZIMMERMANN, S. SCHMUTZ, J. KREMER, K. ABARENKOV, P. LÜSCHER, F. WIDMER a B. FREY. Resistance and resilience of the forest soil microbiome to logging-associated compaction. *The ISME Journal* [online]. 2013, vol. 8, issue 1, s. 226-244 [cit. 26. 3. 2014]. DOI: 10.1038/ismej.2013.141. Dostupné z: <<http://www.scopus.com>>

HIEKE, Karel. *Encyklopedie jehličnatých stromů a keřů*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2008, 246 s. ISBN 9788025119013.

KLVAČ, Radomír. Hodnocení vlivu technologií těžby a zpracování dřevní suroviny na životní prostředí pomocí LCA a energetického auditu: certifikovaná metodika. 2011, Vyd. 1. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 28 s. ISBN 978-80-7458-003-1.

Lesní vyvážecí souprava LVS 720. Strojárna Novotný s.r.o. [online]. 2013 [cit. 12. 4. 2015]. Dostupné z: <<http://www.loader.cz/cz/nase-vyrobky/lesni-vyvazeci-souprava-720>>

Lesnická nástavba: Zetor system. [online]. [cit. 12. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.zetor.cz/file/5700/zetor-system_lesni-nastavba.pdf>

MALÍK, V., DVOŘÁK, J., 2006. Finanční ztráty z mechanických poranění stromů, Lesnická práce, str. 23 – 24

MALÍK, Václav a Jiří DVOŘÁK., 2007. Harvesterové technologie a vliv na lesní porosty. Vyd. 1. Praha: Lesnická práce, 84 s. ISBN 978-80-86386-92-8.

Atlas poškození dřevin: Houbové choroby kmene a větví. [online] Mendelova univerzita [4. 9 2014] Dostupné z: <http://atlasposkozeni.mendelu.cz/kategorie/131-houbove_choroby_kmene_a_vetvi.html>

MEYER, Ch., P. LÜSCHER a R. SCHULIN. Enhancing the regeneration of compacted forest soils by planting black alder in skid lane tracks. *European Journal of Forest Research* [online]. 2014, vol. 133, issue 3, s. 453-465 [cit. 26. 3. 2014]. DOI: 10.1007/s10342-013-0776-0. Dostupné z: <<http://www.scopus.com>>

MORDHORST, A., S. PETH a R. HORN. Influence of mechanical loading on static and dynamic CO₂ efflux on differently textured and managed Luvisols. *Geoderma* [online]. 2014, 219-220, s. 1-13 [cit. 26. 3. 2014]. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.12.020. Dostupné z: <<http://www.scopus.com>>

NERUDA, J., D. VAVŘÍČEK, R. ULRICH a A. JANEČEK., 2011. Interakce stanoviště a těžebně dopravních strojů. 1 vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-573-7.

NERUDA, J., R. ULRICH a P. KLIMEŠ., 2014. Forwarder LVS 720. In: [online]. Brno, 18. 03. 2015 [cit. 12. 4. 2015]. Dostupné z: <<http://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?id=3375;zalozka=5;podrobnosti=232438>>

NERUDA, J., R. ULRICH, V. DOLEJSKÝ, P. MORAVEC aj. POLICAR., 2009. Harvestorové technologie v podmínkách lesního hospodářství ČR: Metodika ekologického způsobu práce těžebně dopravních strojů při správném hospodaření v lesích. 1. vyd. Brno: Tribun EU. ISBN 978-80-7399-638.

NERUDA, J., R. ULRICH, V. KUPČÁK, M. SLODIČÁK a T. ZEMÁNEK., 2013a. Mendelova univerzita. Harvestorové technologie lesní těžby. první. Brno: Tribun, 165 s. ISBN 978-80-7375-842-4.

NERUDA, J., V. SIMANOV, R. KLVAČ, A. SKOUPÝ, J. KADLEC, T. ZEMÁNEK, R. ULRICH, P. NEVRKLA a kol 2013b. Technika a technologie v lesnictví: učební text pro předměty Technika a technologie v lesnictví, Základní procesy těžby a dopravy dříví, Technika a technologie lesní těžby a Technika a technologie dopravy dříví. 1. vyd. V Brně: Mendelova univerzita v Brně, 2 sv. (362, 297 s.). ISBN 978-80-7375-840-0.

SKOUPÝ, A. a J. BUCHAR., 2011. Multikriteriální hodnocení technologií pro soustředování dříví. 1. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 211 s. ISBN 978-80-7458-016-1.

ŠIMEK, M., 2012. Emise oxidu dusného a metanu z půdy pastvin. In: Akademie věd České republiky: Oblast věd o živé přírodě a chemických věd [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupné z:

<http://www.cas.cz/veda_a_vyzkum/vyznamne_a_zajimave_projekty/ziva_priroda_a_chemicke_vedy/Emise_oxidu_dusneho_a_methanu_z_pudy_pastvin.html>

TOMÁŠEK, M. 2007. Půdy České republiky. 4. vyd. Praha: Česká geologická služba, 67 s., [41] s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-7075-688-1.

ULRICH, R., J. NERUDA, VOJÁČEK, A., INGERLOVÁ, J., 1999. Zjišťování škod ve smrkových probírkových porostech po harvestorech a vyvážecích traktorech: Výzkumná zpráva. Brno: Mendelova univerzita v Brně LDF, 23 s.

ULRICH, R., V. ŠTOREK a A. SCHLAGHAMERSKÝ., 2002. Použití harvesterové technologie v probírkách. 1 vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 149 s. ISBN 80-715-7631-X.

VAVŘÍČEK, D. a A. KUČERA., 2015. Lesnická pedologie pro posluchače LDF Mendelu v Brně. Mendelova univerzita v Brně: Brno. Dostupné z: <<http://ldf.mendelu.cz/ugp/>>

VAVŘÍČEK, D. a P. PANCOVÁ ŠIMKOVÁ. Atlas lesních půd: Katalog půd. Brno: Ústav geologie a pedologie. [cit. 16. 9. 2015] Dostupné z: http://ldf.mendelu.cz/ugp/wp-content/ugp-files/atlas_pud/index.html

VAVŘÍČEK, D., R. ULRICH a A. KUČERA., 2014. Ochrana půdy v těžebně-dopravní činnosti. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 99 s. ISBN 978-80-7509-148-2.

VĚTVIČKA, V. Stromy a keře., 2005. Vyd. 2. Ilustrace V. MATOUŠOVÁ, J. MAŠEK. Praha: Aventinum, 288 s. Souborné svazky. ISBN 80-715-1254-0.

WÄSTERLUND, I., 1989. Strength components in the forest floor restricting maximum tolerable machine forces. Journal of Terramechanics [online]. vol. 26, vydání 2, s. 177-182 [cit. 8. 4. 2015]. DOI: 10.1016/0022-4898(89)90005-0.

Zeror tractors a.s, 2007. Dodatek návodu k obsluze a údržbě: Z 8545 Z 9541 Z 10541. první. Brno: Oddělení technické dokumentace, 24 s. Dostupné z: <<http://www.agroservishlucin.cz/prirucky/>

Proxima_PLUS_TIER20III_Dodatek_CZ.pdf>

Zetor tractors a. s., 2004. Zetor Proxima: Proxima, Proxima Plus, Proxima Power [online]. první. Brno, [cit. 5. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.zetor.cz/file/2199/Zetor-rada-PROXIMA_CZ.pdf>

9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Měření styčné plochy pneumatik	27
Obrázek 2: Umístění měřicího aparátu do čela půdní sondy	29
Obrázek 3: Výstup grafického zpracování dat programu Expert AD.....	30
Obrázek 4: Grafikon určení počtu zkusných ploch.....	33
Obrázek 5: Schéma zkusných ploch	35
Obrázek 6: Vliv hloubky půdního profilu na okamžité tlaky po přejezdu přední nápravy vyvážecího traktoru.....	39
Obrázek 7: Vliv hloubky půdního profilu na okamžité tlaky po přejezdu zadní nápravy vyvážecího traktoru	39
Obrázek 8: Vliv zatížení břemenem o hmotnosti 6 150 kg na přední nápravu vyvážecího traktoru	40
Obrázek 9: Vliv zatížení břemenem o hmotnosti 6 150 kg na zadní nápravu vyvážecího traktoru	40
Obrázek 10: Vliv různého huštění pneumatik přední nápravy u vyvážecího traktoru s břemenem	41
Obrázek 11: Vliv různého huštění pneumatik zadní nápravy u vyvážecího traktoru s břemenem	42
Obrázek 12: Vliv hloubky půdního profilu na okamžité tlaky po přejezdu přední nápravy UKT s břemenem	42
Obrázek 13: Vliv hloubky půdního profilu na okamžité tlaky po přejezdu zadní nápravy UKT s břemenem.....	43
Obrázek 14: Porovnání předních náprav u strojů s břemenem pod vlivem rozdílných parametrů	45
Obrázek 15: Porovnání zadních náprav u strojů s břemenem pod vlivem rozdílných parametrů	45
Obrázek 16: Vliv rozdílných technologií na poškození stromů v porostu při pěstebním zásahu v době mízy	47
Obrázek 17: Míra poškození stromů při různých šířkách linky během výchovného zásahu do 40 let věku porostu v době mízy.....	47
Obrázek 18: Vliv rozdílných technologií na poškození půdy na vyvážecích linkách při výchovném zásahu na 40 let	48

10 Summary

The Bachelor thesis was composed in regards to the topic of the assessment of the influence of mechanized logging of wood on the soil surface. First a review of literature was composed on this theme and then the measurements and the evaluation of immediate pressure with prototype forwarders Novotný LVS 720 and with universal tractor Zetor Proxima Plus 8541 were carried out. The measurements were carried out in the same soil type with similar natural conditions at the Training of Forest Enterprise Masaryk Forest Křtiny. The results were exported into graphs and the machines for logging were assessed individually and between themselves. During the ride prototyp forwarders transported trees times the weight of the load and caused immediate pressures lower in comparison with the universal wheeled tractor. Furthermore, it was the chosen method for measuring damage to trees and soil in the forest cover after logging. The measurements were carried out in the areas of Telč and Plumlov, where classic technology (chainsaw, logging with horse and universal wheeled tractor) and CTL technology were compared. CTL technology was more environmentally friendly during logging, unlike the classic technology.