

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav lesnické a dřevařské techniky

**Identifikace a posouzení faktorů ovlivňujících okamžitě tlaky v půdním profilu
vyvolané přejezdy vyvážecího traktoru**

Diplomová práce

2015/2016

Bc. Michal Mutina

Zadání práce

Prohlašuji, že jsem tuto práci **Identifikace a posouzení faktorů ovlivňujících okamžité tlaky v půdním profilu vyvolané přejezdy vyvážecího traktoru**

vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny 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 *Směrnici 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 o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:

.....

Podpis

Poděkování

Mé poděkování patří především Ing. Tomáši Zemánkovi, Ph.D. za trpělivé vedení při zpracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat firmám Progles s.r.o. a Strojírna Novotný s.r.o. za propůjčení vyvážecího traktoru, na kterých je tato práce postavená. A v neposlední řadě své rodině a přátelům, kteří mě podporovali v průběhu celého studia.

Abstrakt

Autor/Author: Bc. Michal Mutina

Název práce: Identifikace a posouzení faktorů ovlivňujících okamžité tlaky v půdním profilu vyvolané přejezdy vyvážecího traktoru

V lesnictví se používají těžké kolové stroje, které vyvolávají svým podvozkem patrný tlak na půdu. Pojezdem strojů vzniká poškození kořenů, kořenových náběhů a hlavně hutnění půdy.

Diplomová práce se zabývá posouzením a porovnáním faktorů ovlivňujících okamžité tlaky v půdním profilu vyvolané přejezdy vyvážecích traktorů. Jsou posuzovány dva stroje, jeden s nosností 5 t a druhý 12 t. Jsou posuzovány technické vlastnosti stroje, šířka pneumatik, míra huštění pneumatik a také technologické vlivy kladení klestu na dráhu přejezdu vyvážecího traktoru. Z výsledků vyplývá, že použití těžebních zbytků pod dráhu vyvážecích traktorů snižuje nejúčinněji okamžité tlaky v půdě.

Klíčová slova: erozní rýha, klest, okamžitý tlak, tlak v půdě, únosnost, vyvážecí traktor

Title: Identification and assessment of factors influencing the immediate pressures in the soil profile made by crossing forwarder

In forestry are used heavy wheeled machines which create noticeable pressure on the soil by landing gear. Traversing machines cause damaging roots, root swellings and especially soil compaction.

This thesis deals with the assessment and comparison of factors affecting the immediate pressures in the soil profile caused by crossing forwarders. Two machines are considered, the first one with load capacity 5t and the second one with load capacity 12t. The technical features of the machine, tire width, tire inflation rate and technological influences, putting brushwood on the path of crossing forwarder were assessed. The results indicate that the use of logging residues on the path of forwarder effectively reduces the immediate pressures in the soil.

Key words: brushwood, carrying capacity, erosion rill, forwarder, ground pressure, immediate pressure

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíl.....	11
3	Literární přehled	12
3.1	Terramechanika.....	12
3.1.1	Plocha styku a plocha otisku.....	12
3.1.2	Měrný tlak.....	13
3.1.3	Plasticita a elasticita půdy	14
3.2	Terénní klasifikace	15
3.3	Technické parametry strojů ve vztahu ke snižování vlivu lesní techniky na půdní povrch	16
3.3.1	Šířka pneumatiky	16
3.3.2	Huštění pneumatik	17
3.3.3	Použití kolopásů.....	17
3.4	Technologický postup	17
3.4.1	Použití těžebních zbytků do jízdní stopy vyvážecího traktoru	17
3.4.2	Snížení nákladu.....	18
3.5	Podvozky vyvážecích traktorů	18
3.5.1	Kolové.....	19

3.5.2	Pásové	22
3.5.3	Kráčivý podvozek	22
3.6	Vliv pojezdu na půdu	23
3.6.1	Zhutnění půdy	24
3.6.2	Vliv zhutnění na pórovitost.....	24
3.6.3	Vliv zhutnění na výměnu CO ₂	25
3.6.4	Poškození nadzemní části stromů	25
3.6.5	Poškození kořenového systému	26
4	Metodika	27
4.1	Popis stanovišť pro měření.....	27
4.1.1	Stanoviště č. 1.	27
4.1.2	Stanoviště č. 2.	28
4.2	Použité vyvážecí traktory	29
4.2.1	John Deere 1110E	29
4.2.2	Novotný LVS 511	30
4.3	Vlastní měření	31
4.3.1	Přístroje pro venkovní měření.....	33
4.4	Kancelářská práce	37
4.4.1	Vlhkost.....	37
4.4.2	Tlaky v půdě	37

4.4.3	Penetrační odpor půdy	37
4.4.4	Styčné plochy pneumatik.....	38
4.4.5	Ekonomické zhodnocení ochranných opatření půdy	38
5	Výsledky	39
5.1	Styčné plochy vyvážecích traktorů	39
5.2	Vyvážecí traktor John Deere 1110E (s nosností 12 t).....	40
5.2.1	Prázdný vyvážecí traktor	40
5.2.2	Zatížený vyvážecí traktor.....	41
5.2.3	Zatížený vyvážecí traktor na vrstvě 30 cm klestu.....	42
5.2.4	Zatížený traktor se snížením tlaku pneumatik na 2 bary	43
5.2.5	Porovnání všech zkoumaných variant u vyvážecího traktoru s nosností 12 t.....	44
5.3	Vyvážecí traktor Novotný LVS 511 (s užitečnou nosností 5 t).....	45
5.3.1	Prázdný vyvážecí traktor	45
5.3.2	Zatížený vyvážecí traktor.....	46
5.3.3	Zatížený vyvážecí traktor při pojezdu po 30 cm klestu	47
5.3.4	Zatížený vyvážecí traktor při použití kolopásů.....	50
5.3.5	Porovnání všech zkoumaných variant u vyvážecího traktoru s nosností 5 t.....	51
5.4	Srovnání vyvážecího traktoru John Deere 1110E (s užitečnou nosností 12 t) a Novotný LVS 511 (s užitečnou nosností 5 t).....	52

5.4.1	Vyvážecí traktory bez zatížení.....	52
5.4.2	Srovnání zatížených vyvážecích traktorů s užitečnou nosností 12 t a 5 t.....	53
5.4.3	Srovnání zatížených vyvážecích traktorů s užitečnou nosností 12 t a 5 t na 30 cm vrstvě koberce z klestu.....	54
5.5	Penetrační odpor půdy.....	55
5.6	Ekonomické zhodnocení jednotlivých variant.....	57
6	Diskuse.....	60
7	Závěr.....	64
8	Summary.....	66
9	Zdroje.....	68

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá identifikací a posouzením faktorů ovlivňujících okamžité tlaky v půdním profilu vyvolané přejezdy vyvážecího traktoru.

K rozvoji mechanizace v lesním hospodářství došlo až ve druhé polovině dvacátého století. Zejména pro těžbu, odvětvování, dopravu a následnou manipulaci se dřívím byly postupně zaváděny mechanizační prostředky, které snížily namáhavost a zvýšily efektivnost práce v lese. S výrazným rozvojem techniky nám exponenciálně roste produktivita práce, bezpečnost a zvyšuje se prevence zdravotních rizik. Hlavně při těžební a dopravní činnosti se čím dál víc používají větší a výkonnější stroje, které jsou opatřeny kolovým nebo pásovým podvozkem. Použitím jakéhokoliv stroje vznikají v půdním prostředí tlaky, které negativně působí na kořenový systém. Proto lze očekávat zhutnění půdního povrchu a poškození kořenových systémů stromů nacházejících se poblíž pohybu stroje. Rozsah poškození a zhutnění půdního povrchu závisí na druhu a vlhkosti půdy, použitých pneumatikách a v neposlední řadě na počtu přejezdů stroje po jedné lince. Míra poškození půdního povrchu a kořenových systémů stromů je přímo odvislá od hmotnosti stroje a jeho případného nákladu. Poškození půdy v rozličných terénních podmínkách se dá eliminovat nasazením vhodného mechanizačního prostředku. V některých případech je taktéž velmi důležité zvolit jeho použití ve vhodném časovém období. V neposlední řadě závisí míra poškození půdy na použití pneumatik (jejich různé druhy, velikosti a míry huštění), kolopásů či využití koberce z těžebních zbytků.

2 Cíl

Cílem této práce je posouzení a porovnání faktorů ovlivňujících okamžité tlaky v půdním profilu vyvolané přejezdy vyvážecího traktoru s maximální nosností 12 t a vyvážecího traktoru s maximální nosností 5 t. Budou posuzovány technické vlastnosti stroje, jako jsou šířka pneumatik a míra jejich nahuštění, dále bude posuzován vliv kladení klestu na dráhu přejezdu vyvážecího traktoru. Na závěr zhodnotíme ekonomickou povahu a časovou náročnost aplikace navrhovaných opatření na snížení negativního dopadu lesní techniky na půdní povrch.

3 Literární přehled

3.1 Terramechanika

Vědní obor zkoumající jevy, které vznikají stykem podvozku mobilních strojů s půdou, a jejich příčiny. Terramechanika je důležitá jak při navrhování mobilních strojů, tak při jejich provozování. Znalostí tohoto oboru lze minimalizovat negativní důsledky provozu strojů na lesní půdu, případně zvyšovat životnost a optimalizovat ekonomické parametry používaných strojů. (Neruda a kol. 2013 a)

Jevy, které vznikají při pojezdu lesní techniky po půdním povrchu:

- Tlaky na pojezdovou plochu a jejich šíření
- Odporů při jízdě
- Stlačování půdy
- Vznik stopy

3.1.1 Plocha styku a plocha otisku

Pojezdové ústrojí mechanizace se dotýká určitou částí podložky (zeminy), ať už je to kolo či pás. V dosedací ploše pásového podvozku stroje je to obdélník a jeho velikost lze jednoduše určit z rozměrů pásu.

U pneumatik je dosedací plocha na podložku poněkud složitější a lze ji specifikovat dvěma pojmy. (Neruda a kol. 2013 a)

- Plocha otisku S_o
 - plocha mezi pneumatikou a podložkou ohraničená obrysovou čarou. Obrys plochy otisku má na tvrdé podložce tvar elipsy.
- Plocha styku S_d
 - plocha otisku vymezena lištami běhounu pneumatiky, které jsou v přímém kontaktu s podložkou.

Většina lesnické mechanizace používá vysoký vzorek dezénu pneumatik, ty pak na stanovištích s tvrdým půdním povrchem mají za následek tří až čtyřnásobné zvětšení měrného tlaku pod lištami pneumatik, oproti měrnému tlaku v ploše otisku. Z toho vyplývá, že k rovnoměrnému stlačení půdy po celé šířce pneumatiky dochází až po úplném zaboření dezénu do půdy. Zvýšený tlak pod dezénem pneumatiky způsobuje

poškození kořenů rostlin a stromů. Snížení tlaku na půdní povrch můžeme dosáhnout snížením hmotnosti stroje, nebo zvětšením dosedací plochy stroje na podloží. (Neruda a Simanov, 2006)

Styčná plocha závisí na několika faktorech. Konstrukci pneumatiky a jejím huštění, zatížení kola, ale i tuhosti a únosnosti konkrétní podložky, na kterou v daném okamžiku pneumatika působí. Na měkké poddajné podložce se pneumatika vzhledem k menší únosnosti půdy zaboří (vzniká erozní rýha), oproti stejnému typu pneumatiky se stejným zatížením na tvrdé nepoddajné podložce (jako je např. beton či asfalt), kde je styčná plocha pneumatiky menší. (Neruda a kol., 2013 b) Okamžitá velikost styčné plochy je ovlivňována i dynamikou stroje, jeho pojezdem a záběrem kol (Grečenko, 1963).

3.1.2 Měrný tlak

Měrný tlak se mění v závislosti na podmínkách tvrdosti podložky. Dále je odlišný u stojícího a pohybujícího se kola lesní mechanizace. Dosedací plocha u stojícího kola je přibližně ve tvaru elipsy a měrný tlak je symetrický podél její delší osy. U pohybujícího se kola na tvrdé podložce se přesouvá měrný tlak kupředu před osu kola. Při pohybu na měkké podložce nastává větší asymetrie měrných tlaků pod kolem. U stojícího kola vzniká statický tlak, u pohybujícího se kola tlak dynamický. (Neruda a Simanov, 2006)

Tlaky v půdě způsobené pojezdem vyvážecí techniky s pneumatikami se šíří do určité hloubky a vzdálenosti od osy pneumatiky. Hloubku šíření tlaku můžeme snížit použitím širších pneumatik, dojde však k navýšení šíření tlaku do šířky. (Neruda a kol., 2013 a)

Použití stroje v únosném i méně únosném terénu má vlivem tlaku v dosedací ploše za následek deformaci zeminy (stlačování). V méně únosném terénu dochází k vytlačování zeminy do stran, díky tomu vznikají koleje. Hloubka kolejí, plasticita a elasticita půdy mají vliv na jízdní vlastnosti stroje. Na porušení povrchu a kořenového systému má vliv rychlost stroje, neboť zemina na svoji deformaci potřebuje určitý čas. Platí, že pomalejší rychlost stroje deformuje půdu podstatně více. Velikost dosedací plochy závisí na konstrukci pneumatiky, profilu dezénu a hlavně na tlaku v pneumatikách (snížením tlaku se dosáhne podstatně větší dosedací plochy). Tlak huštění u nízkotlakých pneumatik se pohybuje ve výši min. 100 kPa, protože při nižším tlaku by docházelo

k mechanickému poškození pláště. Při takové hodnotě huštění pneumatik na lesních strojích dosahuje měrný tlak v půdě hodnoty 100-280 kPa. Ten postačuje ke změnám struktury půdy, kdy v její horní části dochází k rozmělnění půdy vlivem lamel pneumatik.(Neruda a kol., 2013 a)

Podle Nerudy a kol. (2013 a) by práce na zamokřených stanovištích i s použitím nízkotlakých pneumatik měla být omezena na minimum a všeobecně by měla být omezena jízda po jedné dráze v zájmu snížení rizika vzniku kolejí (stopy). Maximální hranice pro hloubku kolejí vytvořenou vyvážecím strojem je 15 cm. Vznik kolejí má negativní účinek na transportní půdní erozi. Pro minimalizaci se doporučuje na vyvážecí linky pokládat klest ve vrstvě min. 40 cm. Příklady měrných tlaků a jejich zdroje jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Zdroje měrného tlaku

Zdroj měrného tlaku	Měrný tlak [Bar]
Lidská noha	0,50
Kopyto koně	1,40
Standardní pneu traktoru	1-4
Nízkotlaké pneu traktoru	0,7-3
Pásový traktor	0,3-1

3.1.3 Plasticita a elasticita půdy

Lesní půdy dělíme na elastické a plastické. Elastické půdy se po přejezdu vrací do původního stavu, zatímco plastické půdy zůstávají stlačené. Na elastické půdě je plocha nesoucí kolo až dvojnásobná oproti ploše na plastické půdě. Vrstva půdy, kde se vyskytují kořeny pokryté humusovým materiálem, se chová jako elastická. Po porušení horní vrstvy půdy se začne půdní povrch chovat jako plastický a kolový prostředek začne vytvářet s přibývajícímí pojezdy hlubší a hlubší koleje. Vliv na únosnost půdy má hustota a četnost prokořenění, v bukovém porostu není povrchové prokořenění tak četné a vlivem kolového prostředku vznikají hlubší koleje než ve smrkovém porostu, kde je prokořenění vrchní části půdy hojně. Zvýšení únosnosti půdy a snížení tlaku na půdní povrch můžeme dosáhnout pokrytím linky kobercem z klestu. Účinně rozkládá tlak na půdu a výrazně chrání povrchové kořeny a kořenové náběhy. Koberec by měl být vysoký minimálně 35 cm tak, aby po jeho stlačení byla vrstva nahromaděného klestu 15 cm. Ale i v menší

vrstvě má klest na lince význam. Zabraňuje tak přímému styku vrchní části půdy s dezénem pneumatiky. Pokládky klestu na linku se provádí kácením stromu na linku, přiblížením pokáceného stromu na linku a jeho následným odvětvením nebo případně navážením klestu na vyvážecí linku. (Neruda a kol., 2013 a)

3.2 Terénní klasifikace

Od roku 1980 je užívaná patnáctistupňová terénní klasifikace (Tab. 2) sdružující terénní typy na základě příbuznosti do pěti terénních skupin (A, B, C, D, E). Tato terénní klasifikace má charakteristiku v technologické typizaci.

Za hranici mezi únosným a neúnosným terénem je považován tlak 50 kPa. Což je tlak, který vyvolává člověk při klasické chůzi. Terénní překážky znemožňující hladký průjezd strojů: nerovnosti terénu, balvany, pařezy, prohlubně, jejichž výška je větší než 50 cm a jejich vzájemná vzdálenost je menší než 5 m. Pokud jsou od sebe vzdáleny více jak 5 m, nejsou považovány za překážku. Vzdálenost 5 m je dostatečná pro potřeby strojů překážku objet. Překážky, které dokáže univerzální kolový traktor (UKT) překonat, aniž by je musel objíždět, mohou být vysoké maximálně 30 cm. Speciální lesní kolový traktor (SLKT) má průjezdnost vyšší, a to 0,5 m. Sklonových kategorií je pět. První kategorie má sklon do 8 %, díky kterým mají stroje možnost pohybu jakýmkoliv směrem a volně ložené dříví je stabilní i na sněhu. Od sklonu 9 % - 15 % je pohyb stroje omezen pouze na pohyb kolmo na vrstevnici. Od sklonu 15 % je umožněn pohyb stroje jen ze svahu dolů, sklon 25 % je horní hranicí pohybu UKT, u SLKT je horní hranice 40 %. Vyšší svah je určen pro lanovou dopravní dráhu. (Neruda a kol., 2013 a) Únosnost půdy závisí na druhu půdy, příklad některých druhů půd je uveden v Tab. 3.

Tab. 2 Terénní klasifikace Lesprojektu (1980)

Sklon terénu (%)		únosné terény		neúnosné terény		terény s překážkami	
		typ	Skupina	typ	skupina	typ	skupina
1	do 8 %	11	A	21	D	31	E
2	9 – 15 %	12		22		32	
3	16 – 25 %	13		23		33	
4	26 – 40 %	14	B	24	34		
5	nad 40 %	15	C	25	35		

Tab. 3 Únosnost půdy ve vztahu s druhem půdy

Druh půdy	Únosnost půdy [Bar]
Bažina	0,2
Suchý písek	2
Vlhký písek	4
Štěrkovitá půda	5
Vlhký jíl	1
Suchý jíl	4
Skalnatý podklad	25
Uježděný sníh	9

3.3 Technické parametry strojů ve vztahu ke snižování vlivu lesní techniky na půdní povrch

Riziko poškození půdy se zvyšuje s velkou hmotností vyvážecího traktoru, vysokým tlakem v pneumatikách a úzkou šířkou pneumatiky. Únosnost půdy je nejmenší na půdách s jemnou strukturou půdy (tj. vysokým obsahem jílových částic) a s vysokým obsahem vody, jakož i na strmých svazích. (Editorial office waldwissen.net – LWF, 2015)

Sakai et al. (2008) srovnávali velikost zhutnění půdního povrchu pojezdem osmikolového vyvážecího traktoru s nízkotlakými, vysokotlakými pneumatikami a kolopásky. Dle výsledků autorů způsobily vysokotlaké pneumatiky v porovnání s nízkotlakými těžké zhutnění v hlubších vrstvách půdy. Při použití kolopásů bylo zhutnění menší a sahalo do nižší hloubky půdního profilu.

3.3.1 Šířka pneumatiky

Zhutnění půdy lze omezit a významně snížit použitím větších rozměrů pneumatik a tím tak docílením větší styčné plochy stroje. Ačkoli větší pneumatiky mohou snížit zhutnění půdy a vytvoření kolejí ve vlhké půdě, omezuje se jejich použitelnost vzhledem k šířce vývozních linek. (Greene, 1985) Podle Koger a kol. (1984) snížení pojezdu má

větší vliv na zhutnění půdy než rozměr pneumatik. Výsledky další studie Kogera a kol. (1985) ukázaly, že zhutnění půdy se sníží zvětšováním velikostí pneumatik.

Širší pneumatiky mají příznivý účinek na snížení okamžitých tlaků v půdě, jelikož oblast s nejvyšší zátěží (leží přímo pod nábojem kola) je rozložena po větší ploše. Nicméně, kontaktní plocha se zvýší pouze o deset procent, navýší-li se šířka pneumatiky o třicet procent. (Editorial office waldwissen.net–LWF, 2015)

3.3.2 Huštění pneumatik

Vysoký tlak v pneumatikách způsobil těžké zhutnění v hlubších vrstvách půdního profilu. Ke zhutnění půdy došlo během časných přejezdů vyvážecího traktoru po 8 přejezdech. Zvýšení styčné plochy vyvážecího traktoru s půdním povrchem způsobilo pokles o 5,7 % pórovitosti půdy v hloubce 10-15 cm po 24 pojezdech. (Sakai, 2008) Snížením tlaku v pneumatikách dosáhneme podstatného zvětšení styčné plochy pneumatik s půdou. Například s poklesem o dva bary na pneumatiku se může zvýšit až o sedmdesát procent plocha kontaktu s půdou. (Editorial office waldwissen.net–LWF, 2015) Ke stejnému závěru došel i Eliasson (2015), snížením tlaku v pneumatikách snížíme zhutnění půdy.

3.3.3 Použití kolopásů

Firma Eco-track (2016), která vyrábí kolopásy, uvádí o svých produktech, že významně snižují valivý odpor. Nová generace kolopásů, která je rozšířena o větší množství příčníků, vyvolává ještě menší tlak na půdní povrch, snižuje jeho poškození a zvyšuje nosnost vyvážecího traktoru. Neruda a kol. (2015) v závěrečné zprávě uvádí, že okamžité tlaky vyvozované kolopásovým podvozkem byly v porovnání s kolovým podvozkem v celém průběhu měřených hodnot průměrně o 14 % nižší.

3.4 Technologický postup

3.4.1 Použití těžebních zbytků do jízdní stopy vyvážecího traktoru

Pokládka koberce z klestu rozkládá tlak na půdu a chrání i její povrch, povrchové kořeny a kořenové náběhy před mechanickým poškozením. Vytváří se kácením na linku, odvětčováním hářvestorem nad linkou nebo pokládkou těžebních zbytků vyvážecím

traktorem. Výška koberce by měla být minimálně 15 cm po stlačení. Ale i menší vrstva působí příznivě, jelikož chrání povrchové kořeny před přímým stykem s pojezdovým ústrojím a chrání je tak před mechanickým poškozením. (Neruda a kol., 2013 a) Vrstva potěžebních zbytků ve stopě šestikolového vyvážecího traktoru redukovala vyvozované okamžité tlaky na obou jeho nápravách o více jak třetinu. (Zemánek a kol., 2015) Na lokalitách zcela neúnosných nebo s absencí potěžebních zbytků je možno použít ochranné mobilní rohože. Rohože můžou být vyrobeny z mnoha materiálů, jako jsou plastové vodovodní trubky, vyřazené pneumatiky nákladních vozidel. Lze použít na výrobu i palivové výřezy o délce 1,2 m propojené lanem, které vytváří poté jednu zpevněnou kolej vyvážecí linky. (Neruda a kol., 2013 b) Gerasimov a Katarov (2010) studovali vliv kolopásů a vrstvy těžebních zbytků na tvorbu kolejí a zhutnění půdního povrchu při pojezdech vyvážecích traktorů s užitečnou nosností 13 a 14 tun na naplavených hlinitých půdách. Použití vrstvy těžebních zbytků omezovalo zhutnění půdního profilu a tvorbu kolejí po každém přejezdu vyvážecího traktoru. Vrstva těžebních zbytků měla dle autorů větší vliv na omezení tvorby kolejí než na zhutnění půdy. Při použití kolopásů a zároveň vrstvy těžebních zbytků nebyly zjištěny v porovnání s použitím pouze samotných kolopásů zásadní rozdíly ve zhutnění půdních profilů.

3.4.2 Snížení nákladu

Ampoorter a kol. (2012) ve svém článku uvádí, že velký vliv na zhutnění půdy má hmotnost stroje. Dále uvádí, že hmotnost stroje má větší vliv na zhutnění půdy nežli samotný počet přejezdů. Editorial office waldwissen.net–LWF (2015) nabádá, že je lepší používat menší stroje s menší nosností, které nevyvozují na půdní povrch tak vysoké okamžité tlaky. Snížením nákladu snížíme negativní působení vyvážecího traktoru na půdní prostředí. (Emily, 2011)

3.5 Podvozky vyvážecích traktorů

Pohyb strojů v lesním hospodářství zajišťuje pojezdové ústrojí nejčastěji opatřené koly, kolopásky, popřípadě pásy. Ve složitých terénních podmínkách se může použít stroj s kráčivým podvozkem, který vychází z konstrukce kráčivých rýpadel. Byl vytvořen prototyp šestinožného kráčivého podvozku na hářvestoru, ten se v praxi ale neosvědčil.

3.5.1 Kolové

Kolový podvozek je jeden z nejběžněji užívaných, a to díky největší mobilitě oproti jiným podvozkům. Stroj se přesunuje i na větší vzdálenosti (max. 30 km) po vlastní ose, stroje s jiným podvozkem se musí převážet na podvalnících. (Neruda a kol., 2013 a)

V porovnání s pásovým podvozkem nemůže dosáhnout kolový podvozek tak nízkých hodnot měrných tlaků a tak vysokých trakčních sil. U pohybu v neúnosném terénu dochází vlivem tlaku k plastickým deformacím půdy. (Ulrich, 2006)

Podvozek se většinou skládá ze dvou částí spojených zlamovacím kloubem, jehož pohyb je zabezpečen dvěma hydromotory. Maximální zlamovací úhel podvozku při řízení je 45°. Pohyb kloubu se dá zablokovat a tím tak získat větší celkovou stabilitu stroje, což je důležité při manipulaci s hydraulickým jeřábem.

Podvozky dělíme podle počtu kol. Čtyřkolové podvozky jsou osazeny dvěma pevnými nápravami nebo dvěma výkyvnými nápravami, šestikolové podvozky jsou v přední části stroje osazeny bogie (tandemovou) nápravou a v zadní části stroje pevnou nápravou, osmikolové podvozky jsou osazeny jak v přední, tak i v zadní části stroje bogie nápravou. Bogie náprava zajišťuje větší stabilitu stroje při překonávání překážek, snižuje tlak na půdní povrch, zajišťuje větší komfort operátorovi, protože eliminuje náklony kabiny. Bogie náprava umožňuje v obtížnějším terénu plynulejší průjezdnost stroje jak v příčném, tak i v podélném směru. Nižšího tlaku na půdu lze dosáhnout navýšením počtu kol, zvětšením jejich rozměrů či změnou typu pneumatik. V případě pneumatik můžeme podobného efektu dosáhnout jednoduše snížením jejich tlaku. Pneumatika by měla být poddajnější než půda. (Neruda a kol., 2013 b)

Firma Ponsse (2016) má na trhu desetikolový vyvážecí traktor. Ten byl zkonstruován pro zvětšení styčné plochy s půdním povrchem a tím umožnění pohybu po náročné bažinaté půdě. Vyvážecí traktor byl navrhnut tak, aby váha naloženého stroje byla rovnoměrně rozložena mezi předním a zadním rámem.

Společnost Elforest (2014) vyrobila a dále testuje vyvážecí traktory a hářvestory s hybridním hydrostaticko–mechanickým pohonem s elektromotory v kolech. Hlavními výhodami tohoto řešení je rychlost a plynulost práce stroje, nižší spotřeba paliva, nižší

otáčky motoru, což šetří jeho životnost, a nižší emise. Jako první tento prototyp testovala značka Ponsse (Segerstedt, 2015) K velkým výhodám tohoto systému pohonu patří i regulace otáček každého z hnacích kol, což umožňuje stroji plynulejší a rychlejší průjezd náročným terénem bez velkého porušení půdního horizontu (Neruda a kol., 2013 a).

Firma Rottne (2013) má na trhu vyvážecí traktor s natáčecí nápravou. Ta umožňuje stroji větší úhel zatačení v lesním porostu. Úhel zatačení stroje se díky této technologii změnil z 43° na 54°, což činí z vyvážecího traktoru s nosností 9 t všestranný vyvážecí traktor s velkou kapacitou do probírkových i mýtních porostů. Zvýšení úhlu natáčení snížilo vnitřní poloměr zatačení o cca 1 m. Zadní natáčecí náprava osmikolového vyvážecího traktoru umožňuje, aby všechna kola jela v jedné stopě. Vyvážecí traktor se tak stává snadněji ovladatelným, a to dokonce i při couvání do porostu. Díky lepší ovladatelnosti a manévrovatelnosti stroje, nedochází v takové míře k poškozování stromů a vybočování vyvážecího stroje z vývozní linky.

Kolové hářvestory nebo vyvážecí traktory mohou být vybaveny mnoha druhy pneumatik radiální i diagonální konstrukce, které jsou popsány níže. Dále je dělíme na zemědělské a lesnické, které mají pro práci v náročných lesních podmínkách speciálně vyztuženou konstrukci. Zemědělské pneumatiky se dají při práci v lese používat, ale jen se zvýšeným rizikem defektu. Podle dezénu pneumatiky je rozlišujeme na tzv. TRS (Obr. 1) a ELS (Obr. 2) pneumatiky. Vzorek TRS pneumatiky (šípový vzor) v porovnání se vzorkem ELS pneumatiky (lomené lamely) více poškozují půdní povrch při prokluzu, ale zároveň lépe přenáší trakční sílu kola. Při jízdě na tvrdém podkladu se vzorek TRS pneumatiky více opotřebovává. (Neruda a kol., 2013 a, b)



Obr. 1 TRS pneumatika (Obchodpneu.cz, 2016)



Obr. 2 ELS pneumatika (Obchodpneu.cz, 2016)

Pro jízdu s protiskluznými řetězy musíme dodržovat předepsané huštění pneumatiky a kontrolovat správné napnutí řetězu. Při nedokonalém napnutí řetězu může dojít k poškození pneumatiky a tím snížení její životnosti (Neruda a kol., 2013 a, b).

3.5.1.1 Kolopásky

Kolopásky se dají použít jak u bogie nápravy, tak i pevné nápravy a to pouhým nasazením žebříkovitého pásu. Zvyšuje nejen průchodnost stroje terénem, ale i trakci a stoupavé vlastnosti stroje. Díky širokým plátům rozloží stroj svoji váhu na větší plochu a snižuje tak tlak na půdu. Což umožňuje použití stroje v zamokřených a kamenitých lokalitách. (Reparoservis spol. s r. o., 2014).

Firma Eco-tracks (2016) nabízí různé provedení pásů do různých terénních podmínek, jako jsou rašeliny, bláto, sníh. Zaručují šetrný styk s půdním povrchem a minimalizaci poškození kořenů. Firma vyrábí i pásy, které se mohou pohybovat po zpevněných lesních cestách, bez použití mobilních rohoží.

Pohyb po lesních cestách nebo jen přejezd přes cestu je při nasazení kolopásů vyloučen, z důvodu rozbití a deformace vozovky. Při přejezdu přes cestu se musí buď kolopásky sundat, položit na vozovku vrstvu těžebních zbytků nebo položit mobilní ochranné rohože.

3.5.1.2 Nízkotlaké pneumatiky

Kolové podvozky používají nízkotlaké pneumatiky, které se vyznačují svojí šířkou od 400 mm. Tyto pneumatiky mají přibližně o 30 % větší dotykovou plochu, a tím pádem přenášejí lépe trakční sílu kol na půdu. Nízkotlaké pneumatiky jsou náchylnější na boční průraz a případné poškození díky tlaku, který může být již od 0,6 až 0,8 baru. V praxi jsou používány pneumatiky s tlakem 2–2,5 baru. Nízkotlaké pneumatiky mají vyšší valivý odpor, lepší přenos trakční síly, vyvolávají nižší tlak na půdu a vzniká mnohem menší opotřebení (větší životnost pneumatiky) oproti normálním pneumatikám, ale jsou mnohem dražší a jejich riziko poškození je při nižším tlaku huštění velmi vysoké. (Bartoš, 2009) Neruda a kol., (2013) uvádí, že huštění nízkotlakých pneumatik může klesnout i pod 0,6 baru. Díky těmto pneumatikám se zvýší příčná stabilita stroje a jízdní komfort obsluhy díky lepšímu odpružení.

3.5.1.3 Radiální pneumatika

V radiální konstrukci pneumatiky se nachází sudý či lichý počet kordových vložek, jejichž vlákna jsou uložena radiálně na osu otáčení. Materiál kordových vložek

tvoří nejčastěji textilní či ocelové matrice obalené v pryžovém obalu a navulkanizované v gumovém těle pneumatiky. Kostra pracuje v největší součinnosti s nárazníkem pneumatiky, který je podobné konstrukce, ale jeho vlákna jsou uložena pod jiným úhlem (18-20°), a díky němu je pneumatika schopna snášet všechna zatížení také v obvodovém směru. V dnešní době patří radiální konstrukce k nejpoužívanějšímu typu a ve značení pneumatiky jí náleží písmeno R. Pneumatika umožňuje dosáhnout větší efektivity přenosu hnací síly na vozovku. (Vystavil, 2013)

3.5.1.4 Diagonální pneumatika

Kostra pláště diagonální konstrukce pneumatiky je tvořena několika vrstvami kordových vložek, jejichž směry vláken se vzájemně kříží a ubíhají šikmo od patky k patce. Absence dalších komponentů kostry má za efekt poddajnou běhounovou část a tužší bočnici. Nevýhodou diagonální kostry je velké smykové tření vznikající za provozu mezi kordovými vložkami. Třecí síly vytvářejí teplo, které negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti pneumatiky a snižuje životnost. Za velkou výhodu použití této konstrukce v lesnictví a zemědělství můžeme označit odolnost proti proražení, nižší deformaci bočnice a menší pořizovací náklady oproti radiálnímu typu pneumatiky. (Vystavil, 2013)

3.5.2 Pásové

Hlavním důvodem, proč byly vytvořeny pásové podvozky, byla malá průchodnost kolových strojů. Vlivem pásového podvozku přeneseme účinněji výkon traktoru na půdu a zároveň eliminujeme účinky vyšší hmotnosti na půdu. Pásky jsou vyrobeny z pryže a mají šířku od 400 mm. Velká plocha pásů snižuje tlak na půdu. Podle Ulricha (2006) všechny síly působící na pásový podvozek mají stejnou fyzikální podstatu jako u kolového podvozku. Pásový podvozek je oproti kolovému složitější a náročnější na údržbu.

3.5.3 Kráčivý podvozek

Tyto podvozky se používají ve složitých terénních podmínkách, jako jsou třeba příkré svahy, nebo při čištění říčních koryt. Podvozky vycházejí z konstrukce kráčivých stavebních rýpadel. Byl vyroben prototyp stroje na speciálním šestinožém podvozku, který se pro použití v lesnictví nijak neosvědčil. Podvozek vycházející z konstrukce

kráčivých rýpadel má čtyři ramena, která jsou na sobě horizontálně a vertikálně nezávislá a tím zajišťují stabilitu v členitém terénu. Pohyb stroje je zajištěn díky dvěma kolům umístěným na ramenech a je uskutečňován hydraulickým ramenem, kdy se stroj přitahuje nebo odtlačuje k pracovní části stroje, na kterém je umístěna opěrná botka. (Neruda a kol., 2013 b)

Podvozky jsou opatřeny šesti hydraulicky poháněnými a elektronicky řízenými nohami, které jsou rozmístěny po obou stranách stroje po třech. Každá ze šesti noh stroje je elektronicky propojena se všemi ostatními nohami, takže síla vyvozovaná strojem na půdní povrch pod každou nohou se kontroluje kontinuálně a zároveň přerozděluje podle okamžitého stavu. (Lukač, 2005) Konstrukce umožňuje pohyb vpřed, vzad, do boku i možnost otáčení na místě. Stroj stojí v každém okamžiku na čtyřech protilehlých nohách, čímž je zajištěna jeho stabilita. Kráčivé bagrové podvozky jsou výborné z hlediska průchodnosti terénem, protože nevytváří žádné koleje v půdě.

3.6 Vliv pojezdu na půdu

Kořenový systém pod porostem smrku ztepilého je jen několik málo centimetrů (8–20cm) pod povrchem půdy. V tomto prostoru dochází k pohybu vody, výměně iontů a výměně plynů s atmosférou. K pohybu těchto látek dochází pomocí pórů, které jsou v půdním prostředí. Deformací půdy pojezdem těžké lesní techniky je v první řadě ovlivněno provzdušnění půdy a tím i růst a rozmístění kořenů. Jestliže je porušena výměna plynů deformací půdy, zvyšuje se vzdušný obsah CO₂ v půdě. Tím je ovlivněna aktivita půdních organismů, které jsou závislé na vlhkosti půdy a její struktuře, taktéž i příjmu energeticky důležitých živin pro růst kořenového systému. (Wilpert, 1998) Struktura půdy se v přírodních podmínkách za normálních okolností vrací do původního stavu až za několik let, udává se 10–5 let i více (Neruda a kol., 2013 a). Gebauer a Martínková uvádějí dokonce 10 let regenerace od zhutnění. (Neruda a kol., 2008)

Pro zvýšení eliminace škod na půdě existují různé typy kolopásů, například kolopásy Eco-Track, které jsou univerzální, s kladným účinkem na půdu s obsahem skeletu a do svažitého terénu. Při použití těchto pásů na méně únosných půdách dochází k nařezávání humusové vrstvy půdy a k narušování soudržnosti s kořenovým systémem, čímž se projevuje jejich negativní dopad. (Vavříček, 2008)

3.6.1 Zhutnění půdy

Zhutnění půdy vznikající opakovaným průjezdem těžebně dopravních strojů má negativní produkční i vodohospodářské následky. Při opakovaných průjezdech v jedné stopě dochází v závislosti na vlhkosti půdy především k postupnému vytlačování půdy na okraje stopy a půda ve středu stopy se zahlubí o 15–50 cm v závislosti na vlhkosti půdy (Vavříček, 2008).

Velikost zhutnění půdy, jež vzniká pod koly strojů, je přímo úměrná tlaku huštění pneumatiky, dále je závislá na tlaku na půdu, okamžité vlhkosti půdy, zrnitosti, podílu skeletu v půdním profilu, velikosti humusové vrstvy, případně nahromaděného klestu. Při opakovaném přejezdu v jedné stopě dochází ke zhutnění půdy a vzniku kolejí. Koleje mají negativní vliv na vodní režim půdy, svádějí povrchovou vodu a tím tak napomáhají vzniku erozních rýh. Čím je kolej hlubší, užší, delší, tím je negativní účinek větší pro širší území. V některých zemích je hloubka koleje prokazatelným měřítkem šetrnosti transportu dříví. K největšímu zhutňování půdy dochází po prvním přejezdu stroje a stoupá až k pátému přejezdu, poté se objemová hmotnost půdy už nijak významně nemění. Ke zmírnění zhutňování půdy se doporučuje nepoužívat každou jednu linku více než pětkrát a volit menší náklady dříví. Pokud víme, že linku budeme používat méně než pětkrát, snažíme se naložit na odvozní prostředek co nejvíce dřevní hmoty a tím tak popřípadě jednu jízdu ušetřit. Nejlepším řešením je naplánovat si soustředování dříví na období sucha nebo zámruzu.

3.6.2 Vliv zhutnění na pórovitost

Vedle půdní struktury je pórovitost hlavní faktor prostorového uspořádání půdy. Póry jsou v půdě mezi půdními částicemi a mezi strukturními prvky. Máme čtyři druhy pórovitosti: kapilární, semikapilární, nekapilární a makropóry. Kapilární póry nejsou vázány na směr působení zemské gravitace a voda se v nich pohybuje všesměrně. Voda v těchto pórech je pro rostliny nedostupná. Tyto póry se nachází většinou v jílovitých půdách. Střední póry vznikají v důsledku růstu kořenového vlášení, a tudíž voda, která se v pórech nachází, je pro rostliny dostupná. Nekapilární póry vznikají v důsledku růstu jemných kořenů a pohybu drobné mezofauny. Voda, která se v nekapilárních pórech nachází, se nazývá gravitační voda a je závislá na soustavném zdroji. Makropóry vznikají

jako pukliny v půdě nebo při pohybu žízal, představují tak koncentrovaný tok vody. (Vavříček a Kučera, 2015)

Vlivem zhutnění půdy pojezdem se mění celková pórovitost a množství pórů klesá. (Neruda a kol., 2008) Pojezdem těžké lesní techniky se ničí vnitřní struktura půdy, což má za následek úbytek pórů v půdním prostředí. Tato změna způsobuje nižší dostupnost vody pro rostliny. (Vavříček a Kučera, 2015)

Pórovitost se pohybuje přibližně mezi 40–60 % s tím, že vyšší je v půdách s jemnozrnější texturou (jílovité půdy cca 55 %, hlinité půdy cca 50 %, písek cca 40 %). (Vavříček a Kučera, 2015) Kritická hodnota pro pórovitost v půdním prostředí je 10 % podle Grabla a Siemera (1968).

3.6.3 Vliv zhutnění na výměnu CO₂

Jestliže výměna plynů je deformací půdy porušena, zvyšuje se vzdušný obsah CO₂ v půdě, a tento se vyrovnává s atmosférickým vzduchem. V tomto případě nedochází k poruše biologické aktivity. V případě, že je výměna plynů značně omezená, dochází ke špatnému odstranění, či vyrovnání CO₂. (Wilpert, 1998) Akumulace plynů má za následek zastavení růstu jemných kořenů a nastává následné odumírání. Se snižující se vodní kapacitou dochází ke snížení absorpční plochy kořenového systému a odumírání jednotlivých stromů. Při přerušení pórů začnou vznikat hnilobné a kvasné procesy díky absenci kyslíku v půdě. Tyto procesy působí toxicky na rostliny a dochází ke změně životních cyklů v půdě. (Malík a Dvořák, 2007)

3.6.4 Poškození nadzemní části stromů

Mechanické poranění stromů vzniká nejčastěji hydraulickým jeřábem hárvestoru nebo vyvážecího traktoru, hárvestorovou hlavicí, pádem stromu, manipulací s uřezaným stromem a také neopatrnou jízdou stroje. (Bartoš, 2009) Podle Vavříčka a kol. (2014) se považují za škody na stojících stromech všechna odloupnutí kůry na jakékoliv části kmene, kořene a kořenových náběžích.

Neruda a kol. uvádí (2013 a), že linky jsou nedostatečně široké, což má za následek poškození kořenových náběhů. Podle rozměrů stroje a daného terénu by měly být široké 4,0–4,5 m. Hlavní roli hraje zkušenost operátora. Při přejezdu překážky dochází

k náklonu stroje a díky nepozornosti a nezkušenosti operátora dochází k odírání stromů klanicemi.

Poškozená místa by se měla co nejdříve ošetřovat přípravkem fytohormonálního charakteru, který přispívá k rychlému zacelení poškozených částí. Aplikaci přípravku je vhodné provést do dvou hodin od doby poranění, pozdější ošetření nezaručí ochranu před patogeny. Poraněné neošetřené stromy se vystavují infekci houbovými patogeny, u smrku ztepilého je to především pevník krvavějící (*Stereum sanguinolentum*) nebo václavka smrková (*Armillaria ostoyae*). Tyto a další hniloby představují v mýtním věku výraznou finanční újmu v důsledku hniloby. (Vavříček a spol., 2014)

Heij a Leek (1981) uvádějí, že při soustředování celých stromů bylo v porostech poškozeno 25 % stojících stromů, při metodě kmenové se poškození stromů zmenšilo na 22 %. Neruda a kol. (2013 a) uvádí, že v porostu, kde byla použita sortimentní metoda, bylo zaznamenáno 5 % poškození stojících stromů.

3.6.5 Poškození kořenového systému

Kořenový systém smrku ztepilého je cca. 10-30 cm pod půdním povrchem (Neruda a kol. 2013a). Jakékoli narušení funkce kořenového systému se projeví změnou zdravotního stavu rostliny. Navenek se pak poškození kořenů projevuje souborem symptomů, které jsou označovány jako chřadnutí. Často nebývají ani s narušením funkce kořenů spojovány. (Jankovský, 2000)

Poškozením kořenů může být přetržení, přelomení nebo odřetí způsobené pojezdem lesní techniky po půdním povrchu. Úplné přerušení kořenů může mít za následek zastavení transpiračního proudu živin a tím je ohrožena existence poškozeného stromu. (Neruda a kol., 2013 a) Neruda a kol. (2008) uvádí, že nejvíce je poškozováno kořenové vlášení stromů, které je uloženo pod půdním povrchem.

4 Metodika

4.1 Popis stanovišť pro měření

Měření probíhalo na pozemcích Lesů ČR s. p. na lesní správě Ruda nad Moravou, revír Brníčko. Katastrální území měřených lokalit spadá pod obecní úřad Rohle. Porosty v době měření byly smrkové monokultury s příměsí dubu do 5%. Sklon svahu se pohyboval od 0 do 5°.

4.1.1 Stanoviště č. 1.

Měření a stanoviště č.1 se nacházelo v porostu 125B8.

Půdní typ: Kambizem arenická



Obr. 3 půdní typ kambizem arenická

0-4 cm Hor. L - tvořen relativně čerstvým opadem listí (buku)

4-9 cm Hor F – hnědá drť tlejícího listí s prudkým přechodem do horizontu Ah, mírně vlhká, bez skeletu, velmi slabě prokořeněná bukovým porostem

9-14 cm Hor. Ah- tmavě hnědá písčité půda, kyprá, mírně vlhká, slabě skeletnatá, skelet ve formě hrubého písku, slabě prokořeněná, přechod do hor.Bv vlnitý

14-83 cm Hor. Bv - rezivý, kyprý, mírně vlhký, písčité, středně

místo silně prokořeněný horizont, skelet ve formě hrubého písku, půda mírně vlhká, přechod vlnitý, místy až kapsovitý dospodu

83- 106 cm Hor. Cr/R – rezivá barva, půda mírně vlhká, písčítá s velkým podílem skeletu (95%) ve formě celistvé horniny, která je velmi tvrdá, rozpadá se pouze po silném úderu motyky, prokořenění je velmi slabé

4.1.2 Stanoviště č. 2.

Měření a stanoviště č. 2 se nacházelo v porostu 127A8.

Půdní typ: Kambizem dystická



Obr. 4 Půdní typ kambizem dystická

0 -5 cm Hor. L tvořen relativně čerstvým opadem jehličí

5-10 cm Hor. F – dř' tlejícího jehličí slabě prokořeněná, vlhká

10-70 cm Hor. Ah – hnědá půda spíše jílovité struktury, kyprá, mírně vlhká, bez skeletu, silně prokořeněná, přechod do hor. Bv vlnitý pozvolný

70-91 cm Hor. Bv – zemina šedne, mírně vlhká, slabě skeletnatá ve formě hrubého písku, slabě prokořeněná, přechod do hor. B/C vlnitý

91-101 cm Hor B/C - objevují se rezivé skvrny, půda mírně vlhká, přechod na matečnou horninu, která je velmi tvrdá a nedá se ukopnout ani motykou

4.2 Použité vyvážecí traktory

4.2.1 John Deere 1110E



Obr. 5 John Deere 1110E (John Deere, 2016)

Osmikolový vyvážecí traktor John Deere 1110E (Obr. 5) má hmotnost prázdného stroje 17,3 t. Užitečná nosnost vyvážecího traktoru je 12 tun. Tento víceúčelový vyvážecí traktor je ideálním řešením pro rozmanité těžební úkoly od probírek až k mýtním těžbám. Stroj vyniká otočnou kabinou s vyrovnáváním polohy. Otočná kabina poskytuje jedinečný 360° výhled kolem stroje, což umožňuje operátorovi sledovat pohyby hydraulického jeřábu. Tato možnost ovlivňuje bezpečnost práce při manipulaci s nákladem. (John Deere, 2016) Stroj, který byl používán k měření okamžitých půdních tlaků měl pneumatiky značky NOKIAN 710/45 R 26,5 FOREST KING F SF 24PR TT (Obr. 6), které měly tlak v pneumatikách 3,5 baru a při snížení tlaku 2 bary. Tyto pneumatiky mají vzorek ELS, který méně poškozuje půdní povrch než pneumatiky se vzorkem TRS.



Obr. 6 Pneumatika NOKIAN (Obchodpneu.cz, 2016)

4.2.2 Novotný LVS 511



Obr. 7 Vyvážecí traktor LVS 511 (Strojírna Novotný s.r.o, 2013)

Tento vyvážecí osmikolový traktor (Obr. 7) je určen k vyvážení vytěženého materiálu především z probírek a nahodilých těžeb. Maximální nosnost stroje je 5 tun a je schopen vyvézt výřezy v délkách 2,5 m a 5 m. Šířka stroje je 1 860 mm, délka 7 750 mm a hmotnost 5 500 kg. Kabina není nijak otočitelná. (Strojírna Novotný s.r.o, 2013) Traktor, který byl k dispozici na měření, měl pneumatiky značky Mitas DT 4 Forest 400/60 R15,5 (Obr. 8). Tlak v pneumatikách, který firma běžně používá, je 3,5 baru, nejnižší možné huštění pneumatiky, které výrobce udává, je 1,3 baru. Tyto pneumatiky mají vzorek ELS, který méně poškozuje půdní povrch, na rozdíl od pneumatik TRS. Na tlaku huštění pneumatik závisí také jejich nosnost, s ubývajícím tlakem v pneumatikách klesá i nosnost pneumatik. (Mitas a.s., 2014)



Obr. 8 Pneumatika Mitas (Mitas a.s. 2014)

4.3 Vlastní měření

Měření okamžitých tlaků v půdě probíhalo na dvou shodných (půdním typem) stanovištích. Jsou zvolena dvě stanoviště z důvodu časové omezenosti přejezdu strojů. Na prvním stanovišti byl měřen osmikolový vyvážecí traktor s maximální nosností 12 t. Na tomto traktoru byly nejdříve měřeny okamžité tlaky bez nákladu, poté s nákladem (6,46 m³ smrku a 3,36 m³ modřínu, což bylo vypočteno na 7235 kg), s nákladem a upuštěním tlaku v pneumatikách na minimum udávané výrobcem (2 bary), a poté s nákladem a nahromaděním 30 cm klestu nad jízdní stopu nad sondou. Na druhém stanovišti byl měřen menší osmikolový vyvážecí traktor s maximální nosností 5 t. Ten se měřil prázdný, s nákladem (smrku 5,38 m³ = 3981 kg), s nákladem a použitím kolopásů, a poté s nákladem a nahromaděním 30 cm klestu nad jízdní pruh nad sondou. U obou strojů nebyly měřeny stejné parametry z důvodu, že stoj s nosností 12 t neměl k dispozici kolopásky. U stroje s nosností 5 t nebyly měřeny okamžité tlaky v půdě při snížení pneumatik na 2 bary z důvodu, že nebyl při měření v terénu k dispozici kompresor na jejich následné dohuštění.

Stanoviště mělo sklon do 5°. Po příchodu na stanoviště byla vybrána vhodná lokalita na umístění měřicí aparatury tak, aby vyvážecí traktor mohl jezdit rovně nad půdní sondou. Poté byla vykopána půdní sonda hluboká cca 40 cm. Ihned po vykopání musela být změřena okamžitá půdní vlhkost dostupným vlhkoměrem Delta-T HH2, v hloubce 10, 20 a 30 cm v pěti opakováních tak, aby vlivem klimatických podmínek nedošlo k oschnutí. Poté za pomoci půdního vrtáku a vrtačky byly vyvrtány vodorovné vrty v hloubce 10, 20, 30 cm. Vrty byly hluboké polovinu šířky pneumatiky měřeného traktoru, plus polovinu délky plastového tlakového válečku. Poté byl do vyvrtaných otvorů vložen tlakový váleček, připojený pomocí gumové hadice k tenzometrickému snímači, který byl následně utěsněn a sonda zahrabána, aby nedocházelo k sesuvu půdy vlivem pojezdu traktoru. Poté byla vyznačena lesnickým sprejem přesná dráha, kudy musí pneumatiky jezdit. Plastový tlakový váleček (naplněn vodou) byl připojen pomocí gumové hadice k tenzometrickému snímači, který je spojen s analogově – digitálním převodníkem signálu, který převádí analogové signály od tlakoměrných snímačů na signály digitální do notebooku s měřicím softwarem EXPERT. Frekvenční rozsah měření (vzorkovací frekvence) byl pro každý kanál nastaven na 10 vzorků/s. Byl zjištěn penetrační odpor půdy před pojezdem vyvážecího traktoru nad čidly pomocí

penetrometru Eijkelkamp v pěti opakováních. Následovalo měření, při kterém vyvážecí traktor přejížděl po dobu 3 minut po vyznačené dráze. Vyvážecí traktor se během měření pohyboval rychlostí do 5 km/hod. Po ukončení přejezdu byl zjištěn penetrační odpor půdy pomocí penetrometru v pěti opakováních. Každé měření probíhalo na nové sondě ve třech opakováních.

Styčné plochy jednotlivých pneumatik vyvážecích traktorů byly stanoveny pro dvě varianty huštění pneumatik, a to při snížení na 2 bary a při normálním tlaku 3,5 baru (tlak od výrobce v případě vyvážecího traktoru s nosností 5 t a firmy v případě vyvážecího traktoru s nosností 12 t, která tento tlak v pneumatikách běžně používá) přední a zadní nápravy a pro dvě varianty zatížení nákladového prostoru stroje (bez zatížení a se zatížením výše uváděném). Styčné plochy jednotlivých kol vyvážecího traktoru při daném huštění byly stanoveny experimentálně otiskem dezénu pneumatiky na velkoformátový list papíru na pevné podložce. Poté byly vnější hranice takto stanovených otisků zasazeny do obdélníku a plocha tohoto obdélníku byla brána jako simulace styčné plochy kola stroje s půdním povrchem v porostu.

4.3.1 Přístroje pro venkovní měření

4.3.1.1 Vlhkoměr

Okamžitá vlhkost půdy ve třech horizontech půdního profilu (10 cm, 20 cm, 30 cm) se zjišťuje přenosným půdním vlhkoměrem Thetaprobe (Obr. 9). Půdní vlhkost se okamžitě zobrazuje na digitálním displeji v %.



Obr. 9 Půdní vlhkoměr (Michal Mutina)

4.3.1.2 Měřicí souprava

Měřicí souprava (Obr. 10) se skládá z přenosného počítače s měřicím softwarem, analogově – digitálního převodníku signálu, tenzometrického snímače a tří tlakových sond, které jsou naplněny vodou. Tlakové sondy (pružné plastové nádobky), které mají tvar válce, jsou připojeny gumovou hadicí k tenzometrickému snímači, který je spojen s analogově – digitálním převodníkem signálu, který převádí analogové signály od tlakoměrných snímačů na signály digitální do notebooku s měřicím softwarem EXPERT. Naměřené hodnoty jsou v barech. Frekvenční rozsah měření (vzorkovací frekvence) byl pro každý kanál nastaven na 10 vzorků/s. Měřicí tlakové sondy jsou umístěny v půdním horizontu a působí na ně tlak shodný s tlakem v půdním prostoru. Před samotným měřením muselo být provedeno vynulování tlaku v měřicí soustavě z důvodu přesnosti měření tlaku vlivem přejezdu stroje. Celá tato aparatura musí být napojena na zdroj elektrické energie, která byla zajišťována elektrickou centrálou.



Obr. 10 Tlakoměr se třemi tlakovými sondami (Michal Mutina)

4.3.1.3 Půdní vrták

Tento vrták (Obr. 11) sloužil k přípravě otvoru pro plastovou tlakovou nádobu. Jeho průměr je shodný s průměrem měřicí nádoby tak, aby docházelo k minimalizaci soustavné chyby při měření, vlivem mezery mezi tlakovou nádobou a půdou. Hloubka vrtu byla stanovena tak, aby tlaková nádoba byla umístěna v polovině šířky pneumatiky použité na vyvážecím traktoru.



Obr. 11 Půdní vrták (Michal Mutina)

4.3.1.4 Penetrometr

Penetrometr značky Eijkelkamp (Obr. 12, 13) slouží k měření penetračních odporů v půdě. Přístroj je zcela digitální a výsledky měření jsou zaznamenávány do paměti přístroje. Před začátkem měření byl vytvořen v penetrometru soubor, kam se výsledky ukládaly, a zároveň proběhlo nastavení, jakou rychlostí bude přístroj zasouván lidskou silou do měřené půdy. Poté byl vybrán hrot, jaký na přístroji použijeme (s plochou 1 cm²). Přístroj byl zasouván do hloubky minimálně 30 cm. Výsledky byly zaznamenávány v MPa.



Obr. 12 Penetrometr (Michal Mutina)



Obr. 13 Penetrometr (Michal Mutina)

4.4 Kancelářská práce

4.4.1 Vlhkost

Byly naměřeny hodnoty okamžité vlhkosti půdy ve třech horizontech na každou sondu. Tyto hodnoty se zprůměrovaly aritmetickým průměrem a použily do přehledných tabulek v programu Excel.

4.4.2 Tlaky v půdě

Naměřené výsledky byly přepsány a zhodnoceny v programu Excel. Hodnotily se naměřené údaje zprůměrované aritmetickým průměrem na bogie nápravu z důvodu zjednodušení dat a velké podobnosti tlaků způsobované pneumatikami na jedné bogie nápravě. Naměřená data jsou prezentována v přehledných grafech a vyjadřují okamžité tlaky v půdě v hloubce 20 cm půdního horizontu, z důvodu největšího výskytu kořenového systému, vždy ve srovnání přední bogie nápravy se zadní nápravou. Grafy s naměřenými hodnotami jsou proloženy lineární spojnicí trendů, tuto funkci nabízí program Excel. Následují grafy, ve kterých jsou uvedeny naměřené hodnoty při pojezdu vpřed, které způsobovala více zatížená bogie náprava. Což znamená u nenaloženého vyvážecího traktoru přední náprava a u naloženého traktoru při jízdě po půdním povrchu, vrstvě 30 cm klestu, se sníženým tlakem pneumatik a s použitím kolopásů, zadní bogie náprava. Bylo provedeno srovnání vyvážecího traktoru John Deere 1110E (s nosností 12 t) s vyvážecím traktorem Novotný LVS 511 (s nosností 5 t) a to v jednotlivých situacích na více zatíženou nápravu.

4.4.3 Penetrační odpor půdy

Naměřené hodnoty byly z penetrometru stáhnuty do počítače, kde byly v programu PenetroViewer zpracovány a vyhodnoceny. Pro zjednodušení a hlavně zpřehlednění výsledku se naměřený penetrační odpor z pěti opakování aritmeticky zprůměroval do jedné křivky. Z naměřených hodnot v terénu byly odstraněny extrémní hodnoty vybočující od ostatních naměřených hodnot pro zpřesnění výsledků.

4.4.4 Styčné plochy pneumatik

Naměřené styčné plochy pneumatik byly dány do přehledných tabulek, dle břemene v ložném prostoru stroje a tlaku v pneumatikách. Tabulky byly zhotoveny v programu Excel.

4.4.5 Ekonomické zhodnocení ochranných opatření půdy

Od operátorů vyvážecích traktorů byly zjištěny informace o čase, který je zapotřebí k přípravě stroje, ať už ke změně tlaku v pneumatikách, nasazení kolopásů, výměně pneumatik tak i k nahromadění koberce z klestu. Informace k nahromadění koberce z klestu byla konzultována i s operátory hářvestoru. Jednotlivé časové úkony byly propočítány s průměrnou hodinovou mzdou operátorů. Bylo uvažováno i s pořízením kolopásů.

5 Výsledky

5.1 Styčné plochy vyvážecích traktorů

Tab. 4 Styčné plochy vyvážecího traktoru s nosností 5 t

	Tlak v pneumatikách	Styčná plocha stroje s půdním povrchem (přední/zadní náprava)
	[Bar]	[m ²]
Prázdný stroj	2	0,2856/0,2654
	3,5	0,1976 / 0,1786
Zatížený stroj (3 981 kg)	2	0,1631/0,5345
	3,5	0,1186 / 0,3986

Tab. 5 Styčné plochy vyvážecího traktoru s nosností 12 t

	Tlak v pneumatikách	Styčná plocha stroje s půdním povrchem (přední/zadní náprava)
	[Bar]	[m ²]
Prázdný stroj	2	0,3864/0,3563
	3,5	0,2983/0,2198
Zatížený stroj (7 235 kg)	2	0,4687/0,7568
	3,5	0,2865/0,4869

U přední i zadní nápravy vyvážecího traktoru s nosností 5 t byl rozdíl ve styčné ploše pneumatik s půdním povrchem při huštění na 2 bary a 3,5 baru cca 30 % v obou variantách měření, s nákladem a bez nákladu. Naměřené hodnoty je možno vyčíst z Tab. 12. U prázdného vyvážecího traktoru s nosností 12 t (Tab. 13), byl poměr rozdílu styčné plochy s půdním povrchem při huštění na 2 bary a 3,5 baru na přední bogie nápravě cca 30 % a na zadní bogie nápravě cca 40 %. U zatíženého stroje byl rozdíl na přední bogie nápravě cca 40 % a u zadní bogie nápravy cca 35 %. Velikost styčné plochy závisí na rozměru pneumatik, jejich huštění a hmotnosti stroje.

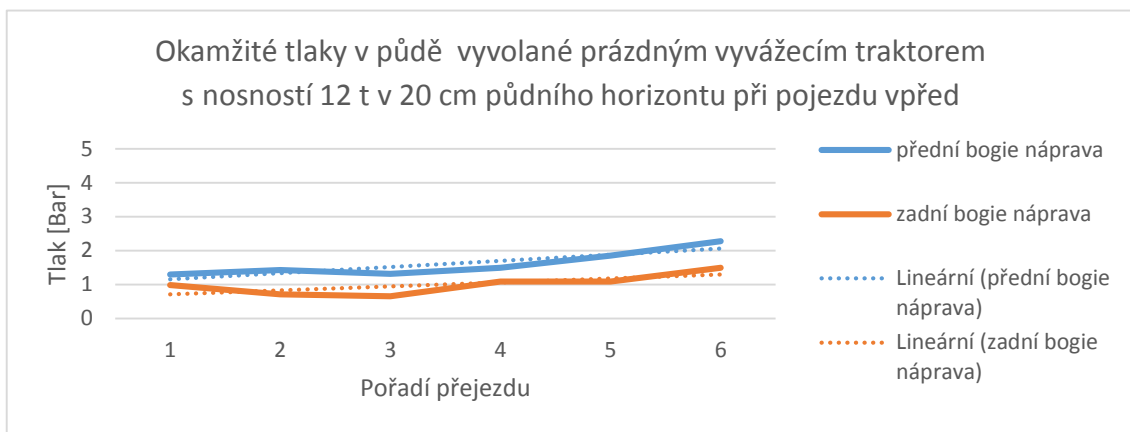
5.2 Vyvážecí traktor John Deere 1110E (s nosností 12 t)

Měření probíhalo na stanovišti č. 1, kde byl používán osmikolový vyvážecí traktor John Deere 1110E s maximální nosností 12 t.

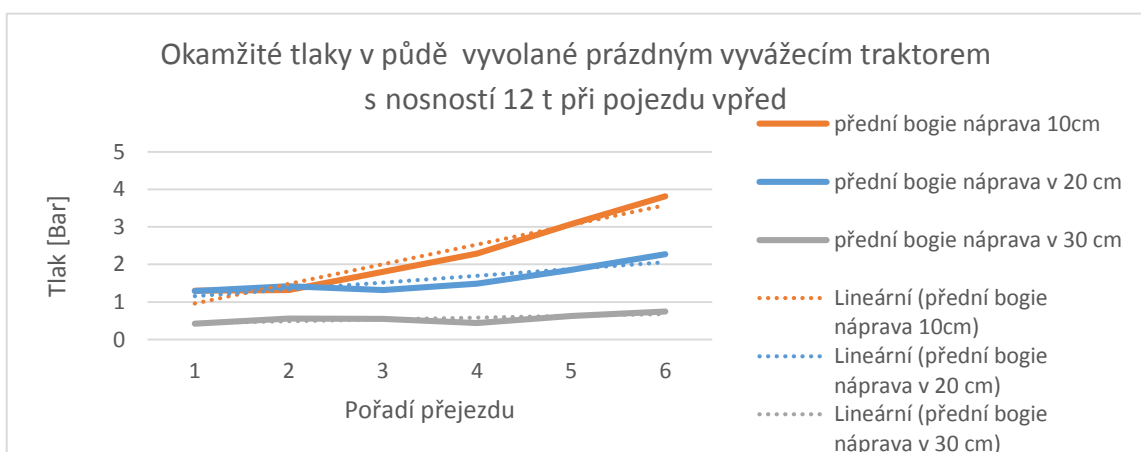
5.2.1 Prázdný vyvážecí traktor

Tab. 6 Vlhkost půdy

Hloubka	Φ (%)
10cm	8,7
20cm	8,5
30cm	8,8



Obr. 14 Okamžité tlaky v půdě vlivem prázdného vyvážecího traktoru s užitečnou nosností 12 t



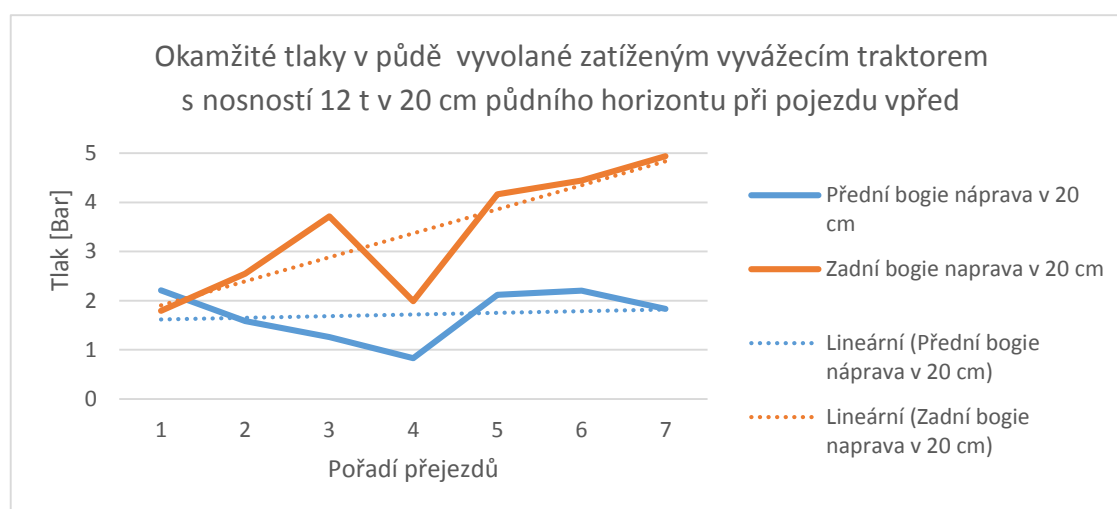
Obr. 15 Okamžité tlaky v půdě vlivem prázdného vyvážecího traktoru s užitečnou nosností 12 t

Z Obr. 14 vidíme, že u prázdného stroje s užitečnou nosností 12 t přední bogie náprava vyvolává větší tlak na půdu nežli zadní bogie náprava v průměru o 42 %. Při měření byla průměrná vlhkost půdy 8,6 %. V prvním přejezdu působila přední bogie náprava o 0,4 baru a v šestém přejezdu o 1,3 baru víc než zadní náprava. V Obr. 15 jsou v lineárním grafu vyobrazeny okamžité tlaky na více zatíženou přední nápravu. Tlak v 10 cm a 20 cm je u prvního přejezdu stejný, což může být způsobeno vymáčknutím vzduchové bubliny z prostoru měřicího čidla. S rostoucím počtem přejezdů tlak v těchto hloubkách stoupá. V hloubce 30 cm se tlak na půdu vlivem prázdného stroje významně neprojevuje.

5.2.2 Zatížený vyvážecí traktor

Tab. 7 Vlhkost půdy

Hloubka	Φ (%)
10cm	9,28
20cm	8,33
30cm	6,33



Obr. 16 Okamžité tlaky v půdě vyvolané zatíženým vyvážecím traktorem s nosností 12 t v 20 cm půdního horizontu při pojezdu vpřed

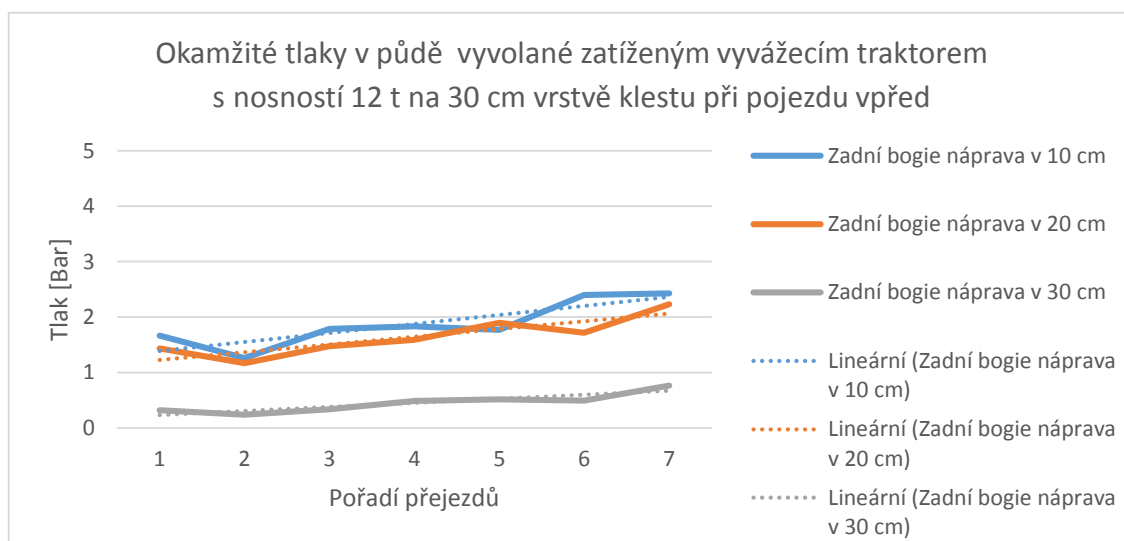
U zatíženého vyvážecího traktoru, s hmotností nákladu 7235 kg, což je 65,8 % nosnosti stroje, s huštěním pneumatik na 3,5 baru, působí na půdu větším tlakem zadní bogie náprava, jak je patrné z Obr. 16. A to při sedmi pojezdech až o 3 bary víc než přední náprava. Při měření byla vlhkost v půdě 7,98%. Průběh působení zadní nápravy je do třetího pojezdu rostoucí, ve čtvrtém pojezdu nastal prudký pokles, kvůli vybočení stroje

z vyznačené dráhy, pod kterou byla umístěna měřicí nádoba, a poté v dalších pojezdech tlak stoupá. Při sedmém pojezdu dosahuje zadní náprava nejvyšší hodnoty 4,9 baru.

5.2.3 Zatížený vyvážecí traktor na vrstvě 30 cm klestu

Tab. 8 Vlhkost půdy

Hloubka	Φ (%)
10cm	9,37
20cm	8,8
30cm	8,47



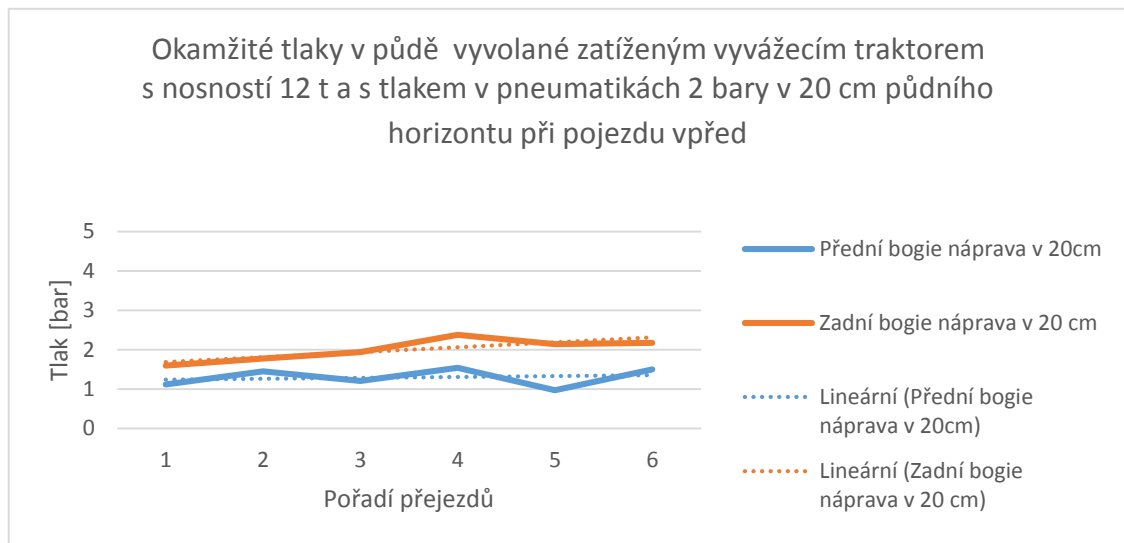
Obr. 17 Okamžité tlaky v půdě vyvolané zatíženým vyvážecím traktorem s nosností 12 t na 30 cm vrstvě klestu při pojezdu vpřed

Další měření probíhalo na třiceti centimetrové vrstvě koberce z klestu. Okamžité tlaky v půdě jsou zaznamenány v Obr. 17 a byly o poznání nižší, než při měření bez klestu. Tlaky v půdním horizontu v 10 a 20 cm se od sebe hodnotou tlaku vyvolávaného pojezdem nijak zvlášť nelišily. Při sedmém pojezdu byla hodnota tlaku v půdním prostředí ve 20 cm hloubce při průměrné vlhkosti v půdním prostředí 8,88 %, 2,2 baru, což je snížení o 120 % oproti nepoužití koberce z klestu, při tlaku v pneumatikách 3,5 baru. V hloubce 30 cm tlak dosahuje nejvyšší hodnoty 0,8 baru a to při sedmém přejezdu vpřed, což je o 60 % víc než v prvním přejezdu v téže hloubce.

5.2.4 Zatížený traktor se snížením tlaku pneumatik na 2 bary

Tab. 9 Vlhkost půdy

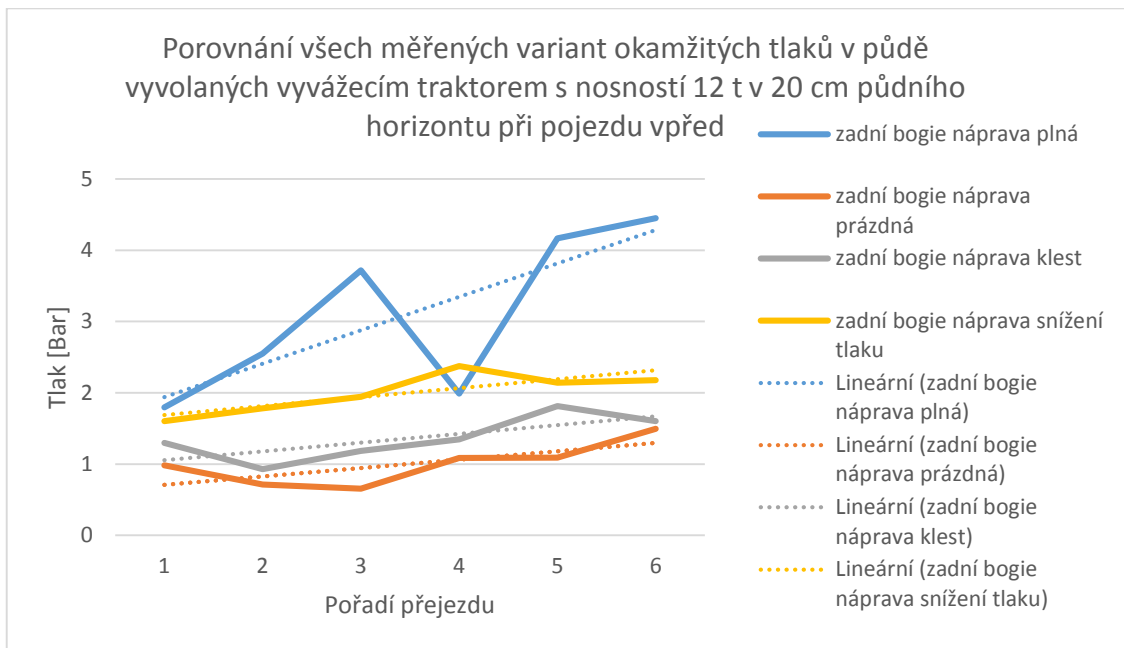
Hloubka	Φ (%)
10cm	10,37
20cm	7,10
30cm	8,83



Obr. 18 Okamžité tlaky v půdě vyvolané zatíženým vyvážecím traktorem s nosností 12 t a s tlakem v pneumatikách 2 bary v 20 cm půdního horizontu při pojezdu vpřed

Z Obr. 18 je patrné, že při snížení tlaku v pneumatikách na 2 bary přední bogie náprava dosahuje maximálního tlaku na půdu 1,5 baru při pojezdu vpřed ve 20 cm půdního horizontu a průměrné vlhkosti půdy 8,76 %. Zadní bogie náprava vyvolávala maximální tlak 2,4 baru, a to při čtvrtém pojezdu, kde nastal zlom, po kterém tlak vyvolávaný na půdu klesá. Zadní bogie náprava vyvolává v pátém přejezdu o 56 % větší tlak nežli přední bogie náprava.

5.2.5 Porovnání všech zkoumaných variant u vyvážecího traktoru s nosností 12 t



Obr. 19 Porovnání nejlepšího opatření na snížení okamžitých tlaků v půdě u vyvážecího traktoru s nosností 12 t

U osmikolového vyvážecího traktoru s nosností 12 t vyvolává nejvyšší okamžité tlaky v půdě zatížený stroj s pneumatikami huštěnými na 3,5 baru, při pátém přejezdu 4,2 baru (Obr. 19). Při snížení tlaku v pneumatikách na 2 bary se tlak vyvolávaný strojem při pátém přejezdu snížil o 50 % na hodnotu 2,1 baru. Jako nejefektivnější se jeví použití těžebních zbytků k vytvoření koberce alespoň 30 cm vysokého. Vyvážecí traktor vyvolával pod 30 cm klestu po pátém přejezdu okamžitý tlak v půdě 1,8 baru, což je oproti zatíženému vyvážecímu traktoru s pneumatikami huštěnými na 3,5 baru pokles o 56,5 %. Prázdný vyvážecí traktor vyvolává při pátém přejezdu okamžitý tlak v půdě o 74 % menší nežli zatížený.

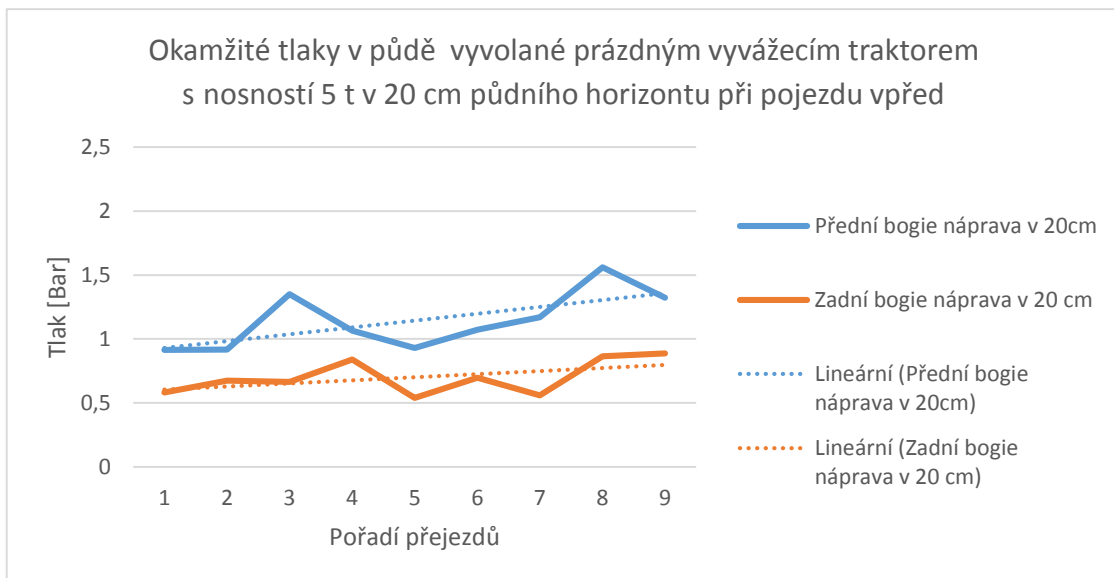
5.3 Vyvážecí traktor Novotný LVS 511 (s užitečnou nosností 5 t)

Měření probíhalo na stanovišti č. 2.

5.3.1 Prázdný vyvážecí traktor

Tab. 10 Vlhkost půdy

Hloubka	Φ (%)
10cm	23,03
20cm	29
30cm	30,35



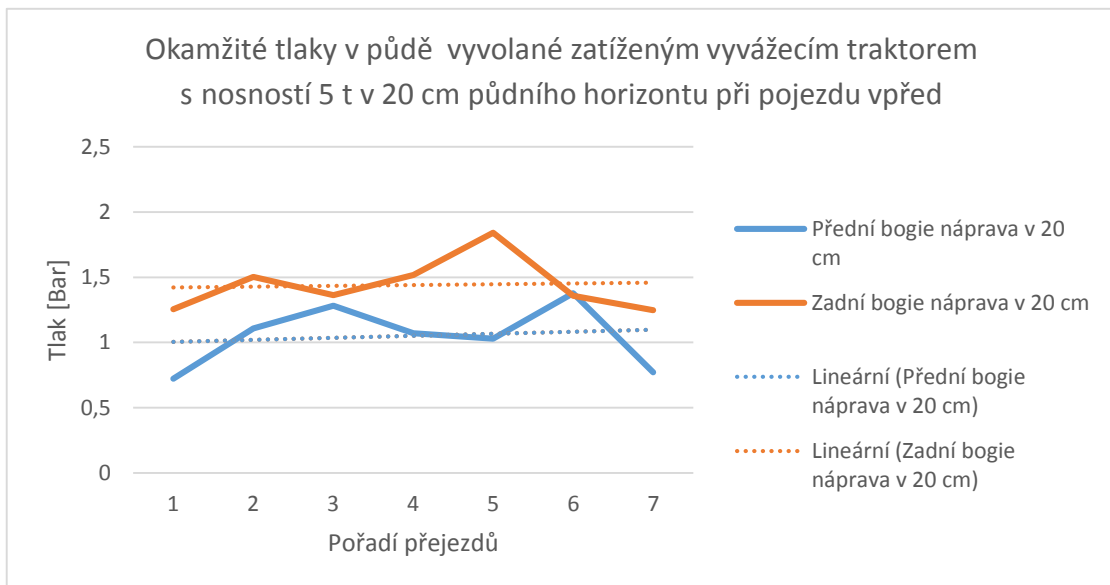
Obr. 20 Okamžité tlaky v půdě vyvolané prázdným vyvážecím traktorem s nosností 5 t v 20 cm půdního horizontu při pojezdu vpřed

Na Obr. 20 jsou okamžité tlaky v půdě vyvolané prázdným vyvážecím traktorem s užitečnou nosností 5 t ve 20 cm hloubce půdního profilu při pojezdu vpřed. Větší okamžitý tlak v půdě vyvolává přední bogie náprava. Při třetím pojezdu začíná tlak klesat až na hodnotu 0,9 baru, což bylo zapříčiněno jízdou měřeného stroje mimo vyznačenou stopu a tím pádem na měřicí nádobu nepůsobil tak velký tlak, od pátého přejezdu začíná tlak zase stoupat až na hodnotu 1,6 baru, poté zase klesá, toto tvrzení je vyobrazeno v Obr. 20. Průměrná půdní vlhkost byla 27,46%.

5.3.2 Zatížený vyvážecí traktor

Tab. 11 Vlhkost půdy

Hloubka	Φ (%)
10cm	18,77
20cm	19
30cm	24,38



Obr. 21 Okamžité tlaky v půdě vyvolané zatíženým vyvážecím traktorem s nosností 5 t v 20 cm půdního horizontu při pojezdu vpřed

Při naložení stroje 3,981 t dřevní hmoty (Obr. 22) byly naměřené hodnoty následující (Obr. 21): zadní bogie náprava vyvolávala v pátém přejezdu v hloubce 20 cm, při vlhkosti půdy 20,72 %, okamžitý tlak v půdě 1,8 baru, což byla nejvyšší naměřená hodnota. Ke zvýšení okamžitého tlaku v půdě došlo od prvního přejezdu až po pátý přejezd zadní bogie nápravy o 31 %. Po pátém přejezdu se tlaky v půdě vlivem přejezdu snižovaly.

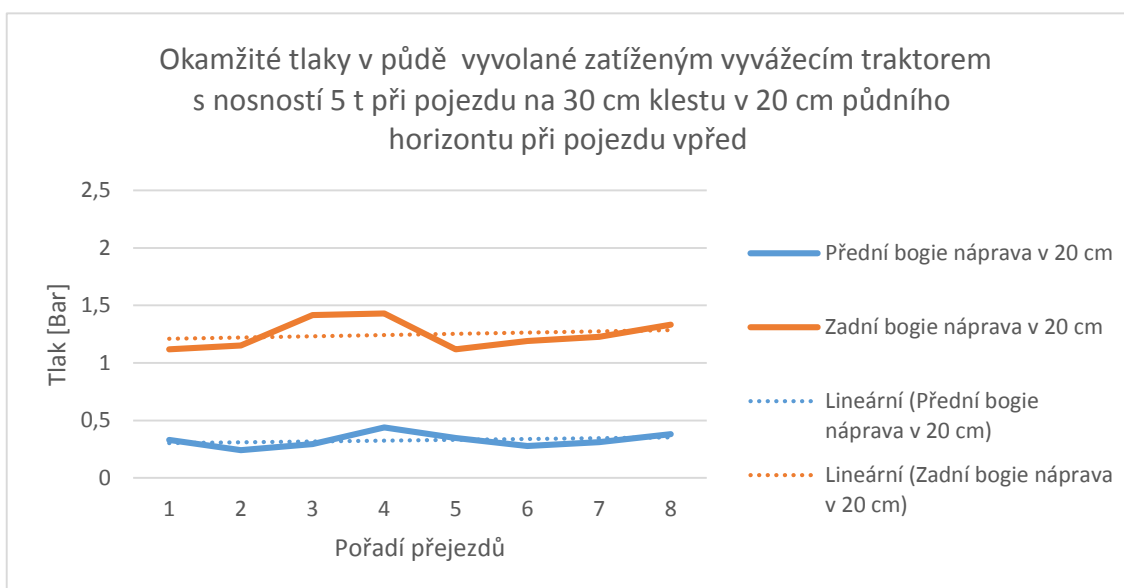


Obr. 22 Zatížený vyvážecí traktor s maximální nosností 5 t (Michal Mutina)

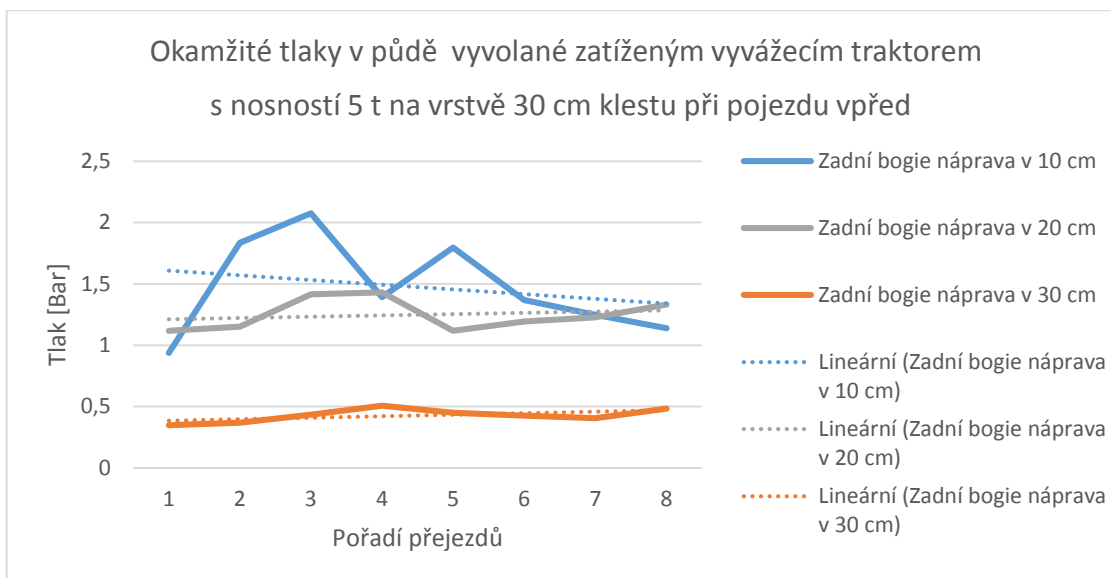
5.3.3 Zatížený vyvážecí traktor při pojezdu po 30 cm klestu

Tab. 12 Vlhkost půdy

Hloubka	Φ (%)
10cm	36,25
20cm	35,73
30cm	34,62



Obr. 23 Okamžité tlaky v půdě vyvolané zatíženým vyvážecím traktorem s nosností 5 t při pojezdu na 30 cm klestu v 20 cm půdního horizontu při pojezdu vpřed



Obr. 24 Okamžité tlaky v půdě vyvolané zatíženým vyvážecím traktorem s nosností 5 t na vrstvě 30 cm klestu při pojezdu vpřed

Vyvážecí traktor s užitečnou nosností 5 t naložený 3,981 t dřeva, při přejezdu po 30 cm vysokém koberci z klestu (Obr. 25), působil ve 20 cm půdního horizontu při pátém přejezdu zadní bogie nápravou o 67 % vyšší okamžitý tlak v půdě nežli přední náprava (Obr. 23). Působení tlaku v půdním profilu (Obr. 24) se nejvíce projevovalo v 10 cm, a to při třetím přejezdu působením 2,1 baru na tlakovou sondu. V 30 cm hloubce byly tlaky po celou dobu testu měření jen v malé odchylce a okamžitý tlak se pohyboval okolo 0,3-0,5 baru. Naskládaný klest dokázal při pátém pojezdu v 20 cm půdního horizontu snížit okamžitý tlak v půdě o 38 % oproti pojezdu přímo po půdním povrchu.

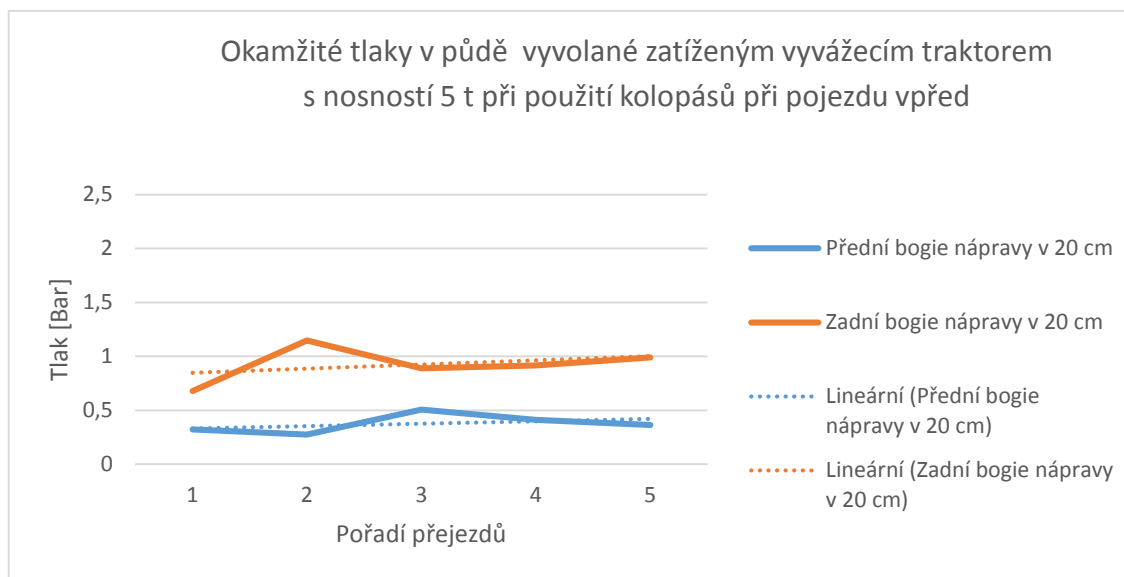


Obr. 25 Měřicí aparatura před měřením tlaků pod 30 cm klestu (Michal Mutina)

5.3.4 Zatížený vyvážecí traktor při použití kolopásů

Tab. 13 Vlhkost půdy

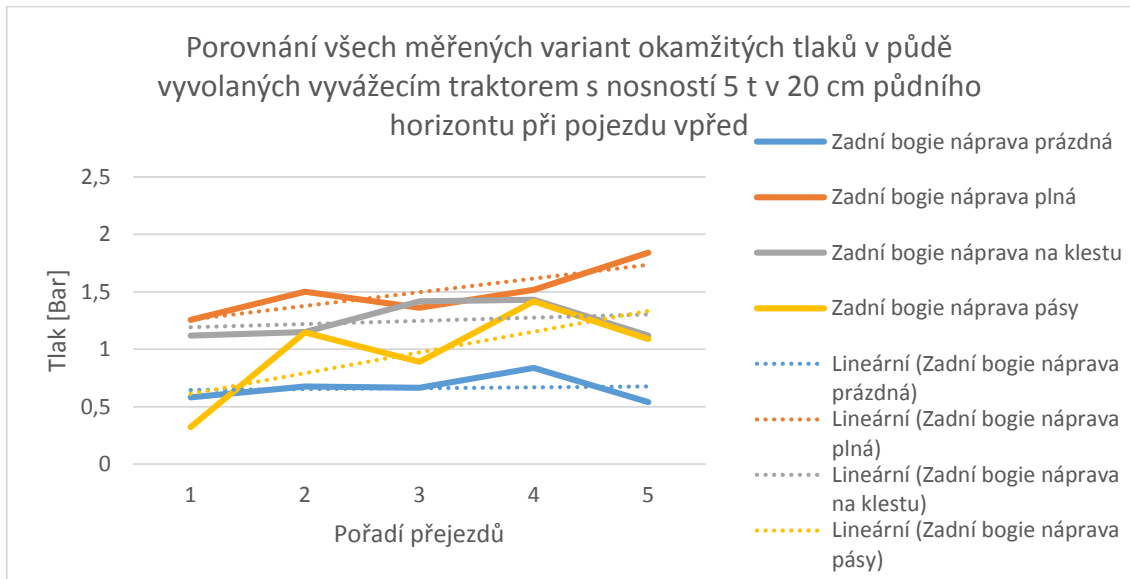
Hloubka	Φ (%)
10cm	12,33
20cm	11,77
30cm	10,35



Obr. 26 Okamžité tlaky v půdě vyvolané zatíženým vyvážecím traktorem s nosností 5 t při použití kolopásů při pojezdu vpřed

Při použití kolopásů při zatíženém vyvážecím traktoru byly na zadní nápravě větší okamžité tlaky nežli na přední bogie nápravě. Na přední nápravě byl maximální naměřený tlak při třetím pojezdu v hloubce 20 cm a naměřená hodnota dosahovala 0,5 baru (Obr. 26) Na zadní bogie nápravě měl nejvyšší naměřený tlak hodnotu 1,1 baru a to při druhém pojezdu. Měření probíhalo při průměrné půdní vlhkosti 11,48 %. Kolopásky dokázaly snížit okamžitý tlak při pátém pojezdu v 20 cm půdního horizontu na přední bogie nápravě o 65 % a na zadní nápravě o 47 % oproti jízdě přímo po půdním povrchu. Při použití kolopásů byl oproti použití 30 cm koberce z klestu na zadní nápravě při pátém pojezdu nižší okamžitý tlak o 9 %.

5.3.5 Porovnání všech zkoumaných variant u vyvážecího traktoru s nosností 5 t

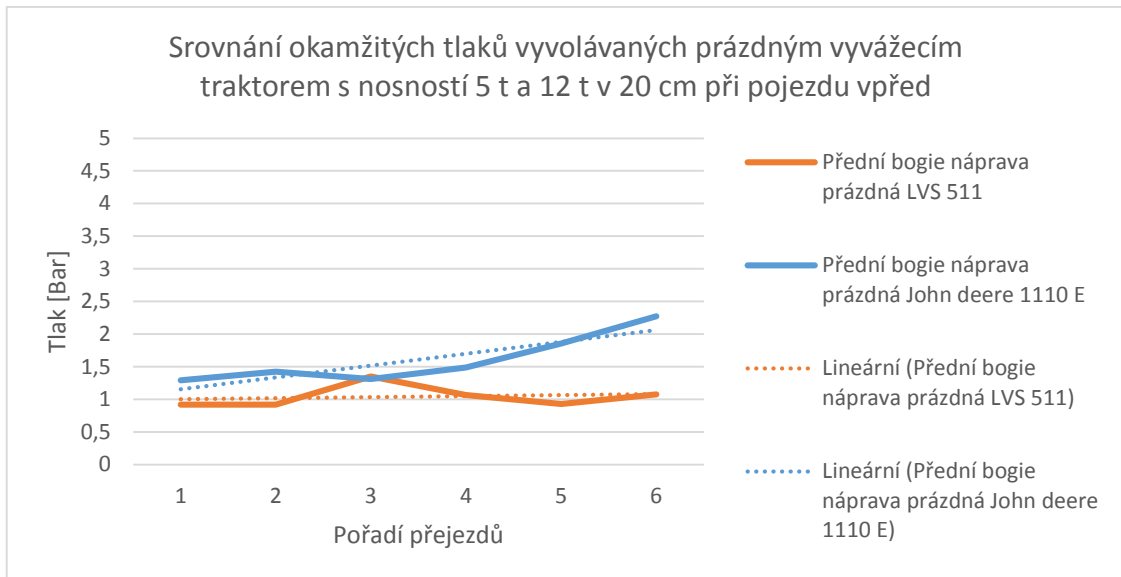


Obr. 27 Porovnání nejlepšího opatření na snížení okamžitých tlaků v půdě u vyvážecího traktoru s nosností 5 t

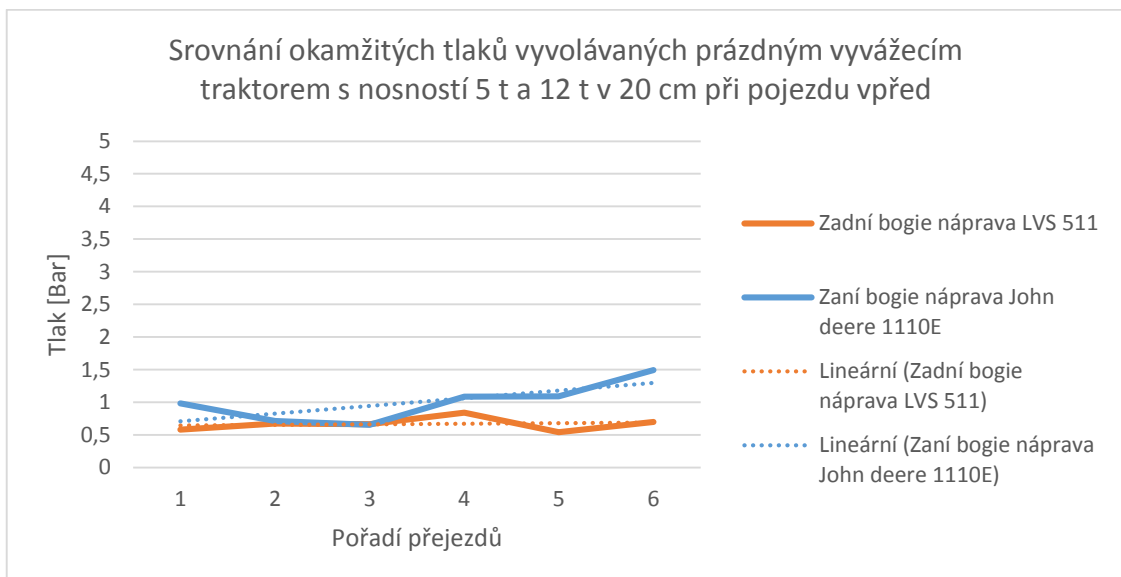
Porovnání okamžitých tlaků v půdě vyvolaných osmikolovým strojem s nosností 5 t je znázorněno v Obr. 27. Nejvyšší tlaky byly vyvolávány zadní bogie nápravou, kdy byl stroj zatížen nákladem, při tlaku v pneumatikách 3,5 baru, a to při pátém přejezdu o hodnotě 1,8 baru. Při použití koberce z klestu okamžitý tlak v půdě rapidně klesl, a to na hodnotu 1,1 baru, což je o 39 % méně. Při použití kolopásů se okamžitý tlak v půdním prostředí snížil až na hodnotu 1 baru, což je o 47 % oproti nepoužití žádného opatření na snížení tlaku. Nejnižší okamžitý tlak v půdním prostředí vyvozoval vyvážecí traktor bez zatížení, a to o 72 % oproti zatíženému stroji, a o 46 % oproti použití kolopásů nebo koberci z klestu.

5.4 Srovnání vyvážecího traktoru John Deere 1110E (s užitečnou nosností 12 t) a Novotný LVS 511 (s užitečnou nosností 5 t)

5.4.1 Vyvážecí traktory bez zatížení



Obr. 28 Srovnání okamžitých tlaků v půdě vyvolaných vyvážecím traktorem s užitečnou nosností 5 t a 12 t

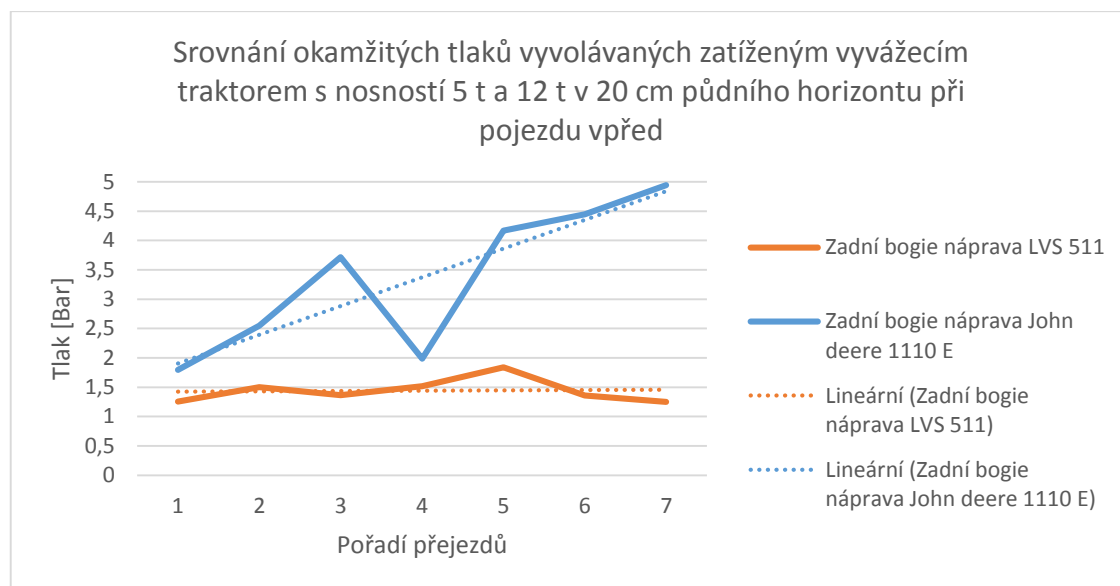


Obr. 29 Srovnání okamžitých tlaků v půdě vyvolaných vyvážecím traktorem s užitečnou nosností 5 t a 12 t

Srovnání vyvážecího traktoru s užitečnou nosností 12 t a 5 t, nenaložené, kdy u obou traktorů byl tlak v pneumatikách 3,5 baru. Přední bogie náprava u obou vyvážecích traktorů vyvolává větší tlak v půdě, nežli zadní náprava. Přední bogie náprava

stroje s nosností 12 t působí na půdu více nežli menší stroj, ale rozdíl není natolik markantní v porovnání s nosnostmi jednotlivých strojů. Při pátém přejezdu přední bogie nápravy vyvolává vyvážecí traktor s nosností 12 t o 50 % větší tlak (Obr. 28), zadní bogie náprava o 47 % větší tlak (Obr. 29) nežli stroj s nosností 5 t. U stroje s nosností 5 t po třetím přejezdu přední bogie nápravy tlaky v půdě klesají, na rozdíl od většího stroje, kde pořád tlak s každým dalším pojezdem stoupá. Zadní nezatížená náprava je u obou strojů do třetího pojezdu srovnatelná, poté u většího stroje tlaky v půdě markantně stoupají.

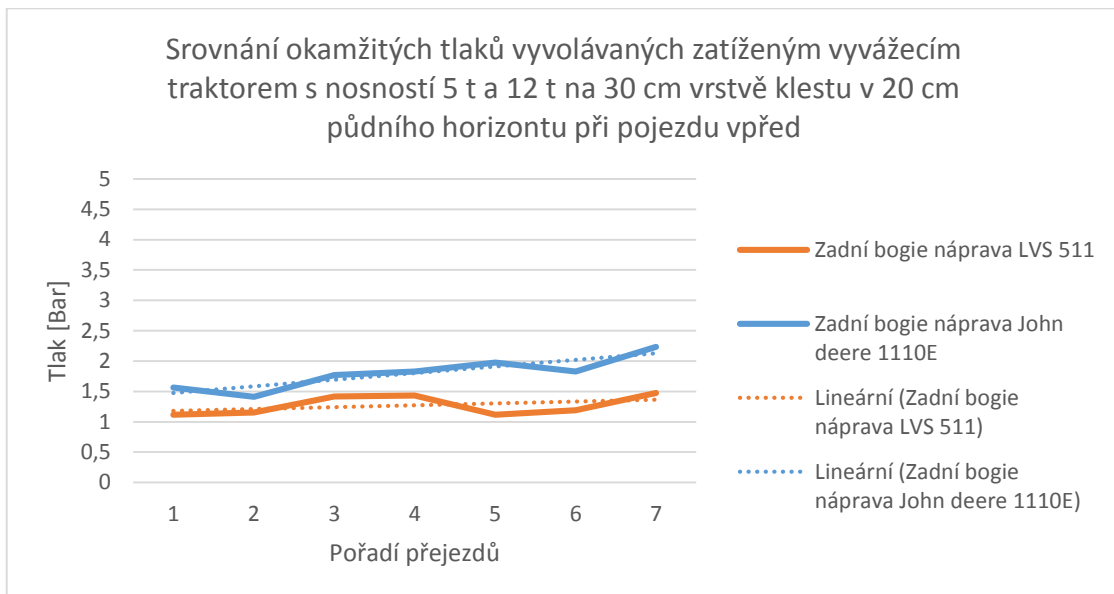
5.4.2 Srovnání zatížených vyvážecích traktorů s užitečnou nosností 12 t a 5 t



Obr. 30 Srovnání okamžitých tlaků v půdě vyvolaných zatíženým vyvážecím traktorem s užitečnou nosností 5 t a 12 t

Vyvážecí traktor s nosností 12 t byl zatížen z 65,8 % a vezl náklad o hmotnosti 7,235 t, vyvážecí traktor o nosnosti 5 t byl zatížen ze 79,6 % a vezl náklad o hmotnosti 3,981 t. Přední bogie nápravy obou strojů vyvolávaly srovnatelný tlak na půdu. Zadní bogie náprava u většího stroje působila při pátém přejezdu vyvážecího traktoru 4,2 baru, přičemž menší stroj působil tlakem jen 1,84 baru (Obr. 30), což je o 66 % méně, ale větší vyvážecí traktor vezl o 45 % dřevní hmoty více. U menšího stroje po pátém přejezdu okamžité tlaky v půdním prostředí klesají, zatím co u většího stroje stoupají.

5.4.3 Srovnání zatížených vyvážecích traktorů s užitečnou nosností 12 t a 5 t na 30 cm vrstvě koberce z klestu

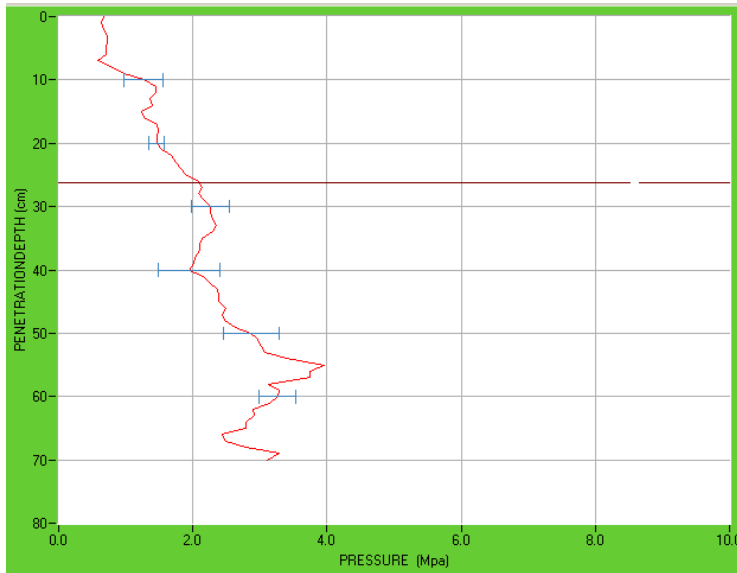


Obr. 31 Srovnání okamžitých tlaků v půdě vyvolaných vyvážecím traktorem s užitečnou nosností 5 t a 12 t na 30 cm vrstvě koberce z klestu

Při použití koberce z klestu bylo zjištěno, že okamžité tlaky v půdě se snížily více než o polovinu oproti jízdě přímo po půdním povrchu. Tlaky vyvolané přejezdem strojů se přiblížily a již není mezi stroji velký rozdíl. Z Obr. 31 umístěného nad textem vyplývá, že použití vyvážky s nosností 12 t na vrstvě 30 cm koberce z klestu vyvolává o 40 % větší tlak nežli malý vyvážecí traktor, ale má o 45% více dřevní hmoty na ložné ploše.

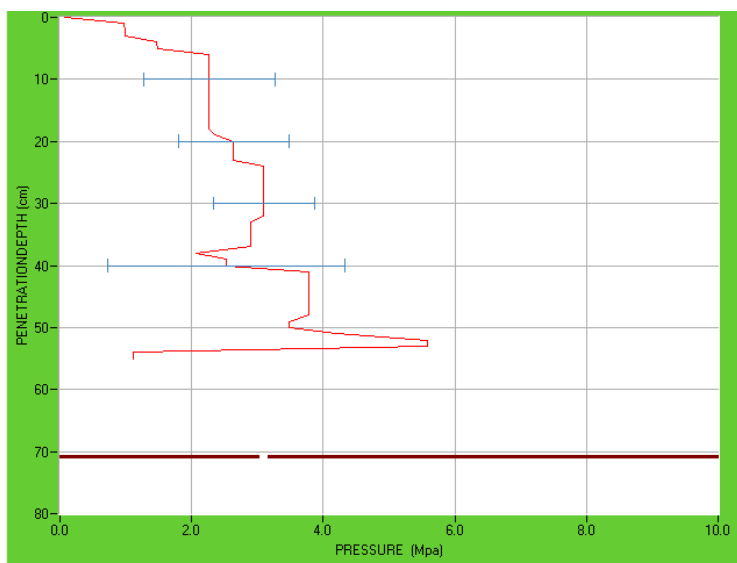
5.5 Penetrační odpor půdy

Do výsledků byly pro představení vývoje hutnění půdy při pojezdu vyvážecí techniky zahrnuty grafy penetračního odporu půdy.

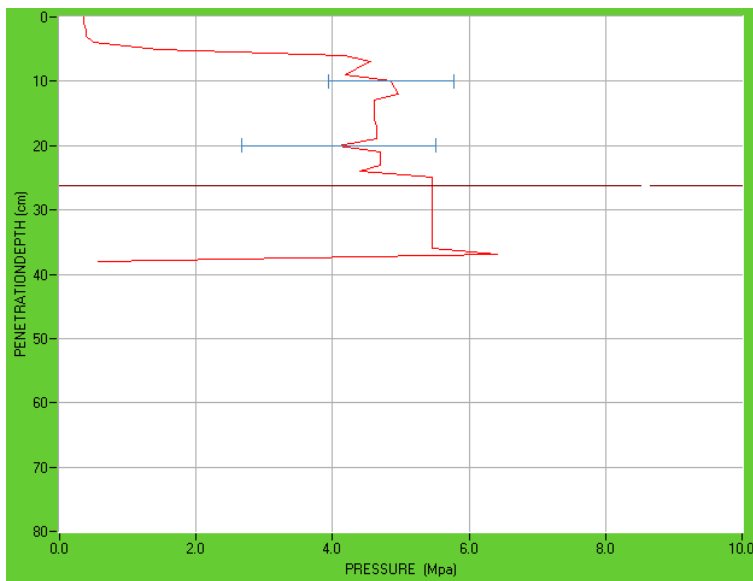


Obr. 32 Penetrační odpor půdy před pojezdem stroje

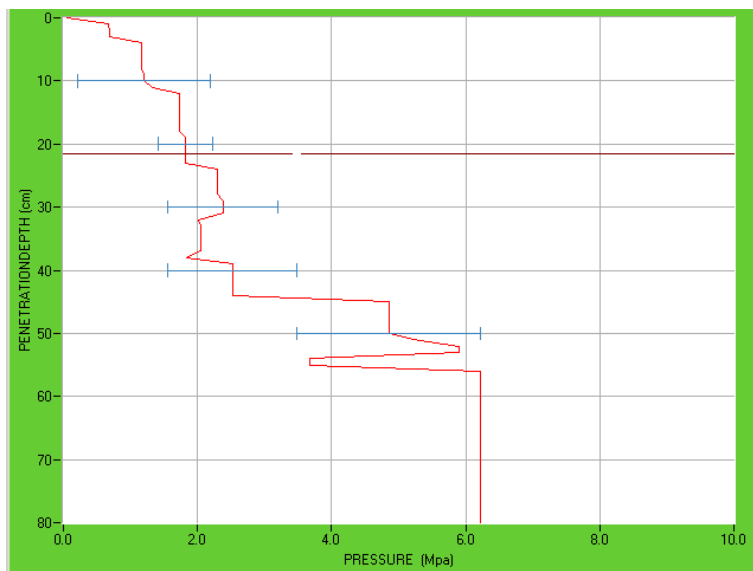
Penetrační odpor půdy, aritmeticky zprůměrovaný ze všech stanovišť před pojezdem vyvážecího traktoru (Obr. 32), dosahoval v hloubce 10 cm 1,5 Mpa. V hloubce 20 cm 1,8 Mpa a v hloubce 30 cm bylo naměřeno 2,4 Mpa. Z grafu můžeme vyčíst i další hodnoty, jak penetrační odpor s narůstající hloubkou stoupá.



Obr. 33 Penetrační odpor půdy po vyvážecím traktoru s nosností 12 t bez nákladu



Obr. 34 Penetrační odpor půdy po přejezdu vyvážecího traktoru s nosností 12 t s nákladem



Obr. 35 Penetrační odpor půdy po přejezdu vyvážecího traktoru s nosností 12 t s nákladem při použití 30 cm koberce z klestu

V obrázcích 34, 35 nad textem můžeme sledovat vývoj penetračního odporu při pojezdu vyvážecího traktoru s nosností 12 t. Při pojezdu prázdného stroje v hloubce 20 cm, kde se nachází ve smrkovém porostu nejvíce kořenového systému, dosahuje hodnoty 2,7 Mpa, což je o 33 % více než před pojezdem stroje. Nárůst penetračního odporu po přejezdu zatíženého stroje byl velmi intenzivní již od hloubky 5 cm, a to na hodnotu 4,6 Mpa. Při přejezdu zatíženého stroje nákladem na 65,8 % dosahuje penetrační odpor půdy, po deseti přejezdech vyvážecího traktoru s celkovou hmotností 24,54 t v 20 cm hloubce půdního profilu, 4,4 Mpa, což je o 59 % více než před pojezdem stroje

a o 39 % více než při pojezdu vyvážecího traktoru bez zatížení. Při použití 30 cm koberce z klestu dosahuje penetrační odpor v hloubce 20 cm po 10 přejezdech vyvážecího stroje 1,8 Mpa, což je srovnatelné s hodnotou před pojezdem stroje.

Prázdný vyvážecí traktor s nosností 5 t zvýšil penetrační odpor půdy po deseti přejezdech v hloubce 20 cm o 26 % oproti původnímu stavu, což je méně než vyvážecí traktor s nosností 12 t. Zatížený vyvážecí traktor zvýšil penetrační odpor půdy oproti původnímu stavu po deseti přejezdech v 20 cm o 46 %. Ve srovnání s větším vyvážecím traktorem to je méně, ale vyvážecí traktor s nosností 12 t má o 45 % dřevní hmoty v klanicích více. Z čehož vyplývá, že vyvážecí traktor s nosností 5 t má své opodstatnění v porostech s menším počtem objemu dřevní hmoty. Penetrační odpor měřený při deseti přejezdech vyvážecího traktoru s nosností 5 t po 30 cm vrstvě klestu byl stejný jako před jízdou.

5.6 Ekonomické zhodnocení jednotlivých variant

Z ekonomické a časové náročnosti jednotlivých opatření vedoucích ke snížení vlivu lesní techniky na půdní povrch vyplývá následující. Snižování tlaku v pneumatikách vede ke snížení vlivu tlaku v půdním povrchu, toto opatření je ekonomicky nenáročné. Snížením tlaku v pneumatikách docílíme větší styčnou plochu stroje a tím tak snížení okamžitých tlaků v půdě, ale zvýšíme riziko na boční průraz pneumatiky. Snížení tlaku v pneumatikách je možné provést při kontrole stroje, kdy se prověřuje i tlak v jednotlivých kolech. Celková doba snižování tlaku na stroji zabere operátorovi 0,5 hodiny, z ekonomického hlediska to je 120 Kč.

Dalším opatřením je pořízení a využívání kolopásů. Toto opatření je finančně náročné z hlediska pořízení kolopásů. Kolopásky na dvě bogie nápravy na vyvážecí traktor o nosnosti 5 t stojí cca 150 000 – 200 000 Kč, podle výrobce a tloušťky použitého materiálu. Kolopásky na vyvážecí traktor s nosností 12 t, podle ústního sdělení pracovníka firmy Merimex s. r. o. ze dne 3. 4. 2016, stojí 150 000 až 350 000 Kč podle tloušťky použitého materiálu na jejich výrobu, firmy, která kolopásky vyrábí, a podle provedení pásů do různých terénních podmínek. Instalace těchto pásů je velmi náročná a zabere dvěma operátorům dvě až tři hodiny práce, podle velikosti nasazovaných kolopásů a podmínek pro montáž. Z ekonomického hlediska nasazení vyjde na cca 960 – 1040 Kč. Přičemž při každém přejezdu do jiného porostu po zpevněné cestě by se kolopásky musely

sundávat nebo by se musela položit ochranná vrstva na vozovku, aby přejezdem nedošlo k její poškození. Ochrana vozovky může být zabezpečena položením klestu nebo pořízením mobilních ochranných rohoží. Rohože mohou být vyrobeny z ořezaných vyřazených pneumatik nákladních vozidel propojených lany, pořízení tohoto opatření je cenově velmi výhodné (Neruda a kol., 2013 b).

Posledním opatřením, které bylo zkoumáno, finančně, časově a pracností méně náročným, je využití alespoň 30 cm klestu. Tohle opatření dokáže snížit okamžitý tlak pod koly až o 120 % proti jízdě po půdním povrchu. Časová náročnost instalace klestu na vyvážecí linku závisí na šikovnosti jednotlivých operátorů hářvestoru a na množství klestu. Podle výpovědi jednotlivých operátorů vyvážecích strojů není nutná žádná úprava nebo instalace koberce z klestu, ale již je rozprostřen po operátorovi hářvestoru. V opačném případě zabere rozprostření klestu na 100 m vyvážecí linky 0,5 –2 hodiny práce stroje, podle množství a vzdálenosti těžebních zbytků. Finanční vyčíslení poté vychází na 120 –480 Kč platu operátora a 1350 –5400 Kč práce stroje.

Další možností, jak snížit okamžitý tlak v půdním prostředí, je zvýšit styčnou plochu stroje s půdním povrchem. Toho můžeme dosáhnout zvýšením šířky pneumatik na stroji. Tato varianta je trvalého rázu, protože přezouvání pneumatik stroje při jízdě do jiného porostu je nemyslitelné. Doba přezutí pneumatik u osmikolového stroje, podle ústního sdělení technika firmy John Deer ze dne 3. 4. 2016, je práce na osm hodin pro dva techniky, což znamená finanční vyčíslení 3 840 Kč. Jedna pneumatika na vyvážecí traktor s nosností 12 t, která byla na stroji v době měření s šířkou 710 mm a s 24 vrstvami pláten, stojí cca 82 000 Kč. Pneumatika s větší šířkou 800 mm, a tím pádem větší styčnou plochou, stojí 81 000 Kč, což je srovnatelné s pneumatikou s menší šířkou. Mezi pneumatikami není jen rozdíl v šířce pneumatiky, ale i v počtu pláten. Pneumatika s šířkou 800 mm má o 4 plátna méně, tím pádem menší odolnost proti proražení. Tyto ceny pneumatik jsou se vzorkem dezénu ELS, které jsou šetrnější na půdní povrch. Pneumatiky se vzorkem dezénu TRS a 20 pláten v pneumatice stojí 76 000 Kč u šířky pneumatiky 650 mm a 86 000 Kč u šířky pneumatiky 750 mm. Uváděné ceny jsou z firemního katalogu značky Nokian. U vyvážecího traktoru 5 t jedna pneumatika s šířkou 400 mm stojí cca 5 000 Kč, pneumatika s šířkou 500 mm stojí cca 20 000 Kč. Nízko tlaké pneumatiky jsou v porovnání s pneumatikami standartními dražší. Cena pneumatiky na

vyvážecí traktor s nosností 5 t o šířce 400 mm je dražší o 6 000 Kč. U vyvážecího stroje s nosností 12 t je v šířce pneumatiky 710 mm dražší v průměru o 9 000 Kč.

6 Diskuse

Měření a celý výzkum se prováděly v přírodních podmínkách. Měření probíhalo v létě 2015, kdy působil velký srážkový deficit a půda byla značně suchá.

Průběh měření okamžitých tlaků je ve své realizaci poměrně náročný na správné technické provedení. Hlavním cílem, aby měření bylo co nejpřesnější, je správné umístění tlakové sondy do podélné osy předpokládané jízdní stopy stroje. Při pojezdu stroje a jeho vybočení z předpokládané stopy jízdy dojde ke snížení a zkreslení hodnot tlaků vyvolávaných na půdní povrch. Měření rovněž ovlivňují skryté kameny nebo kořeny, které se nacházejí v půdním profilu nad tlakovou sondou a v její blízkosti. Poté může celé měření být zkreslené a nedá se použít k vytvoření jakýchkoliv závěrů. Podle Nerudy a Ulricha (2008), jestliže ověřovaný stroj vybočil při přejezdech již jen o relativně malou vzdálenost z vyznačené stopy (řádově o 20 cm), pod kterou byla uložena tlaková sonda, což je v lesním provozu zcela obvyklé, tlak vyvolaný pojezdem kola v místě sondy se silně snížil (až na 1/10 běžné hodnoty). Z toho vyplývá, že při opakovaných přejezdech po stejné trase, nikoliv však v dodržení stejné stopy pojezdu, nemusejí být kořeny vždy na stejném místě násobně vystavovány negativním účinkům tlaků.

Při prvním pojezdu stroje vzniká při měření okamžitých tlaků nepřesnost měření díky mezeře mezi průměrem vyvrtaného otvoru a průměrem tlakové sondy. Okamžité tlaky v hloubce 10 cm měly největší hodnoty a byly zároveň nejméně ustálené, tlaky v hloubce 30 cm půdního profilu dosahovaly velmi nízkých hodnot, jen při plně naloženém stroji byly i v téhle hloubce naměřené hodnoty významné. Se zvyšující se hloubkou půdního profilu se snižovala rozkolísanost měřených hodnot, tohle tvrzení publikoval i Zemánek a kol. (2015). S přibývajícím počtem pojezdů byl vzrůstající trend křivky průběhu okamžitých tlaků, ve většině případů se od pátého až šestého pojezdu trend vzrůstající křivky zastavil, v některých případech poté tlak mírně klesal, ale ve většině hodnot měření trend neustále stoupal, ale již ne tak strmě. Výše vyvozovaných okamžitých tlaků má přímý vliv na změny objemové hmotnosti půdy. V různých literaturách autoři uvádějí zásadní změnu v objemové hmotnosti půdy po různých počtech přejezdu. Sakai et al. (2008) zaznamenal změnu až po osmém pojezdu, při jiných měřeních byla zaznamenána po pátém pojezdu (Gerasimov, Katarov, 2010), Nadezhdina et al. (2012) zaznamenal

změnu dokonce již po druhém pojezdu, vše závisí na půdním typu a na aktuálních klimatických podmínkách, zejména vlhkosti půdního profilu.

Zemánek a kol. (2015) ve své práci uvádí, že vrstva těžebních zbytků umístěná do stopy šestikolového vyvážecího traktoru zatíženého břemenem snížila okamžité vyvozované tlaky v hloubce 10 cm půdního profilu o cca 30 %. Neruda, Ulrich (2008) uvádějí na bližší neurčeném půdním typu při vrstvě 30 cm těžebních zbytků až 50 % snížení okamžitých tlaků v půdním profilu ve srovnání s jízdou stopou nepokrytou těžebními zbytky. Podle prováděného měření na osmikolovém vyvážecím traktoru s maximální nosností 12 t se snížil tlak v hloubce 20 cm při použití koberce z klestu o 56 % a u stroje s nosností 5 t o 39 % oproti pojezdu po nepokryté lince.

Penetrační zkoušku odporu půdy je v lese velmi obtížné měřit. Při měření hrot naráží na různé překážky v půdě, jako jsou např. kameny nebo větší kořeny. Penetrační hrot buď překážku propíchně, sklouzne po ní do strany nebo ji nepřekoná. Tento faktor se ve výsledcích projeví jako vyšší penetrační odpor půdy a po překonání překážky se odpor vrací do normálu. Tyto výsledky bylo nutno z dalšího zpracování práce vyloučit. Pro zpracování výsledků bylo nutno provést více měření na jedné ploše a poté je aritmetickým průměrem vyhodnotit. Při měření na jedné ploše se lišil penetrační odpor půdy i při měření 5 cm od sebe, což je způsobeno právě zrnitostí půdy a prokořeněním jednotlivých stromů.

Při měření penetrometrem hraje důležitou roli vlhkost půdy. Toto tvrzení uvádí i Elbanna a Witney (1987), penetrační odpor půdy je závislý na obsahu vlhkosti v půdě a půdním typu. Při měření na ploše č. 1 byla průměrná půdní vlhkost 8,5 % a byl problém hrot penetrometru zapíchnout do půdy alespoň 30 cm hluboko. U plochy č. 2 byla průměrná půdní vlhkost ze všech měřených stanovišť 23,78 %. V této lokalitě probíhalo měření snadněji a penetrační odpor půdy byl v průměru o 20 % nižší, než na stanovišti č. 1. Rozdíly se projevovaly hlavně v hloubce do 15 cm půdního profilu, kde penetrační odpor na stanovišti č. 2 klesl cca o 43 % oproti stanovišti č. 1.

Vavříček, Ulrich a Kučera (2014) uvádí, že obsah vody v půdě stanovuje stupeň plasticity, jež se odráží v únosnosti půdy. Podle Nerudy (2015) má vlhkost půdního profilu vliv nejen na hloubku vyjeté koleje, ale i na velikost vyvozovaných okamžitých tlaků v půdním profilu. Při svém měření Neruda (2015) zaznamenal větší hloubku vyjeté

koleje u vlhčího půdního profilu. Při měření hodnot ke zpracování diplomové práce byly koleje na stanovišti č. 1 zanedbatelné a to z důvodu nízké půdní vlhkosti. U stanoviště č. 2 byly koleje patrné jen při uskutečnění deseti pojezdů zatíženého stroje, poté hloubka kolejí dosahovala hodnoty 8 cm. Tvorba kolejí byla zapříčiněna půdní vlhkostí, která na daném stanovišti dosahovala cca 24%. Hloubka naměřených kolejí byla v porovnání s naměřenými hodnotami Nerudy (2015), který měřil na stejném stroji, obdobném stanovišti půdním typem a vlhkostí půdy, která se lišila o 4%, výrazně menší (o 400 %). Proto na stanovištích ovlivněných vodou by operátor měl náklad snížit a stroj nepřetěžovat, neboť hmotnost stroje přímo ovlivňuje tlaky vyvolané v půdním prostředí a hloubku kolejí. (Vavříček, Ulrich a Kučera, 2014)

Neruda a kol. (2015) v závěrečné zprávě uvádí, že u přední i zadní nápravy vyvážecího traktoru s nosností 5 t (stejného stroje jaký byl použit v diplomové práci) a nákladu o hmotnosti 4720 kg, byl rozdíl ve styčné ploše pneumatik s půdním povrchem při huštění pneumatiky na 1,5 baru a 3,5 baru cca 40 %. V porovnání s výsledkem v diplomové práci, kdy bylo zjištěno, že u přední i zadní nápravy vyvážecího traktoru s nosností 5 t a nákladu 3981 kg byl rozdíl ve styčné ploše pneumatik s půdním povrchem při huštění na 2 bary a 3,5 baru cca 30 % v obou variantách měření, s nákladem a bez nákladu. Naměřené hodnoty jsou si v obou případech podobné. Při porovnání zatíženého stroje s nosností 5 t a 12 t má na přední bogie nápravě větší styčnou plochu o 141 % a o 21 % na zadní bogie nápravě stroj s nosností 12 t, díky větším rozměrům pneumatik a větší hmotnosti celého stroje s nákladem o 158 %.

Podle mého názoru a zjištěných cen je z ekonomického hlediska nejlevnějším řešením pořízení větších rozměrů pneumatik. Firmu nebo soukromou osobu to nebude stát výrazně větší obnos finančních prostředků, ale zvýší se tak styčná plocha stroje s podložkou, což zapříčiní zmenšení okamžitých tlaků v půdním profilu. Dalším krokem při snižování okamžitých tlaků v půdním profilu je neekonomičtější pořízení nízkotlakých pneumatik, i když hrozí větší riziko bočního průrazu pláště. Časově náročnějším řešením je pokládka koberce z klestu, která nejlépe snižuje okamžité tlaky v půdním prostředí, nebo instalace mobilních rohoží, které se používají na lokalitách, kde chybí klest. Finančně náročným řešením je koupě kolopásů, díky kterým se sníží tlak v půdním prostředí, stroj má větší dostupnost v zimním období při jízdě na sněhu díky velké styčné ploše, stejně tak na rašelinách a v blátivém terénu. Díky těmto výhodám má

stroj větší uplatnění v provozu. Kolopásky také chrání pneumatiku před mechanickým poškozením a snižují její opotřebení (Neruda a kol., 2013 b). Kolopásky mají také svoje nevýhody, nelze s nasazenými kolopásky jet po zpevněné lesní cestě, kvůli rozrušení vozovky a poškození cesty. Na přejezd přes vozovku se dají použít mobilní ochranné rohože nebo těžební zbytky, které je zapotřebí po přejezdu odklidit.

7 Závěr

Dosažení cílů diplomové práce bylo velmi pracné vzhledem k náročnosti získávání naměřených dat. Zároveň nebyla lehká domluva s majiteli strojů na propůjčení vyvážecích traktorů tak, aby se stroje nemusely zdlouhavě přesouvat na místo měření a neztratily tak mnoho času, kdy stroj nebude výdělečný.

Z výsledků, které byly zjištěny měřením v terénu, můžeme provést srovnání vyvážecího traktoru s užitečnou nosností 12t a 5t. U obou dvou traktorů byl tlak v pneumatikách stejný. Přední bogie náprava při nezatíženém stroji u obou dvou vyvážecích traktorů vyvolává větší tlak v půdě, nežli zadní nápravy. Přední bogie náprava stroje s nosností 12 t způsobuje v půdě větší tlaky nežli menší stroj, ale rozdíl není natolik markantní v porovnání s nosnostmi a hmotnostmi jednotlivých strojů.

Při porovnání vyvážecího traktoru s nosností 12 t, který byl zatížen z 65,8 %, a vyvážecího traktoru o nosnosti 5 t, který byl zatížen ze 79,6 %, můžeme konstatovat, že přední bogie nápravy obou dvou strojů vyvolávaly srovnatelný okamžitý tlak v půdním prostředí. Při pátém přejezdu většího stroje vyvolala zadní bogie náprava vyvážecího traktoru o 66 % větší okamžitý tlak v půdě, nežli u stroje menšího.

Při použití koberce z klestu bylo zjištěno, že okamžité tlaky v půdě se sníží více než o polovinu naproti jízdě přímo po půdním povrchu. Z měření vyplývá, že vyvážecí traktor s nosností 12 t na vrstvě 30 cm klestu vyvolává o 40 % větší tlak nežli malý vyvážecí traktor, ale zároveň má o 45% více dřevní hmoty na ložné ploše, což je ušetření poloviny přejezdů po vyvážecí lince a tím tak menší působení tlaku na kořenový systém stromů a zhutňování půdy.

Při snížení tlaku v pneumatikách u vyvážecího traktoru s nosností 12 t na 2 bary se snížil okamžitý tlak v půdě vyvolaný přejezdem stroje o 50 %.

Při použití kolopásů na vyvážecím traktoru s nosností 5 t je možné snížit okamžitý tlak v půdě na přední bogie nápravě o 65 % a na zadní nápravě o 47 % oproti jízdě přímo po půdním povrchu. Při použití kolopásů pro pojezd přímo na půdním povrchu oproti použití pneumatik na 30 cm koberci z klestu byl na zadní nápravě o 9 % nižší okamžitý tlak.

Z ekonomického a časového hlediska je nejjednodušší přistoupit ke snížení tlaku v pneumatikách, i když se poté pneumatiky více opotřebovávají a jsou náchylnější k proražení. Používání kolopásů je dobrá varianta, i když finančně náročná, z důvodu velké vstupní dlouhodobé investice na pořízení kolopásů, případně ochranné rohože na přejíždění zpevněné cesty bez nutnosti jejich sundávání. Při používání kolopásů není nutné rozprostírat klest po celé délce linky. Varianta použití klestu na lince není nijak finančně a časově náročná a okamžité tlaky v půdě dokáže snížit na nejnižší hodnotu ze zkoumaných variant. Tato varianta je závislá na množství a existenci těžebních zbytků na ploše.

Doporučení pro provozní praxi z hlediska snížení okamžitých tlaků v půdě je následující. Díky zvýšení styčné plochy stroje s půdním povrchem, což se dá docílit snížením tlaku v pneumatikách nebo přezutím používaných pneumatik za větší rozměr, se příznivě projeví na výši okamžitých tlaků v půdním profilu vyvolávaných přejezdem těžké lesní techniky. Tato opatření nejsou nijak finančně náročná a může si je dovolit i malý podnik s jedním strojem. Větší styčná plocha stroje se zemským povrchem se dá docílit použitím kolopásů. Tato varianta je ale poměrně finančně náročná a vyplatí se u větších podniků alespoň s jedním harvesterovým uzlem. Při dostatečně velkém množství těžebních zbytků v porostu je možné snížit okamžitý tlak v půdě umístěním těžebních zbytků do jízdni stopy vyvážecího traktoru. I přes všechna doporučení by měl být pohyb vyvážecích traktorů v zamokřených a měkkých půdách po jedné dráze omezen na minimum. Práce v takových podmínkách by měla být prováděna za zámrazu zeminy.

8 Summary

Achieving the objectives of this thesis was very laborious due to the difficulty of obtaining measurement data. Also the agreement on borrow forwarders with the owners of machines was not easy. Especially because of lengthy replace of machines to measurement place and the owners did not lose so much time when forwarders are not profitable.

The results, which were detected by measuring in terrain, we can make a comparison of forwarders with a carrying capacity 12 tons and 5 tons. Tire pressure in both tractors was the same. Front bogie axle on both unloaded machines creates bigger pressure in the soil than the rear axle. Front bogie axle of machine with carrying capacity 12 t make bigger pressure in soil than the smaller machine, but the difference is not so marked in comparison with the power and weight of the machines.

When we compared bigger forwarder, which was burdened to 65,8 % of his carrying capacity (12 t) with smaller forwarder, which was burdened to 79,6 % of his carrying capacity (5 t), we can say that the front bogie axle of the both machines induce comparable immediate pressure in soil environment. When the larger machine crossed measuring place for fifth time, the rear bogie axle induce 66% less immediate pressure on the soil than the smaller one.

When we used carpets from brushwood we found that the immediate pressure in the soil is reduced by more than half against the ride directly on the ground. Measurements shows that the forwarder with a load capacity of 12 t on a layer of 30 cm brushwood produces 40 % bigger pressure than small forwarder, but it has 45 % more wood mass on the loading area, which is saving half crossings on the forwarders line and by this less pressure on the root system of trees and also reduce soil compaction.

The immediate pressure in the soil compaction goes 50 % down by lowering tire pressure to 2 bars on the forwarder with a carrying capacity of 12 t

When are used tracked chassis on forwarders with a carrying capacity 5 t it is possible to reduce the immediate pressure in the soil at the front bogie axle by 65 % and on the rear axle by 47 % against to ride directly on the soil surface. When using tracked chassis

to travel directly on the soil surface than was 9 % lower immediate pressure under the rear axle against using tires on 30 cm carpet from brushwood.

From an economic and time aspect is the simplest approach to reducing pressure in the tires, even if tire wear out and they tend to break through. Using tracked chassis is a good option, even if it is expensive, because of the high input investment for their purchase, eventually for purchase protective mat for crossing paved roads without removing tracked chassis. Its not necessary to use brushwood extend throughout the length of the line. Using brushwood on the line is not expensive and time consuming and immediate pressures in the soil can reduce to the lowest value of the examined variants. This option depends on the existence and amount of logging residues.

Recommendations for professional practice of the reduction immediate pressure in the soil is as follows. Thanks to growing contact area between machine and soil surface, which can happend by reducing tire pressure or changing tires to larger size, have a positive effect on the amount of the immediate pressures in the soil profile caused by crossing heavy forest machinery. These measures are not so expensive and even small company with just one machine can afford it. Contact area between machine and ground can be achieved by using the tracked chassis, however this variant is relatively expensive. and it is better for larger company with at least one harvester node. If there is sufficient amount of logging

9 Zdroje

Ampoorter E., Schrijver A., Nevel L., Hermy M., Verheyen K., 2012, Impact of mechanized harvesting on compaction of sandy and clayey forest soils: results of a meta-analysis, *Annals of Forest Science* 69.5, 533-542.

Bartoš L, 2009, Hárvestorové technologie v těžbě dříví, SLŠ Hranice na Moravě

Eco-tracks, 2016, [online] citováno 23. března 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.eco-tracks.se/produkter/eco-tracks/oever/u>>

Editorial office waldwissen.net – LWF, 2015, Take care of the soil, LWF, Germany, [online] citováno 23. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <http://www.waldwissen.net/technik/holzernte/boden/lwf_boden_achten/index_EN>

Emily A. C., 2011, Minimizing Soil Impacts from Forest Operations, ASABE Paper No. 11. St. Joseph, Mich.: ASABE

Elbanna EB, Witney BD, 1987, Cone penetration resistance equation as a function of the clay ratio, soil moisture content and specific weight, *Journal of Terramechanics*, Elsevier

Elforest technologies, 2014, Elforest Technologies bygger elhybridprototyp med PONSSE, [online] citováno 23. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.elforest.se/sv/elforest-technologies-bygger-elhybridprototyp-med-ponsse>>

Eliasson L., 2005, Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction, *Silva Fennica* vol. 39 no, 4 article id 366, [online] citováno 23. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <<http://dx.doi.org/10.14214/sf.366>>

Gerasimov, Y., Katarov, V., 2010, Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains, *Croatian Journal of Forest Engineering* 31 (1), pp. 35-45.

Grable A. R., Siemer E. G., 1986, Soil science society of america proceedings, [online] citováno 23. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <<https://login.webofknowledge.com?PathInfo=%2F&Alias=WOK5&Domain=.webofknowledge.com&Src=IP&RouterURL=https%3A%2F%2F>>

Grečenko, 1963, Kolové a pásové traktory, Státní zemědělské nakladatelství

Greene W. Dale, William B., Stuart, 1985, "Skidder and tire size effects on soil compaction", Southern Journal of Applied Forestry, 154-157 s.

Heil W., Leek N. A., 1981, Impacts of wood harvesting technology on soil and vegetation, Sborník XVII, IUFRO Japonsko, s. 21-32

Jankovský L., 2000, Fytopatologické aspekty poškození kořenového systému lesních dřevin, Lesnická práce 6/00, ročník 79

John deere, 2016, [online] citováno 23. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <https://www.deere.com/en_US/products/equipment/forwarders/1110e/1110e_it4.page>

Koger Jerry L. et al., 1984 "Skidder tire size vs. soil compaction in soil bins.", Transactions of the, ASAE 665-0669.

Koger, Jerry L., Eddie C. Burt, and Albert C. Trowse., 1985, "Multiple pass effects of skidder tires on soil compaction.", Transactions of the, ASAE 11-0016.

Lukač T., 2005, Viacoperačné stroje v lesnom hospodárství, 1. vid. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. s. 137 , ISBN 80-228-1348-6

Malík V., Dvořák J., 2007, Hárvestorové technologie a vliv na lesní porosty, Lesnická práce, Praha, 1. vydání, 84 s. ISBN 978-80-86386-92-8

Mitas a. s. 2014. Katalog produktů, [online] citováno 23. března 2016. Dostupné na World Wide Web: <http://www.mitas-tyres.com/cz/product/1014109960000/>

Nadezhdina, N., Prax, A., Čermák, J., Nadeshdin, V., Ulrich, R., Neruda, J., Schlaghamerský, A., 2012: Spruce rootsuner heavy machinery loading in two different soil types. Forest Ecology and Management 282, pp. 46-52.

Neruda J., Čermák J., Naděždína N., Ulrich R., Gebauer R., Vavříček D., Martínková M., Knot R., Prax A., Pokorný E., Aubrecht L., Staněk Z., Koller J., Hruška J., 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

Neruda J., Šimanov V., 2006, Technika a technologie v lesnictví. MZLU v Brně, 324 s.

Neruda, J., kol., 2013 a, Technika a technologie v lesnictví, Díl první, Mendelova univerzita v Brně, 364 s.

Neruda J., kol., 2013 b, Hárvestorové technologie v lesní těžbě, Mendelova univerzita v Brně, 166 s.

Neruda J. a kol., 2015, Vývoj a výroba lesnických těžebně dopravních strojů malé třídy zaměřené na ekologii, závěrečná zpráva o projektu, Brno

Neruda, J. Ulrich, R. 2008. Soil pressure measurement on experimental plots.
Neruda, J., (Eds.): Determination of Damage to Soil and Root Systems of Forest Trees by the Operation of Logging Machines. Mendel University of Agriculture and Silviculture Brno, 67-72 s.

Obchodpneu.cz, 2016, [online] citováno 23. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.obchodpneu.cz/koupit/Nokian-710X45-26X5-FOREST-KING-F-SF-24PR-TT-ID12644520/>>

Ponsse, 2016, [online] citováno 23. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ponsse.com/products/forwarders/10w>>

REPAROSERVIS spol. s r. o., 2014, [online] citováno 23. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.lesni-technika.cz/prislusenstvi/kolopasy.html>>

Rottne, 2013, [online] citováno 23. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <http://www.lesni-technika.cz/pdf/prospekty/Broschyr_skotare_2013_cz_FINAL.pdf>

Sakai, H., 2008, Soil compaction on forest soils from different kinds of tires and tracks and possibility of accurate estimate. Croatian Journal of Forest Engineering 29 (1), 15-27 s.

Segerstedt R., 2015, Ponsse vill spara med ny elhybridteknik, Lantbruk a Skogsland, [online] citováno 23. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.lantbruk.com/skog/ponsse-vill-spara-med-ny-elhybridteknik>>

Strojírna Novotný s.r.o, 2013, Katalog produktů, [online] citováno 23. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.loader.cz/cz/nase-vyrobky/submenu-2#obsah>>

Ulrich R., 2006, Harvesterové technologie a jejich optimální využití v praxi, 1.vid., Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 87 s. ISBN 80-7375-012-0

Vavříček D., Kučera A., 2015, Lesnická pedologie pro posluchače LDF Mendelu v Brně, Mendelova univerzita v Brně, Brno

Vavříček D., Ulrych R., Kučera A., 2014, Ochrana půdy v těžebně- dopravní činnosti, 1. vyd., Brno, Mendelova univerzita v Brně, 99 s., ISBN 978-80-7509-148-2

Vavříček D., a kol., 2008. Vliv pojezdu vyvážecího traktoru na půdu, Lesnická práce 3/08, [online] citováno 23. března 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-87-2008/lesnicka-prace-c-3-08/vliv-pojezdu-vyvazeciho-traktoru-na-pudu>>

Vystavil, J., 2013, Radiální konstrukce pneumatiky, [online] citováno 26. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.alu-kola-pneu.cz/2013/05/radialni-pneumatika.html>>

Vystavil, J., 2013, Diagonální konstrukce pneumatiky, [online] citováno 26. března 2016, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.alu-kola-pneu.cz/2013/05/diagonalni-konstrukce-pneumatiky.html>>

Wilpert, V. K., 1998, Möglichkeit und Grenzen für die Definition einer ökologischer vertraglicher Befahrkeit, Workshop, Forsttechn Informationen, 29- 30 s.

Zemánek T., Neruda J., Ulrich R., 2015, Okamžité tlaky v půdě vyvozené přejezdy lesnické techniky, In Mobilné energetické prostriedky - hydraulika - životné prostredie - ergonomia mobilných strojov, Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 171-178 s., ISBN 978-80-228-2786-7