



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra techniky a kybernetiky

Diplomová práce

Vliv změn tlaku v pneumatikách na exploatační parametry
traktoru

Autor práce: Bc. Tomáš Pospíchal

Vedoucí práce: Ing. Antonín Dolan, Ph.D.

České Budějovice
2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

V této diplomové práci je pozorováno, jaký vliv má huštění pneumatik traktoru a jeho dotížení pomocí přídavného závaží na exploatační parametry. Práce je zaměřena na možné způsoby huštění pneumatik, možnosti dotížení traktoru a optimalizaci nastavení pro úsporu pohonných hmot a zvýšení efektivity práce. Během praktické části této práce je konkrétně sledováno ovlivnění spotřeby pohonných hmot, prokluzu pneumatik a pracovní rychlosti.

Klíčová slova: Spotřeba pohonných hmot, prokluz kol, přídavné závaží, utužení půdy, trakce, nízkotlaké pneumatiky

Abstract

In this diploma thesis, the effect of inflating tractor tires and their additional weight on operational parametr is monitored. The work is focused on possible ways of inflating the tires, the possibility of adding loads to the tractor and optimizing settings to save fuel and increase work efficiency. In the practical part of this work, the effect on fuel consumption, tire slippage and working speed is monitored.

Keywords: Consumption of fuel, wheel slip, additional weight, soil compaction, traction, low-pressure tires

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Antonínu Dolanovi, Ph.D., za jeho cenné rady při vypracovávání této diplomové práce. Poděkování náleží i firmě ZEMAD s.r.o. za možnost uskutečnit tuto práci na jejím pozemku s použitím jejího strojového vybavení. Děkuji také své rodině, která mi umožnila studovat a během studia mě podporovala.

Obsah

Úvod.....	8
1 Literární přehled.....	9
1.1 Tahové vlastnosti a charakteristika traktorů	9
1.1.1 Měření tahové charakteristiky traktoru	9
1.1.2 Úprava tahové charakteristiky.....	10
1.2 Pneumatiky.....	11
1.2.1 Diagonální konstrukce pneumatik.....	12
1.2.2 Radiální konstrukce pneumatik.....	13
1.2.3 Nízkotlaké pneumatiky	14
1.2.4 Hybridní traktorové pneumatiky	14
1.3 Dvoumontáž pneumatik	16
1.4 Pásové podvozky.....	16
1.5 Změna tlaku v pneumatikách	17
1.5.1 Základní způsob změny tlaku v pneumatikách	18
1.5.2 Přenosný systém pro huštění pneumatik	18
1.5.3 Systém centrálního huštění pneumatik.....	19
1.5.4 Změna tlaku v pneumatikách dle zatížení.....	20
1.5.5 Volba tlaku vzduchu v pneumatikách	21
1.6 Dotížení traktoru	21
2 Cíl.....	24
3 Metodika	25
3.1 Stroje využité pro pokus.....	25
3.2 Volba pozemku pro účely pokusu.....	26
3.3 Příprava před vlastním měřením	26
3.4 Měření na pozemku.....	27

3.5	Výpočet plošné výkonnosti a spotřeby pohonných hmot	28
3.6	Výpočet skutečné pracovní rychlosti a prokluzu kol	29
3.7	Výpočet styčné plochy a kontaktního tlaku pneumatik	30
3.8	Výpočet nákladů a jejich úspor	31
3.9	Výpočet návratnosti investice	33
4	Výsledková část	34
4.1	Varianta 1	34
4.1.1	Zpracování půdy.....	34
4.1.2	Náklady na zpracování půdy	35
4.2	Varianta 2	36
4.2.1	Zpracování půdy.....	36
4.2.2	Náklady na zpracování půdy	37
4.3	Varianta 3	38
4.3.1	Zpracování půdy.....	38
4.3.2	Náklady na zpracování půdy	39
4.4	Varianta 4	40
4.4.1	Zpracování půdy.....	40
4.4.2	Náklady na zpracování půdy	41
4.5	Srovnání výsledků měřených variant	42
4.6	Úspory a návratnost investice do systému regulace tlaku v pneumatikách	49
4.6.1	Varianta 2	49
4.6.2	Varianta 3	49
4.6.3	Varianta 4	49
5	Diskuse.....	51
	Závěr	55
	Seznam použité literatury.....	56
	Seznam obrázků	59

Seznam tabulek	60
----------------------	----

Úvod

Moderní zemědělská technika je díky vývoji nesrovnatelná se stroji vyrobenými na konci minulého století. Rozdíly jsou znatelné na větších pracovních záběrech strojů určených pro zpracování půdy, vyšších hektarových výkonnostech, nižší spotřebě pohonných hmot zásluhou moderních a výkonnějších motorů, většímu pohodlí pro obsluhu díky odpružení kabin a náprav traktorů.

Vyšší výkon, který poskytují moderní traktory určené pro polní práce, je nutné přenést na půdu, aby byl efektivně využit v tahu připojeného náradí a aby se minimalizovaly ztráty výkonu prokluzem pneumatik po povrchu půdy a zvýšená spotřeba pohonných hmot díky prokluzu. Tuto problematiku řeší vhodné pneumatiky či pásové jednotky osazené na traktoru a jeho správné dotížení přídatnými závažími. Touto problematikou se zabývá tato diplomová práce, je zde porovnáno několik variant nahuštění pneumatik společně s dotížením traktoru pro nalezení optimálního nastavení, které bude mít vliv na efektivnější provoz zvolené soupravy.

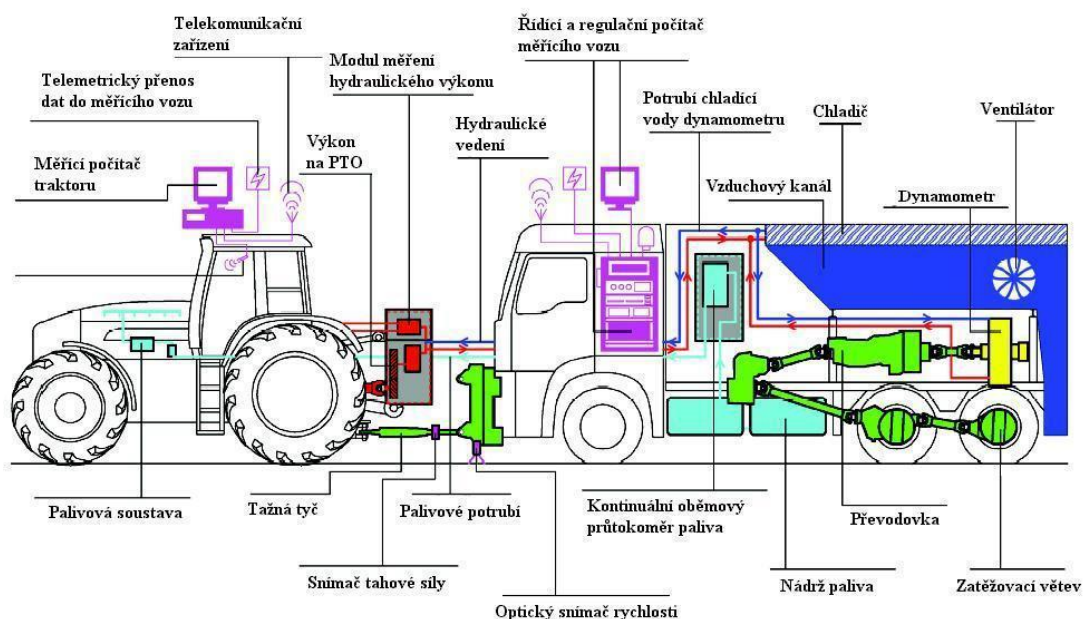
1 Literární přehled

1.1 Tahové vlastnosti a charakteristika traktorů

Tahové vlastnosti jsou jedním z nejdůležitějších parametrů traktorů, jelikož jsou využívány především při práci v tahu. Pro tahové práce jsou využívány především traktory s pohonem obou náprav. Souhrn tahových vlastností se nazývá tahová charakteristika, jež se stanovuje v celém rozsahu pracovních režimů a skládá se z tahového výkonu P_t , prokluzu kol δ , měrné tahové spotřeby pohonných hmot m_{pt} , tahové síly F_t a na ní vázaných dalších parametrů. Současně znázorňuje vztahy mezi těmito vlastnostmi (Bauer et al., 2013).

1.1.1 Měření tahové charakteristiky traktoru

Pro měření tahových charakteristik jsou stanoveny metodiky, podle kterých se tato měření provádí. Tahové zkoušky se realizují na zkušebních dráhách, které jsou s betonovým nebo živičným povrchem, na strniště po sklizni obilnin nebo na pozemku po předseťové přípravě. Tahové ukazatele traktoru se získávají pomocí zatěžovacího vozidla, kterým bývá speciální nákladní automobil viz obrázek 1.1 (Bauer et al., 2013).



Obrázek 1.1: Souprava traktoru a zatěžovacího vozidla při měření tahové charakteristiky traktoru (Bauer et al., 2013)

Toto vozidlo působí brzdou silou na přípojné zařízení traktoru. Brzdový systém zatěžovacího vozidla je vytvořený tak, že během zkoušky umožňuje nastavit požadovanou velikost zatěžovací síly a po celou dobu zkoušky tuto hodnotu udržet na stanovené úrovni. Zkoušené vozidlo, v tomto případě traktor, je se zatěžovacím

vozidlem propojen tažnou tyčí se snímačem tahové síly a pro možnost měření spotřeby pohonných hmot jsou vozidla propojena palivovým potrubím. Zátěžové vozidlo může být nahrazeno jiným traktorem, například při provádění tahových zkoušek na poli. Jejich výsledky ovlivňují povětrnostní podmínky, stav a povrch zkušební dráhy a zvolených pneumatik traktoru, proto je možné využívat i laboratorní testy na válcových dynamometrech nebo měření výkonu na nápravách traktoru. Zkoušení tahových vlastností se provádí při ustálených režimech měřeného vozidla, což jsou standardní tahové zkoušky, anebo je možné využívat plynulé změny zatížení. U standardních tahových zkoušek je nutné naměřené údaje korigovat setrvačnými účinky, tyto korekce u metody s plynulou změnou zátěže odpadají.

Výkon, který je naměřen při tahové zkoušce, je nižší než výkon, který lze naměřit na vývodovém hřídeli traktoru. To je způsobeno ztrátami v převodech, ztrátami valením a prokluzem kol.

Při tahových zkouškách se zjišťuje zejména tahová síla, teoretická a skutečná rychlost pojezdu, spotřeba pohonných hmot. Posléze jsou tyto naměřené údaje vyhodnoceny a přeneseny do tahové charakteristiky. Výsledky jsou přeneseny do grafů a tabulek pro lepší přehlednost a vizuální náhled.

Jedním z důležitých ukazatelů je tahová účinnost traktoru. To je schopnost traktoru v daných podmínkách převést výkon motoru na tahový výkon. Ten je snižován prokluzem kol, proto je potřebné sledovat závislost prokluzu na tahové síle nebo součiniteli záběru, to je poměr hnací síly a tíhy traktoru (Bauer et al., 2013).

Optimální prokluz kol traktoru se pohybuje mezi 3–4 % na tvrdé podložce, například betonu nebo asfaltové silnici, na pevné půdě 8–10 %, například pole po sklizni hlavní plodiny, a 11–13 % na obdělané půdě, což může být během předset'ové přípravy půdy. Nadměrný prokluz kol je neekonomický a poškozuje ornici (Janulevičius a Damanauskas, 2022).

1.1.2 Úprava tahové charakteristiky

Tahovou charakteristiku lze ovlivnit pomocí osazení traktoru přídatnými závažími pro zvýšení jeho hmotnosti, anebo změnu rozložení hmotnosti mezi nápravami traktoru. Pokud traktor dotížíme pomocí přídatného závaží, dojde ke zvýšení maximální tahové síly. Dotížením přispíváme ke snížení ztrát výkonu prokluzem. Pokud však není požadována velká tahová síla, ale naopak je potřebná vyšší pojezdová rychlost, to mohou být například lehké tahové práce při sklizni pícnin, kde je výkon přenášen zejména pomocí vývodového hřídele, anebo využití traktoru při dopravě, je potřebné

zvážit toto dotížení. Dotížením při takovýchto operacích dochází ke ztrátám výkonu z důvodu zvýšení valivého odporu. V takovýchto případech je přídatné závaží použito zejména za účelem dotížení přední nápravy traktoru, tedy k zachování říditelnosti při jízdě (Bauer et al., 2013).

Tahové vlastnosti traktoru jsou nejvíce ovlivněny stykem s podložkou, jelikož se zvyšováním hmotnosti pro zvýšení tahové síly dochází i ke zvýšení utužení. Jinou cestou ke zlepšení tahové vlastnosti je zvětšit styčnou plochu pneumatik s podložkou. Díky tomu lze navýšit tahovou sílu při stejném zatížení. Na tomto principu fungují pásové podvozky využívané na traktorech, sklízecích mlátičkách a jiných strojích (Sedlák a Bauer, 2004).

1.2 Pneumatiky

Pojem pneumatika představuje plášť, v některých případech plášť s duší. Pláštěm se nazývá vnější část pneumatiky, která je v přímém kontaktu s podložkou a patkou spojena s ráfkem traktoru. Duše se používá u pneumatik, jejichž konstrukce ji vyžaduje, tyto pneumatiky bývají označeny písmeny TT (tubetype). U bezdušových pneumatik, jak již z názvu vyplývá, funkci duše zastává plášť, bezdušové pneumatiky se označují TL (tubeless).

Pneumatiky jsou tvořeny ze tří základních složek, nejvíce zastoupena je v pneumatikách pryž, ta tvoří 80–85 %, další složkou jsou vlákna zastoupená 12–16 % a třetí složkou je ocelový drát tvořící 2–3 % pneumatiky, zbylá část připadá na přísady, jako jsou saze, textilie, oleje a další suroviny.

Plášť pneumatiky se skládá z běhounu, kostry, bočnic, patky a nárazníkové vrstvy. Patka je v přímém kontaktu s ráfkem stroje, s její pomocí jsou přenášeny obvodové síly a u bezdušových pneumatik zajišťuje vzduchotěsnost. Běhoun je v přímém kontaktu s podložkou. U automobilových pneumatik bývá doplněn indikátorem opotřebení pneumatiky TWI (tread wear indicator). Běhoun traktorových záběrových pneumatik je tvořen šípovým vzorem pro lepší přenos výkonu na nezpevněné podložce.

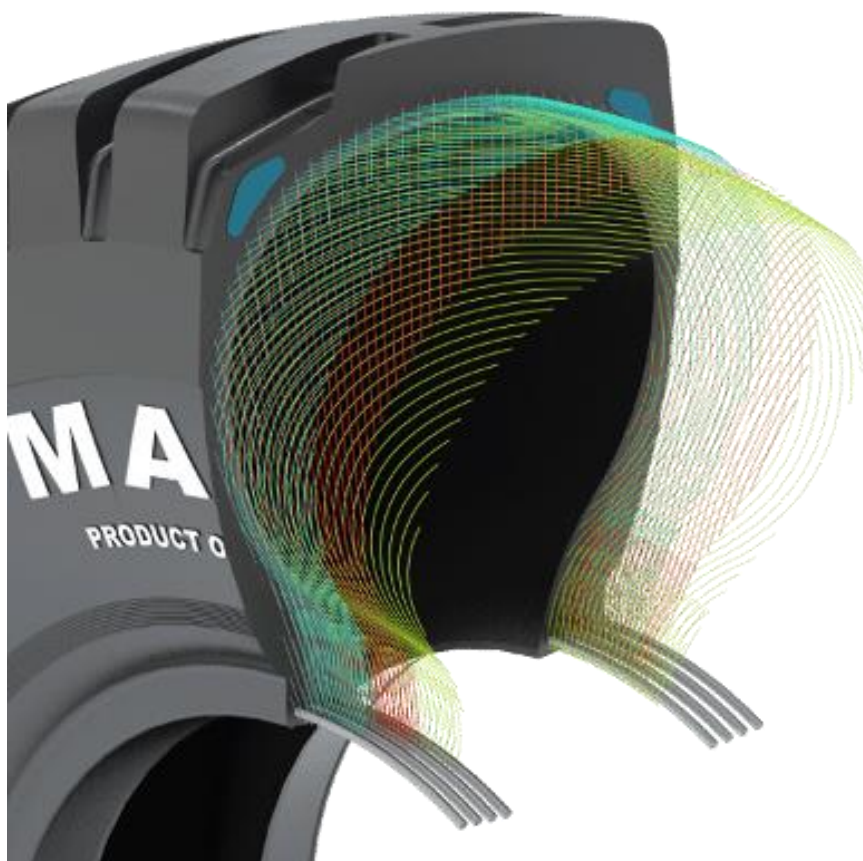
Tvoří nosný prvek nesoucí veškerou hmotnost traktoru včetně náradí, které může být k traktoru připojeno, a rovněž jsou díky pneumatikám přenášeny hnací a brzdící síly, to napomáhá bezpečnému provozu. Pneumatiky jsou díky svým pružným vlastnostem součástí odpružení traktoru. Správná volba pneumatik tedy ovlivňuje výsledný komfort a tahové vlastnosti traktoru a nevhodně zvolenými pneumatikami

lze mnohé ztratit. Největší vliv na vlastnosti pneumatiky má konstrukce kostry, ovlivňuje zejména styčnou plochu, nosnost pneumatik a jejich valivý odpor. Dle konstrukce kostry se pneumatiky rozdělují na diagonální a radiální (Bauer et al., 2006).

1.2.1 Diagonální konstrukce pneumatik

Předností diagonálních pneumatik je zejména jejich odolnost vůči vpichu na bočnici i v běhounu. Díky této vlastnosti jsou využívány zejména u lesní a manipulační techniky. Vlákná z textilie zalisovaná do pryže tvoří jednotlivá plátna pláště, větší počet pláten dodává pneumatice vyšší odolnost proti průrazu a vyšší nosnost (Fuka, 2018).

U diagonálních pneumatik jsou vlákna tvořící kostru pokládána křížem přes sebe úhel, který svírají s podélnou osou pláště je 30–40°. Tato skladba pláten tvořící kostru diagonální pneumatiky je znázorněna na obrázku 1.2 (Bauer et al., 2006).



Obrázek 1.2: Průřez diagonální pneumatikou (MagnaTyres.com, 2023)

1.2.2 Radiální konstrukce pneumatik

Jednou z hlavních výhod, které nabízí radiální konstrukce pneumatik, je vyšší komfort při jízdě ve srovnání s diagonálními pneumatikami. Radiální pneumatiky lépe pohlcují nerovnosti podložky. Dalším přínosem radiální konstrukce kostry je větší styčná plocha pneumatiky s podložkou, která přispívá k nižšímu utužení půdy a také vyšší trakci. Styčná plocha pneumatiky s podložkou se zvětšuje do délky. Kostra pneumatiky se skládá z vnější a vnitřní části, vnější vrstva kostry slouží jako nárazník a zpevňuje oblast běhounu proti průrazu. Vlákná kostry se protahují okolo ocelových lan, která vytvářejí patku pneumatiky a vracejí se po vnější straně zpět směrem k běhounu. U radiálních pneumatik končí vlákna vnitřní kostry ve výšce 16–17 cm nad lanem (Fuka, 2018).

Textilní vlákna tvořící vnitřní vrstvy pneumatiky jsou u radiální konstrukce ukládána kolmo na podélnou osu pneumatiky. Vlákná tvořící vnější vrstvu kostry svírají s podélnou osou pneumatiky úhel 10–30°, toto složení kostry radiální pneumatiky je vidět na obrázku 1.3 (Bauer et al., 2006).



Obrázek 1.3: Průřez radiální pneumatikou (MagnaTyres.com, 2023)

1.2.3 Nízkotlaké pneumatiky

Společnost Michelin vyvinula technologii Ultraflex, která se vyznačuje větší pružností bočnic, aniž by byla snížena životnost pneumatik. Pneumatiky umožňující provoz při snížených pracovních tlacích mají několik hlavních výhod. Jednou z nejdůležitějších je jejich ochrana proti utužení půdy, té je dosaženo větší styčnou plochou díky možnosti pracovat při nižších tlacích v pneumatikách. Zvýšením styčné plochy se nejen snižuje utužení půdy, ale současně dochází i ke snížení spotřeby paliva díky vyšší trakci. Tyto pneumatiky nabízejí nejen možnost pracovat při nižších tlacích, ale s touto vlastností přímo souvisí i jejich vyšší nosnost oproti klasickým radiálním pneumatikám.

U nízkotlakých pneumatik se setkáme s označením IF nebo VF. IF je označení pro zvýšenou flexi bočnic, zástupcem jsou například pneumatiky Michelin AxioBib, tyto pneumatiky mají o 20 % vyšší nosnost při stejném tlaku oproti běžným radiálním pneumatikám. Označení VF znamená velmi vysokou flexi, takovéto pneumatiky mají až o 40 % vyšší nosnost při stejném tlaku, nebo je možné při stejném zatížení snížit tlak v pneumatikách až o 40 %. Zástupcem od firmy Michelin jsou pneumatiky produktové řady XeoBib (Bauer et al., 2013).

Lze se setkat i s pneumatikami označenými IF nebo VF a současně s označením CFO. CFO je zkratka pro cyklické polní operace, při kterých se v průběhu práce opakovaně mění zatížení. Tyto pneumatiky jsou tedy nejčastěji využívány na sklízecích mlátičkách, kde se zatížení mění podle úrovně naplnění zásobníku. Tyto pneumatiky mají až o 55 % vyšší nosnost při stejném provozním tlaku oproti klasickým běžným pneumatikám (Stehno, 2023).

1.2.4 Hybridní traktorové pneumatiky

Jak už název napovídá, tyto pneumatiky v sobě spojují vlastnosti komunálních a klasických traktorových pneumatik. Od komunálních pneumatik převzaly zvýšenou životnost a nižší spotřebu pohonných hmot na silnici, toho je dosaženo pomocí středového běhounu, který tvoří pryžové bloky umístěné hustě za sebou, jako je tomu u komunálních pneumatik. Naopak při provozu na poli se dostávají do záběru žebra tvořící šípový vzor, jak jsme zvyklí z klasických traktorových pneumatik. Dežén těchto pneumatik je ukázán na obrázku 1.4. Hybridní pneumatiky jsou zpravidla nízkotlaké typu VF a je vhodné je používat v kombinaci s centrálním systémem huštění pneumatik, aby bylo možné maximálně využít jejich vlastnosti na silnici a na poli. Na poli jsou pneumatiky díky jejich konstrukci a snížení tlaku

vzduchu schopny zvětšit styčnou plochu o téměř 50 % oproti styčné ploše, s níž se pohybují po silnici. Tyto pneumatiky jsou velmi vhodné pro traktory, které jsou využívány v kombinovaném provozu přepravy komodit, kde dosáhneme nižší spotřeby a vyššího komfortu na silnici a následně během polních prací, kde nám tyto pneumatiky pomohou snížit prokluz, zvýšit výkonnost a snížit utužení půdy (Jedlička, 2023).



Obrázek 1.4: Dezén hybridních traktorových pneumatik Michelin EvoBib (Jedlička, 2023)

Za hybridní pneumatiku lze též označit koncept firmy Mitas nesoucí název PneuTrac. Tuto pneumatiku lze označovat za hybridní, jelikož v sobě kombinuje vlastnosti traktorové radiální pneumatiky a pásového podvozku. Právě díky těmto vlastnostem dosahuje nižšího prokluzu a utužení půdy a to napomáhá zvyšovat efektivitu práce. Tyto pneumatiky se odlišují nejen použitou směsí, která jim dává dostatečnou flexibilitu, ale také vlastní konstrukcí bočnice. Pneumatiky PneuTrac je možné provozovat při nižším tlaku v pneumatice až o 62,5 % oproti klasické radiální pneumatice. Při testech pneumatiky o rozměru 600/65R38 byly získány výsledky ukazující až o 26 % vyšší trakci ve srovnání se standardní pneumatikou a přibližně o 14 % více oproti nízkotlaké VF pneumatice. Koncept PneuTrac vykazoval nejvyšší tahovou sílu mezi srovnávanými pneumatikami, díky čemuž traktor dosahoval nejlepší tahové účinnosti. Zásahu na tom má velká styčná plocha a rovnoměrný kontakt pneumatiky s půdou (Pražan et al., 2016).

Tento koncept převzal výrobce zemědělských pneumatik Trelleborg, který jej dále vyvíjí. Trelleborg tyto pneumatiky směřuje zejména do vinic a sadů pro speciální traktory, které se při těchto pěstebních operacích používají. Traktor s pneumatikami PneuTrac ve vinici lze vidět na obrázku 1.5. Ve vinících a sadech se uplatní vlastnosti této pneumatiky při ochraně půdy a kořenů nízkým utužením, ale také velmi dobrou trakcí při práci ve svazích, kde se často vinice nachází (Karásková, 2018).



Obrázek 1.5: Traktor New Holland vybavený pneumatikami Trelleborg PneuTrac (Karásková, 2018)

1.3 Dvumontáž pneumatik

S dvumontáží pneumatik se dnes setkáváme například při speciálních operacích, jako jsou setí, meziřádková kultivace či hnojení organickými hnojivy u širokořádkových plodin, jako je například kukuřice. Tato dvumontáž je sestavena tak, že mezi dvěma kultivačními pneumatikami procházejí řádky již vzrostlých plodin, nebo se zde řádek bude nacházet a my jej nechceme utužovat přejezdem techniky (Hruška, 2023).

1.4 Pásové podvozky

Pásové podvozky byly vyvinuty zejména kvůli narůstající hmotnosti traktorů a jejich malé průchodnosti terénem. Pásový podvozek byl patentován již v roce 1904 a představuje řešení několika problémů moderních traktorů. Postupným trendem zvyšování výkonnosti traktorových souprav se zvyšovaly i výkony motorů a hmotnost tažného prostředku, ale i agregovaného příslušenství. Pásový podvozek dokáže díky

velké styčné ploše s půdou velmi účinně přenést vysoký výkon motoru a současně minimalizovat utužení půdy. Velká styčná plocha pásových jednotek umožňuje zmenšit šířku stroje a tím splnit maximální transportní šířku 3 metry (Bauer et al., 2006).

V dnešní době jsou u traktorů využívány především pryžové pásy, s ocelovými se setkáme spíše ve stavebnictví. Šířka pásu se nejčastěji pohybuje v rozmezí od 400 do 920 mm. Vnější stranu pásu tvoří šípový dezén podobný dezénu traktorových pneumatik, na vnitřní straně jsou prostředkem pásu umístěny pryžové bloky, které zabráňují příčnému posuvu pásu.

U traktorů osazených pásovým podvozkem se lze setkat s dvěma způsoby řízení. Prvním způsobem je diferenciální řízení, s tím se setkáme u dvoupásových traktorů, jejichž zástupcem jsou pásové traktory Challenger. Tento systém pracuje pomocí změny otáček jednotlivých pásů, tedy při zatažení doleva se rychlost levého pásu sníží a naopak, tímto způsobem změny směru jízdy dochází k poškozování podložky a vyššímu opotřebení pásů. Druhou možností řízení traktorů s pásovými jednotkami je kloubové řízení. Kloubové řízení využívá dělený rám traktoru, kde se pomocí přímočarých hydromotorů zajišťuje jejich natáčení rámu vůči sobě. Rám bývá výkyvný i ve svislém směru, což zajišťuje lepší kopírování nerovností. Typickým zástupcem pásových traktorů s kloubovým řízením jsou traktory Case IH Steiger Quadtrac (Bauer et al., 2013).

1.5 Změna tlaku v pneumatikách

Důvodů, proč optimalizovat tlak v pneumatikách dle aktuálních pracovních podmínek, je několik. Nižší tlak v pneumatikách na optimální hodnoty přispívá ke zlepšení tahových vlastností, snížení spotřeby pohonných hmot a také k nižšímu utužení půdy. Vyšší tlak v pneumatikách je naopak vhodný například během využití traktoru při přepravě komodit v průběhu sklizně, a to díky snížení valivého odporu pneumatik na silnici a tím nižší spotřebě pohonných hmot. Většina obsluh traktorových souprav je si tohoto vědoma, avšak ne všichni pracovníci využívají těchto možností. Důvodem je například absence vybavení, které by urychlilo změnu tlaku v pneumatikách.

Naskytuje se zde několik možností, s jejichž pomocí můžeme regulovat tlak v pneumatikách. Jsou od sebe odlišné výši investice, rychlostí změny tlaku v pneumatikách a komfortem obsluhy konkrétního systému (Fuka, 2017).

1.5.1 Základní způsob změny tlaku v pneumatikách

Nejzákladnějším způsobem, s jehož pomocí lze měnit tlak v pneumatikách, je využití klasického kompresoru umístěného například v prostorách dílny či jinde v areálu podniku. Tento způsob, ačkoliv je levný, jelikož je při něm využito již dostupné vybavení, má několik zásadních nevýhod. Je velmi zdlouhavý, což není příjemné ani pro obsluhu, ani pro zaměstnavatele, jelikož stroj s obsluhou nepracují a tento čas stojí peníze navíc. Další nevýhodou je využití nižšího tlaku huštění pneumatik při provozu na silnici, kdy dochází k jejich zvýšenému opotřebení, zvyšuje se valivý odpor pneumatiky a tím současně roste spotřeba pohonných hmot. Traktor se při jízdě s podhuštěnými pneumatikami může pohybovat nižší pojezdovou rychlostí, to je dáno nosností pneumatiky při určité rychlosti a tlaku vzduchu v pneumatice. Tento způsob změny tlaku v pneumatikách je vhodný spíše pro krátké přejezdové vzdálenosti mezi pozemky a pro dlouhodobější využití traktoru při konkrétní aplikaci, tedy v případech, kdy není potřebné často regulovat tlak vzduchu v pneumatikách (Fuka, 2017).

1.5.2 Přenosný systém pro huštění pneumatik

Sofistikovanějším způsobem je využití sady pro rychlou změnu tlaku v pneumatikách dodávané v přenosném kufríku. Kufríková sada obsahuje hlavici s rychlospojkou, hadici a manometr s ventilem pro nahuštění či podhuštění pneumatik. Součástí této sady jsou také tak zvané rychloventilky, které se snadno a bez demontáže pneumatiky či kol z traktoru namontují místo původního ventilku. Původní ventil bránil rychlé změně tlaku v pneumatice, proto se vyšroubuje a namísto něj se našroubuje rychlospojka, která plní stejnou funkci a umožňuje větší průtok vzduchu. Tím je dosaženo podstatně nižšího času regulace tlaku v pneumatikách. Tento systém se připojuje na brzdovou soustavu traktoru, konkrétně na plnicí větev dvouhadicových vzduchových brzd, která je označena červenou krytkou spojovací hubice. To umožňuje změnu tlaku kdekoliv a současně v poměrně nízkém čase. Díky této vlastnosti lze pro delší přejezdy mezi pozemky zvýšit tlak v pneumatikách a tak se pohybovat vyšší pojezdovou rychlostí a současně zvýšit životnost pneumatik. Po příjezdu na pozemek se pouze nasadí na rychlospojku manometr s kulovým ventilem a nastaví požadovaný tlak v pneumatikách, který nám zaručí co nejlepší vlastnosti při práci na poli. Tento způsob regulace tlaku vzduchu v pneumatikách se nejlépe uplatní u strojů, které pracují převážně při polních pracích nebo se během dne pohybují převážně po pozemcích. Tlak v pneumatikách zvýší, pouze pokud je čeká delší přesunová vzdálenost na pozemek jiný (Hruška, 2015).

1.5.3 Systém centrálního huštění pneumatik

Nejmodernějším způsobem pro změnu tlaku v pneumatikách je centrální systém huštění pneumatik. S jeho pomocí lze změnit tlak vzduchu v pneumatikách z pohodlí kabiny traktoru pouhým stiskem tlačítka. Stroj, který je vybavený centrálním huštěním pneumatik, lze ve většině případů poznat na první pohled. Poznáme to dle vedení vzduchu přes vnější stranu blatníků ke středům jednotlivých kol. Ke středu kola je připevněn otočný převodník, od kterého je propojen ráfek hadicí s tímto převodníkem. Ovládání je zajištěno pomocí ovládacího panelu, který je součástí tohoto systému, anebo je možné tyto systémy ovládat přímo z terminálu traktoru díky propojení přes ISOBUS. Pro změnu tlaku je možné využívat kompresor vzduchotlakých brzd traktoru anebo pro urychlení procesu změny tlaků je možné traktor dovybavit přídatným pístovým nebo šroubovým kompresorem. Pohon přídatných kompresorů může být zajištěn mechanicky anebo pomocí rotačního hydromotoru. Šroubový kompresor dosahuje výkonnosti až $2500 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Je možné se setkat i s vedením vzduchu vnitřkem nápravy, pokud je to výrobcem umožněno. Zde je hlavní výhodou nižší riziko poškození, například pokud traktor uvízne na podmáčeném pozemku, kde by mohlo dojít k poškození vnějšího vzduchového vedení. Centrální systém huštění pneumatik je, co se týče výše investice, z těchto možností nejdražší, avšak při správném využití je tato investice velmi výhodná díky snížení nákladů na pohonné hmoty, prodloužení životnosti pneumatik i o 1000 motohodin a samozřejmě díky ochraně půdy před jejím nadměrným utužováním. Nejlépe se tento systém využije při častém střídání pohybu po poli a silnici, příkladem může být aplikace průmyslových hnojiv před setím nebo při aplikaci organických hnojiv, při nichž se nevyužívají soupravy určené pouze pro přepravu po silnici od jímky k místu aplikace (Beneš, 2009).

Systém centrálního huštění pneumatik je možné využívat nejen na traktorech, ale i na přípojných zařízeních, jako jsou cisterny, rozmetadla hnoje, překládací vozy nebo traktorové návěsy. Tento systém nabízí firma Michelin pod označením CTIS. Při využití systému centrálního huštění jsou výše uvedená přípojná zařízení osazena nízkotlakými pneumatikami VF pro maximální využití tohoto půdoochranného systému. Při tomto využití je nutné návěs či cisternu dovybavit přídatným kompresorem s hydraulickým pohonem, jelikož kompresor, který využívají vzduchotlaké brzdy traktoru, není dostatečně výkonný a změna tlaku ve všech pneumatikách soupravy by trvala příliš dlouho (Beneš, 2023).

Unikátní systém regulace tlaku v pneumatikách vyvinula firma Mitas ve spolupráci s výrobcem zemědělské techniky Fendt. Jedná se o systém AirCell. Tento systém je tvořen duší vyztuženou pomocí textilního kordu a přepouštěcího mechanismu. Systém byl vyvinutý s myšlenkou zkrácení doby čekání během změny tlaků v pneumatikách, při níž musí obsluha stát na místě a tím současně snížit spotřebu pohonných hmot, kterou tyto prostoje zvyšují. Čas změny tlaku vzduchu v pneumatikách je rychlejší díky tomu, že systém AirCell vyplňuje přibližně 30 % objemu pneumatiky. Vnitřní duše Mitas AirCell je vyrobena z pevného a tvarově stálého materiálu i při vysokém tlaku nahuštění, tím je zaručený nezměněný objem pneumatiky v závislosti na nahuštění systému. Tímto je v pneumatikách menší objem vzduchu, jehož množství je potřebné odstranit, či naopak jej zpětně naplnit. Dalším důvodem, proč tento systém zrychluje změnu tlaku v pneumatikách, je nahuštění vnitřní duše AirCell na tlak až 800 kPa. Tento tlak je možné z této duše přepouštět do pneumatiky a tak rychle zvýšit tlak v pneumatikách (Jedlička, 2016).

1.5.4 Změna tlaku v pneumatikách dle zatížení

S tímto systémem se můžeme setkat u moderních sklízecích mlátiček. Vyvinula ho firma Trelleborg ve spolupráci s výrobcem zemědělské techniky Fendt. Systém se nazývá VIP, což je zkratka pro Variable Inflation Pressure. Tento systém automaticky dle naplnění zásobníku reguluje tlak v předních pneumatikách sklízecí mlátičky. Tyto mlátičky jsou osazovány širokými pneumatikami pro snížení tlaku na půdu, avšak při naplnění zásobníku, jejichž objem stále roste, je utužení půdy znatelné i po následovné podmítce. Řešením může být vybavení sklízecí mlátičky pásovými jednotkami místo kol na přední nápravě, anebo použití systému pro regulaci tlaku v pneumatikách dle aktuálních podmínek. Tento systém pomocí senzorů snímá hmotnost sklízecí mlátičky, teplotu a tlak v pneumatikách a dle těchto údajů je prostřednictvím řídicí jednotky ovládán kompresor a jednotlivé ventily. Celý tento systém je integrován do ráfků předních kol a lze jej ovládat pomocí mobilní aplikace (Jedlička, 2017).

S obdobným systémem se lze setkat u tažených a samojízdných postřikovačů. Tyto stroje bývají vybaveny úzkými kultivačními pneumatikami z důvodu nižšího poškození porostu a užších kolejových rádků. Hlavní nevýhodou je zde rozložení velké hmotnosti postřikovače na velmi malou styčnou plochu. Toto způsobuje nadměrné utužení v oblasti kolejových rádků, které negativně působí na okolní rostliny, zejména na jejich kořenový systém, a také na půdu, ve které jsou nadměrným tlakem vytvářeny hluboké koleje. V nich může po dešti zůstat voda kvůli zhoršenému vsakování a tím

opětovně zhoršovat podmínky aplikace přípravků na ochranu plodin a hnojiv a na svazích takto vytvořené koleje tvoří koryto pro proud vody, který se přemění na vodní erozi půdy. Z těchto důvodů je vhodnější používat širší pneumatiky v kombinaci se systémy regulace tlaku dle naplnění nádrže na postřikovou jíchu. Díky tomu je dosaženo nižšího utužení půdy, lepšího vsakování dešťových srážek i v kolejových řádcích (Beneš, 2009).

1.5.5 Volba tlaku vzduchu v pneumatikách

Nastavení správného tlaku vzduchu v pneumatikách, který zaručí maximální styčnou plochu a současně nebude snižovat životnost pneumatiky, závisí zejména na zatížení nápravy a pracovní rychlosti. Vliv na správné nastavení tlaku v pneumatikách má také druh vykonávané práce a podložka, po které se budeme pohybovat (Bauer, 2013).

Výrobci traktorových pneumatik na tuto problematiku reagují prostřednictvím aplikací pro mobilní telefony, jež dokáží po zadání požadovaných parametrů vypočítat a doporučit vhodný tlak vzduchu v pneumatikách. Pro usnadnění zadávání některých parametrů, jako jsou rozvor náprav nebo vzdálenost tříbodového závěsu od středu nápravy, disponují tyto aplikace možností fotografování stroje a umístění bodů s těmito parametry na vyhotovené fotografii. Dále se do aplikace zadávají typ a rozměr pneumatik na přední a zadní nápravě, zatížení přední a zadní nápravy, hmotnost připojeného zařízení a typ jeho připojení k traktoru (Beneš, 2016).

1.6 Dotížení traktoru

Bývalo běžné plnit traktorové pneumatiky kapalinou, a to nejčastěji vodou. Tento způsob však není vhodný využívat současně s moderními pneumatikami, a to z hlediska jejich konstrukce, ale i kvůli bezpečnosti při provozu po pozemních komunikacích. Pneumatiky naplněné kapalinou mají negativní vliv na jízdu a její dynamiku a také je na vozilo přenášeno větší množství vibrací, které negativně ovlivňují konstrukci vozidla, ale také zdraví obsluhy (Beneš, 2022).

Mezi další negativa pneumatik naplněných kapalinou patří také zhoršené záběrové vlastnosti oproti použití klasického závaží, to je způsobeno tím, že pneumatika naplněná vodou nezvětšuje styčnou plochu s podložkou. Při potřebě traktor odlehčit je nutné kapalinu z pneumatik vypustit, což je zdlouhavý proces, jelikož se využívá otvor pro ventilek, který má malý průměr. Další problémy může způsobit, pokud zamrzne voda v pneumatikách, anebo koroze disku (Stehno, 2023).

Dalším a vhodnějším způsobem k dotížení traktoru a zlepšení jeho tahové vlastnosti je použit správnou kombinaci různých závaží. Máme na výběr z několika možných typů závaží. Jsou to čelní závaží určená pro uchycení na držáku, tato závaží nám nabízejí velkou variabilitu, jelikož jsou nejčastěji vyrobena jako jednotlivé desky, se kterými lze snadno manipulovat a podle potřeby je přidávat, nebo ubírat. Další variantou jsou monobloková závaží, ta jsou nejčastěji využívána v kombinaci s čelním tříbodovým závěsem, který nám poskytuje možnost rychlého dotížení, nebo odlehčení přední nápravy traktoru. Pro zadní nápravu jsou využívána vnitřní a vnější závaží zadních kol. U traktorů s dvoupásovým podvozkem se lze setkat s držáky na závaží i na pásových jednotkách. Při práci v tahu jsou traktory s dvoupásovým podvozkem v přední části odlehčovány, tím se snižuje styčná plocha a z důvodu minimalizace tohoto jevu se instalují do pásových jednotek přídavná závaží. Je nutné správně kombinovat přídavná závaží vzhledem k maximálnímu zatížení náprav, nosnosti pneumatik a rozložení hmotnosti mezi přední a zadní nápravu traktoru (Beneš, 2013).

Rozložení hmotnosti mezi nápravami traktoru je závislé na konstrukci podvozku traktoru. U traktorů, které mají hnanou pouze zadní nápravu a jejichž přední náprava slouží pouze jako řídicí, má zatížení přední nápravy význam pouze pro zachování říditelnosti a bezpečnosti jízdy. Zatížení přední nápravy v tomto případě postačuje 20 % a zbylých 80 % hmotnosti připadá na zadní nápravu. Traktory s připojitelným pohonem přední nápravy vyžadují jiné rozložení hmotnosti, a to z důvodu správného přenosu výkonu na podložku. U těchto traktorů se nejčastěji setkáme s poměrem rozložení hmotnosti 40/60 nebo 45/55, tedy 40 %, respektive 45 % hmotnosti připadá na přední nápravu, a 55 %, respektive 60 % hmotnosti zatěžuje zadní nápravu. Traktory s kloubovým řízením mají poměr rozložení hmotnosti mezi nápravami opačný, přední náprava je zde zatížena více než zadní. Toto řešení využívá přenos části hmotnosti na zadní nápravu při tahu a tím dojde k rovnoměrnému zatížení obou náprav. Při dotěžování traktoru bychom měli mít na mysli jeho nejvyšší dovolené zatížení a nepřekračovat jej v ohledu na možné poškození stroje a nižší bezpečnost jízdy (Stehno, 2009).

Výrobce zemědělské techniky John Deere společně s firmou La Forge vyvinuli unikátní přídavné závaží určené pro traktory John Deere řady 7R. Toto závaží umožňuje traktor dotížit o 1 700 kilogramů a současně zachovat rozložení hmotnosti mezi nápravami traktoru. Toto závaží se totiž upevňuje na nosný rám připevněný

k podvozku traktoru mezi jeho nápravami. Na tento rám se připojí pomocí háku, který je spuštěn dolů pomocí přímočarého hydromotoru, po spuštění háku traktor najede nad závaží, zvedne jej nahoru a hák se závažím se zajistí ve zvednuté poloze. Připojení závaží lze vidět na obrázku 1.6. Díky tomuto lze ve velmi krátkém čase lehký traktor, který byl využit při přepravě komodit, dotížit a vhodně využít jeho výkon při zpracování půdy. V momentě, kdy je traktor osazený tímto závažím, zmenší se jeho světlá výška o čtyři centimetry (Fuka, 2020).



Obrázek 1.6: Připojování závaží EZ Ballast k traktoru (Deschamps, 2022)

2 Cíl

Cílem práce je provedení měření exploatačních parametrů traktoru s rozdílnými tlaky v pneumatikách.

1. Která kombinace tlaků v pneumatikách v kombinaci s dotížením traktoru má lepší exploatační parametry?
2. Která kombinace je výhodnější z pohledu utužení půdy?

Dílčí cíle práce.

1. Popsat konstrukce změny tlaku v pneumatikách a možnosti dotížení.
2. Provést konkrétní měření exploatačních parametrů.
3. Porovnat zjištěné a naměřené výsledky.
4. Odpovědět na otázky z cíle této práce.
5. Výsledky zhodnotit a uvést závěry pro praxi.

3 Metodika

Velmi důležitou součástí této práce je samostatný pokus, který bude uskutečněn ve spolupráci se zemědělskou společností Zemad s.r.o. Tato společnost sídlí v obci Želetava ležící v Kraji Vysočina. Společnost Zemad s.r.o. pro účely tohoto pokusu propůjčila své strojní vybavení a pozemek, na kterém bude pokus proveden.

3.1 Stroje využité pro pokus

Pro tento pokus byl zvolen traktor John Deere 7310R s jmenovitým výkonem motoru 226 kW. Tento traktor je vybaven mechanickou převodovkou e23. Hlavním důvodem pro volbu tohoto traktoru jsou pneumatiky, jimiž je traktor vybaven. Konkrétně se jedná o nízkotlaké pneumatiky Michelin AxioBib. Rozměr předních pneumatik je IF 620/75R30, zadní mají rozměr IF 710/75R42. Traktor je vybaven závažím zadních kol o celkové hmotnosti 550 kilogramů.

Traktor bude agregován s radličkovým kypřičem Horsch Terrano 5 FM o pracovním záběru 4,8 metru. Kypřič disponuje čtyřmi řadami radliček osazenými dláty v kombinaci s křídly pro podříznutí profilu půdy v celé šířce pracovního záběru. Pracovní hloubka bude nastavena na 15 centimetrů. V předním tříbodovém závěsu bude připojeno pro dotížení přední hnací nápravy traktoru závaží o hmotnosti 1 200 kilogramů. Výše popsanou soupravu lze vidět na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Souprava traktoru John Deere a radličkového kypřiče Horsch

3.2 Volba pozemku pro účely pokusu

Při volbě pozemku hrály důležitou roli klíčové požadavky na daný pozemek. Šlo o co možná největší délku pozemku a velmi podobné vlastnosti napříč pozemkem. Těmto požadavkům odpovídal pozemek nazvaný Perkuse. Díky volbě tohoto pozemku bude možné mít testovací dráhu dlouhou 500 metrů. Dráha, na které bude proveden test, je orientována proti kopci. Dle LPIS je průměrná sklonitost pozemku 4,45°.

3.3 Příprava před vlastním měřením

Pro určení a nastavení správných tlaků vzduchu v pneumatikách traktoru je nutné jej zvážit. Při prvním vážení je spřažena souprava traktoru, radličkového kypřiče a čelního závaží, při druhém vážení bylo odpojeno čelní závaží. Díky vážení zjistíme statické zatížení přední a zadní nápravy traktoru. Budou provedena celkem čtyři vážení, dvakrát přední a dvakrát zadní náprava, a to z důvodu odpojení čelního závaží při druhém vážení a tím změně zatížení obou náprav. Vážení bude provedeno za pomoci přenosných nájezdových vah ve spolupráci s firmou Strom Praha a.s. Použité váhy lze vidět na obrázku 3.2 z přípravy před započítím měření.



Obrázek 3.2: Přenosné nájezdové váhy před měřením zatížení náprav

Po zvážení zatížení náprav se pomocí tabulek od výrobce pneumatik naleznou vhodné tlaky v pneumatikách, se kterými by měla být takováto souprava provozována.

Tyto tabulky lze nalézt na internetových stránkách firmy Michelin dle konkrétního modelu pneumatiky, v tabulce je pro určitou nosnost pneumatiky uvedena jezdová rychlost a tlak vzduchu v pneumatice viz obrázek 3.3. Obdobná tabulka je i k předním pneumatikám traktoru.

Technické údaje
Tlak huštění (bar a psi) a zatížení (kg a lbs)

Tlak huštění (bar a psi) a zatížení (kg a lbs)

Při nastavování tlaku huštění je třeba vzít v úvahu zatížení a typ vykonávaných prací**.

Bar	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6
psi	9	12	15	17	20	23
10 Km/H 6 Mph		5190 11442	5935 13084	6680 14727	7425 16369	8165 18007
30 Km/H 19 Mph		4695 10351	5370 11839	6040 13316	6715 14804	7385 16281
65 Km/H 40 Mph		4515 9934	5165 11387	5810 12809	6455 14231	7100 15653
65 Km/H Dual 40 Mph Dual	3415 7529	3980 8774	4550 10031	5115 11277	5685 12533	6250 13779

** DŮLEŽITÉ

Obrázek 3.3: Tabulka tlaku huštění pneumatik Michelin Axiobib IF 710/75R42 (Michelin.cz, 2024)

Pro měření budou pneumatiky nahuštěny kromě ideálních tlaků dle výrobce na tlak 200 kPa, což představuje tlak, se kterým bývá tento traktor využíván při přepravě komodit po pozemních komunikacích pro snížení valivého odporu a vyšší bezpečnost jízdy.

Další součástí přípravy před zahájením měření bylo vytyčení testovací dráhy, délka zvoleného pozemku umožnila vytyčit testovací dráhu dlouhou 500 metrů.

3.4 Měření na pozemku

Po příjezdu na pozemek budou doplněny pohonné hmoty do plného stavu před započítáním pokusu. Celkem budou provedeny čtyři testovací jízdy. První jízda bude s pneumatikami nahuštěnými na tlak 200 kPa a odpojeným čelním závažím, při druhé jízdě budou pneumatiky opět nahuštěny na 200 kPa, avšak bude připojeno čelní závaží. Třetí a čtvrtá jízda bude provedena při nahuštění pneumatik na ideální tlaky v pneumatikách dle tabulek a doporučení, rozdíl bude opět v odpojeném a připojeném čelním závaží.

Před započítáním každé jízdy bude palivová nádrž doplněna do maxima. Traktor bude řízen pomocí systému automatického řízení, převodovka bude nastavena

do automatického režimu a pracovní rychlost bude nastavena na 11 km.h⁻¹. Testovací dráha bude vyznačena kolíky a v tomto úseku bude měřen hlavní čas T₁ pro jednotlivé jízdy. Na konci testovací dráhy bude okamžitě po ukončení jízdy měřena spotřeba paliva doplněním palivové nádrže pomocí odměrného válce o objemu 1 000 ml. Doplnění pohonných hmot bude provedeno vždy na totožném místě, aby se předešlo odlišnému náklonu traktoru.

Následně bude probíhat měření styčné plochy pneumatiky s podložkou, pneumatika bude obsypána pro znázornění obrysu a následně bude měřena délka a šířka styčné plochy. Bude měřena styčná plocha přední a zadní pneumatiky při všech variantách tlaku huštění pneumatik a připojení/odpojení čelního závaží, která budou použita při předešlém měření. Výsledky měření budou zaznamenány a následně použity pro výpočty plošné výkonnosti, spotřeby pohonných hmot, prokluzu pneumatik traktoru a skutečné pracovní rychlosti. Tato data budou použita pro výpočty nákladů jednotlivých variant úspor na nákladech mezi jednotlivými variantami. Výsledné úspory nákladů budou použity pro výpočet návratnosti investice do systému huštění pneumatik. Následně bude porovnáván vliv určitého nastavení vůči ostatním a bude vyhodnocena nejlepší varianta pro konkrétní soupravu, která bude použita při vlastním měření.

3.5 Výpočet plošné výkonnosti a spotřeby pohonných hmot

Pro výpočet plošné výkonnosti je nutné nejprve vypočítat plochu, která byla v rámci jedné testovací jízdy zpracována, tento výpočet bude proveden dle vzorce 3.1.

$$S_{ha} = \frac{b_p * l}{10\ 000} [ha] \quad (3.1)$$

kde:

S_{ha} = Zpracovaná plocha [ha]

b_p = Pracovní záběr [m]

l = Délka zkušební dráhy [m]

Plošná výkonnost soupravy bude vypočtena dle následujícího vzorce 3.2 prostřednictvím zpracované plochy a času práce.

$$W_{ha} = \frac{S_{ha}}{T_1} [ha \cdot h^{-1}] \quad (3.2)$$

kde:

W_{ha} = Plošná výkonnost [$ha \cdot h^{-1}$]

S_{ha} = Zpracovaná plocha [ha]

T_1 = Čas práce [h]

Pro výpočet spotřeby pohonných hmot na plochu bude použit vztah 3.3.

$$Q_{ha} = \frac{V_{phm}}{S_{ha}} [l \cdot ha^{-1}] \quad (3.3)$$

kde:

Q_{ha} = Spotřeba pohonných hmot na jeden hektar [$l \cdot ha^{-1}$]

V_{phm} = Objem dolitých pohonných hmot [l]

S_{ha} = Zpracovaná plocha [ha]

3.6 Výpočet skutečné pracovní rychlosti a prokluzu kol

Skutečná pracovní rychlost bude vypočtena dle vzorce 3.4 pomocí podílu délky dráhy a času jízdy.

$$v_{sk} = \frac{l}{T_1 * 3600} [m \cdot s^{-1}] \quad (3.4)$$

kde:

v_{sk} = Skutečná pracovní rychlost [$m \cdot s^{-1}$]

l = Délka zkušební dráhy [m]

T_1 = Čas jízdy [s]

Následně lze vypočítat prokluz kol traktoru v závislosti na skutečné pracovní rychlosti oproti teoretické pracovní rychlosti traktoru, která byla nastavena na voliči převodovky. Výpočet bude proveden dle vzorce 3.5.

$$\delta = \left(1 - \frac{v_{sk}}{v_t/3,6}\right) * 100 [\%] \quad (3.5)$$

kde:

- δ = Prokluz kol traktoru [%]
 v_t = Teoretická pracovní rychlost [km.h⁻¹]
 v_{sk} = Skutečná pracovní rychlost [m.s⁻¹]

3.7 Výpočet styčné plochy a kontaktního tlaku pneumatik

Styčná plocha pneumatiky bude počítána jako plocha obdélníku. Pro výpočet celkové styčné plochy pneumatiky bude použit vzorec 3.6.

$$S = (a_{před} * b_{před}) * 2 + (a_{zad} * b_{zad}) * 2 [m^2] \quad (3.6)$$

kde:

- S = Celková styčná plocha pneumatik traktoru [m²]
 $a_{před}$ = Šířka otisku přední pneumatiky [m]
 $b_{před}$ = Délka otisku přední pneumatiky [m]
 a_{zad} = Šířka otisku zadní pneumatiky [m]
 b_{zad} = Délka otisku zadní pneumatiky [m]

Kontaktní tlak pneumatik s podložkou bude vypočten dle vzorce 3.7.

$$q_s = \frac{m * g}{S} / 1000 [kPa] \quad (3.7)$$

kde:

- q_s = Střední kontaktní tlak pneumatiky [Pa]
 m = Hmotnost na přední a zadní nápravě traktoru [kg]
 g = Tíhové zrychlení
 S = Celková styčná plocha pneumatik traktoru [m²]

3.8 Výpočet nákladů a jejich úspor

Množství spotřebovaných pohonných hmot na celkovou výměru podniku za období jednoho roku bude počítáno dle vzorce 3.8.

$$Q_n = Q_{ha} * S_r [l.rok^{-1}] \quad (3.8)$$

kde:

Q_n = Spotřeba pohonných hmot za jeden rok [$l.rok^{-1}$]

Q_{ha} = Spotřeba pohonných hmot na jeden hektar [$l.ha^{-1}$]

S_r = Celkově obdělaná výměra za jeden rok [$ha.rok^{-1}$]

Náklady na pohonné hmoty spotřebované za jeden rok budou vypočteny pomocí vzorce 3.9. Pro výpočet bude použita průměrná cena motorové nafty za rok 2023 – 28,45 Kč bez DPH (czso.cz,2024).

$$R_{phm} = Q_n * C_{phm} [Kč.rok^{-1}] \quad (3.9)$$

kde:

R_{phm} = Roční náklady na pohonné hmoty [$Kč.rok^{-1}$]

Q_n = Spotřeba pohonných hmot za jeden rok [$l.rok^{-1}$]

C_{phm} = Cena pohonných hmot [ha]

Výpočet nákladů na zaměstnance bude proveden dle vzorce 3.10. Čas testovací jízdy bude přepočten na čas zpracování jednoho hektaru. Bude počítáno s hodinovou mzdou obsluhy 200 Kč.h⁻¹.

$$M_{ha} = \frac{T_1}{S_{ha}} * M_{ho} [Kč.ha^{-1}] \quad (3.10)$$

kde:

M_{ha} = Mzda zaměstnance za zpracování 1 ha [$Kč.ha^{-1}$]

T_1 = Operativní čas práce [h]

S_{ha} = Zpracovaná plocha [ha]

M_{ho} = Hodinová mzda obsluhy [$Kč.h^{-1}$]

Náklady na mzdu zaměstnance za zpracování celkové výměry budou počítány dle vzorce 3.11.

$$M_z = M_{ha} * S_r \text{ [Kč.}rok^{-1}\text{]} \quad (3.11)$$

kde:

$M_z =$ Mzda zaměstnance za zpracování celé výměry [Kč.rok⁻¹]

$M_{ha} =$ Mzda zaměstnance za zpracování 1 ha [Kč.ha⁻¹]

$S_r =$ Celkově obdělaná výměra za jeden rok [ha.rok⁻¹]

Celkové roční náklady budou vypočítány jako součet nákladů na pohonné hmoty a mzdu zaměstnance pomocí vzorce 3.12

$$N_{celk} = M_z + R_{phm} \text{ [Kč.}rok^{-1}\text{]} \quad (3.12)$$

kde:

$N_{celk} =$ Celkové roční náklady za zpracování celé výměry [Kč.rok⁻¹]

$M_z =$ Mzda zaměstnance za zpracování celé výměry [Kč.rok⁻¹]

$R_{phm} =$ Roční náklady na pohonné hmoty [Kč.rok⁻¹]

Roční úspora nákladu bude vypočtena vzájemným porovnáním výsledků jednotlivých variant mezi sebou dle vzorce 3.13

$$U_{celk} = N_{celk(x)} - N_{celk(y)} \text{ [Kč.}rok^{-1}\text{]} \quad (3.13)$$

kde:

$U_{celk} =$ Celková roční úspora nákladů [Kč.rok⁻¹]

$N_{celk(x)} =$ Celkové roční náklady za zpracování celé výměry – varianta x
[Kč.rok⁻¹]

$N_{celk(y)} =$ Celkové roční náklady za zpracování celé výměry – varianta y
[Kč.rok⁻¹]

3.9 Výpočet návratnosti investice

Pro výpočet návratnosti investice do systému huštění pneumatik bude použitý vzorec 3.14. Budou posuzovány dvě varianty systémů huštění pneumatik. První variantou bude přenosný „kufříkový“ systém PTG Airbooster Plus, jehož kupní cena činí 8 000 Kč bez DPH. Druhou variantou bude systém automatického huštění pneumatik PTG Airbox Drive 2 pro přední a zadní nápravu ovládaný z kabiny traktoru pomocí ISOBUS (bez přídatného kompresoru), jehož kupní cena včetně montáže je 193 000 Kč bez DPH.

$$N_{syst} = \frac{K_c}{U_{celk}} [rok] \quad (3.14)$$

kde:

N_{syst} = Návratnost investice do systému huštění pneumatik [rok]

K_c = Pořizovací cena systému huštění pneumatik [Kč.rok⁻¹]

U_{celk} = Celková roční úspora nákladů [Kč.rok⁻¹]

4 Výsledková část

Na zvoleném pozemku bylo 20. 10. 2023 provedeno měření s výše popsanou soupravou traktoru a radličkového kypřiče. Teoretická pracovní rychlost byla nastavena na voliči převodovky na hodnotu 11 km.h⁻¹. Veškeré naměřené hodnoty byly zaznamenány pro použití při následných výpočtech.

Zpracovaná plocha během testovací jízdy je vypočtena pomocí vzorce 3.1.

$$S_{ha} = \frac{4,8 * 500}{10\ 000} = 0,24 [ha]$$

4.1 Varianta 1

Tlak v předních i zadních pneumatikách traktoru byl při první variantě nastaven na 200 kPa, čelní závaží bylo odpojeno.

4.1.1 Zpracování půdy

Hodnoty uvedené v tabulce 4.1 byly získány v průběhu měření první zkoušené varianty.

Tabulka 4.1: Naměřené hodnoty při 1. variantě nastavení

T ₁ [h]	0,0542
Spotřebované palivo [l]	2,91
Délka styčné plochy přední pneumatiky [m]	0,68
Šířka styčné plochy přední pneumatiky [m]	0,57
Délka styčné plochy zadní pneumatiky [m]	0,90
Šířka styčné plochy zadní pneumatiky [m]	0,70
Hmotnost na přední nápravě [kg]	5 260
Hmotnost na zadní nápravě [kg]	7 905

Plošná výkonnost soupravy při kypření s první variantou nastavení tlaků v pneumatikách a dotížení je vypočtena pomocí vzorce 3.2.

$$W_{ha} = \frac{0,24}{0,0542} = 4,43 [ha \cdot h^{-1}]$$

Spotřeba pohonných hmot na jeden hektar je vypočítaná dle vzorce 3.3.

$$Q_{ha} = \frac{2,91}{0,24} = 12,13 [l \cdot ha^{-1}]$$

Skutečná pracovní rychlost, kterou se souprava s tímto nastavením pohybovala, je vypočtena prostřednictvím vzorce 3.4.

$$v_{sk} = \frac{500}{0,0542 * 3600} = 2,56 [m. s^{-1}]$$

Pomocí skutečné pracovní rychlosti lze vypočítat dle vzorce 3.5 prokluz kol traktoru.

$$\delta = \left(1 - \frac{2,56}{11/3,6}\right) * 100 = 16,22 [\%]$$

Velikost styčné plochy pneumatik traktoru při tomto nastavení tlaků v pneumatikách a dotížení je vypočítaná dle vzorce 3.6.

$$S = (0,57 * 0,68) * 2 + (0,70 * 0,90) * 2 = 2,04 [m^2]$$

Kontaktní tlak pneumatik s podložkou je vypočten dle vzorce 3.7.

$$q_s = \frac{13\,165 * 9,81}{2,04} / 1\,000 = 63,31 [kPa]$$

4.1.2 Náklady na zpracování půdy

Množství spotřebovaného paliva za jeden rok během kypření půdy celkové obhospodařované výměry je vypočítáno podle vzorce 3.8.

$$Q_n = 12,13 * 475,6 = 5\,769,03 [l. rok^{-1}]$$

Náklady na pohonné hmoty za kypření půdy touto soupravou a konkrétní variantou nastavení jsou vypočítány pomocí vzorce 3.9.

$$R_{phm} = 5\,769,03 * 28,45 = 164\,128,90 [Kč. rok^{-1}]$$

Mzda obsluhy za zpracování jednoho hektaru je vypočítaná dle vzorce 3.10.

$$M_{ha} = \frac{0,0542}{0,24} * 200 = 45,17 [Kč. ha^{-1}]$$

Náklady na mzdu obsluhy za zpracování celkové obhospodařované výměry jsou počítány dle vzorce 3.11.

$$M_z = 45,17 * 475,6 = 21\,482,85 \text{ [Kč.rok}^{-1}\text{]}$$

Dle vzorce 3.12 jsou vypočítány celkové náklady na zpracování veškeré výměry orné půdy.

$$N_{celk} = 21\,482,85 + 164\,128,90 = 185\,611,75 \text{ [Kč.rok}^{-1}\text{]}$$

4.2 Varianta 2

Při této variantě zůstal tlak v pneumatikách nastaven na 200 kPa a bylo připojeno čelní závaží pro dotížení přední nápravy.

4.2.1 Zpracování půdy

V tabulce 4.2. jsou shrnuty naměřené hodnoty druhé testované varianty nastavení tlaku v pneumatikách a dotížení traktoru.

Tabulka 4.2: Naměřené hodnoty při 2. variantě nastavení

T ₁ [h]	0,0538
Spotřebované palivo [l]	2,86
Délka styčné plochy přední pneumatiky [m]	0,72
Šířka styčné plochy přední pneumatiky [m]	0,58
Délka styčné plochy zadní pneumatiky [m]	0,85
Šířka styčné plochy zadní pneumatiky [m]	0,69
Hmotnost na přední nápravě [kg]	6 710
Hmotnost na zadní nápravě [kg]	7 215

Plošná výkonnost soupravy při druhé variantě nastavení tlaků v pneumatikách a dotížení je vypočtena pomocí vzorce 3.2.

$$W_{ha} = \frac{0,24}{0,0538} = 4,46 \text{ [ha.h}^{-1}\text{]}$$

Spotřeba pohonných hmot na jeden hektar je počítána pomocí vzorce 3.3.

$$Q_{ha} = \frac{2,86}{0,24} = 11,92 \text{ [l.ha}^{-1}\text{]}$$

Skutečná pracovní rychlost, kterou se souprava při práci pohybovala je vypočtena prostřednictvím vzorce 3.4.

$$v_{sk} = \frac{500}{0,0538 * 3600} = 2,58 [m. s^{-1}]$$

Pomocí skutečné pracovní rychlosti lze vypočítat dle vzorce 3.5 prokluz kol traktoru.

$$\delta = \left(1 - \frac{2,58}{11/3,6}\right) * 100 = 15,56 [\%]$$

Velikost styčné plochy pneumatik traktoru při tomto nastavení tlaků v pneumatikách a dotížení je vypočítaná dle vzorce 3.6.

$$S = (0,58 * 0,72) * 2 + (0,69 * 0,85) * 2 = 2,01 [m^2]$$

Kontaktní tlak pneumatik s podložkou je vypočten dle vzorce 3.7.

$$q_s = \frac{13\,925 * 9,81}{2,01} / 1\,000 = 67,96 [kPa]$$

4.2.2 Náklady na zpracování půdy

Množství spotřebovaného paliva za jeden rok během kypření půdy celkové obhospodařované výměry je vypočítáno podle vzorce 3.8.

$$Q_n = 11,92 * 475,6 = 5\,669,15 [l. rok^{-1}]$$

Náklady na pohonné hmoty za kypření půdy touto soupravou a konkrétní variantou nastavení jsou vypočítány pomocí vzorce 3.9.

$$R_{phm} = 5\,669,15 * 28,45 = 161\,287,32 [Kč. rok^{-1}]$$

Mzda obsluhy za zpracování jednoho hektaru je vypočítaná dle vzorce 3,10.

$$M_{ha} = \frac{0,0538}{0,24} * 200 = 44,83 [Kč. ha^{-1}]$$

Náklady na mzdu obsluhy za zpracování celkové obhospodařované výměry jsou počítány dle vzorce 3.11.

$$M_z = 44,83 * 475,6 = 21\,321,15 \text{ [Kč. rok}^{-1}\text{]}$$

Dle vzorce 3.12 jsou vypočítány celkové náklady na zpracování veškeré výměry orné půdy.

$$N_{celk} = 21\,321,15 + 161\,287,32 = 182\,608,47 \text{ [Kč. rok}^{-1}\text{]}$$

4.3 Varianta 3

Tlak v pneumatikách přední i zadní nápravy byl nastaven při této variantě na 100 kPa, současně bylo čelní závaží odpojeno.

4.3.1 Zpracování půdy

Tabulka 4.3 uvádí data získaná při měření třetí varianty tlaků pneumatik a dotížení.

Tabulka 4.3: Naměřené hodnoty při 3. variantě nastavení

T ₁ [h]	0,0531
Spotřebované palivo [l]	2,72
Délka styčné plochy přední pneumatiky [m]	0,81
Šířka styčné plochy přední pneumatiky [m]	0,62
Délka styčné plochy zadní pneumatiky [m]	1,18
Šířka styčné plochy zadní pneumatiky [m]	0,72
Hmotnost na přední nápravě [kg]	5 260
Hmotnost na zadní nápravě [kg]	7 905

Souprava s třetí variantou nastavení tlaků v pneumatikách a dotížení dosahovala dle vzorce 3.2 plošné výkonnosti.

$$W_{ha} = \frac{0,24}{0,0531} = 4,52 \text{ [ha. h}^{-1}\text{]}$$

Spotřeba pohonných hmot na jeden hektar je počítána pomocí vzorce 3.3.

$$Q_{ha} = \frac{2,72}{0,24} = 11,33 \text{ [l. ha}^{-1}\text{]}$$

Skutečná pracovní rychlost, kterou se souprava při práci pohybovala, je vypočtena prostřednictvím vzorce 3.4.

$$v_{sk} = \frac{500}{0,0531 * 3600} = 2,62 [m. s^{-1}]$$

Pomocí skutečné pracovní rychlosti lze vypočítat dle vzorce 3.5 prokluz kol traktoru.

$$\delta = \left(1 - \frac{2,62}{11/3,6}\right) * 100 = 14,25 [\%]$$

Velikost styčné plochy pneumatik traktoru při tomto nastavení tlaků v pneumatikách a dotížení je vypočítaná dle vzorce 3.6.

$$S = (0,62 * 0,81) * 2 + (0,72 * 1,18) * 2 = 2,70 [m^2]$$

Kontaktní tlak pneumatik s podložkou je vypočten dle vzorce 3.7.

$$q_s = \frac{13\,165 * 9,81}{2,70} / 1\,000 = 47,83 [kPa]$$

4.3.2 Náklady na zpracování půdy

Množství spotřebovaného paliva za jeden rok během kypření půdy celkové obhospodařované výměry je vypočítáno podle vzorce 3.8.

$$Q_n = 11,33 * 475,6 = 5\,388,55 [l. rok^{-1}]$$

Náklady na pohonné hmoty za kypření půdy touto soupravou a konkrétní variantou nastavení jsou vypočítány pomocí vzorce 3.9.

$$R_{phm} = 5\,388,55 * 28,45 = 153\,304,25 [Kč. rok^{-1}]$$

Mzda obsluhy za zpracování jednoho hektaru je vypočítaná dle vzorce 3.10.

$$M_{ha} = \frac{0,0531}{0,24} * 200 = 44,25 [Kč. rok^{-1}]$$

Náklady na mzdu obsluhy za zpracování celkové obhospodařované výměry jsou počítány dle vzorce 3.11.

$$M_z = 44,25 * 475,6 = 21\,045,30 \text{ [Kč. rok}^{-1}\text{]}$$

Dle vzorce 3.12 jsou vypočítány celkové náklady na zpracování veškeré výměry orné půdy.

$$N_{celk} = 21\,045,30 + 153\,304,25 = 174\,349,55 \text{ [Kč. rok}^{-1}\text{]}$$

4.4 Varianta 4

Při čtvrté variantě nastavení byl tlak v předních pneumatikách 140 kPa, tlak v zadních pneumatikách byl nastaven na 100 kPa, bylo připojeno čelní závaží.

4.4.1 Zpracování půdy

Tabulka 4.4 uvádí naměřené hodnoty ze čtvrté testovací jízdy s ideálně nastavenými tlaky v pneumatikách a připojeným čelním závažím.

Tabulka 4.4: Naměřené hodnoty při 4. variantě nastavení

T ₁ [h]	0,0525
Spotřebované palivo [l]	2,67
Délka styčné plochy přední pneumatiky [m]	0,93
Šířka styčné plochy přední pneumatiky [m]	0,60
Délka styčné plochy zadní pneumatiky [m]	1,12
Šířka styčné plochy zadní pneumatiky [m]	0,70
Hmotnost na přední nápravě [kg]	6 710
Hmotnost na zadní nápravě [kg]	7 215

Souprava s poslední variantou nastavení tlaků v pneumatikách a dotížení dosahovala plošné výkonnosti vypočítané podle vzorce 3.2.

$$W_{ha} = \frac{0,24}{0,0525} = 4,57 \text{ [ha. h}^{-1}\text{]}$$

Spotřeba pohonných hmot na jeden hektar je počítána pomocí vzorce 3.3.

$$Q_{ha} = \frac{2,67}{0,24} = 11,13 [l. ha^{-1}]$$

Skutečná pracovní rychlost, kterou se souprava při práci pohybovala, je vypočtena prostřednictvím vzorce 3.4.

$$v_{sk} = \frac{500}{0,0525 * 3600} = 2,65 [m. s^{-1}]$$

Pomocí skutečné pracovní rychlosti lze vypočítat dle vzorce 3.5 prokluz kol traktoru.

$$\delta = \left(1 - \frac{2,65}{11/3,6}\right) * 100 = 13,27 [\%]$$

Velikost styčné plochy pneumatik traktoru při tomto nastavení tlaků v pneumatikách a dotížení je vypočítána dle vzorce 3.6.

$$S = (0,60 * 0,93) * 2 + (0,70 * 1,12) * 2 = 2,68 [m^2]$$

Kontaktní tlak pneumatik s podložkou je vypočten dle vzorce 3.7.

$$q_s = \frac{13\,925 * 9,81}{2,68} / 1\,000 = 50,97 [kPa]$$

4.4.2 Náklady na zpracování půdy

Množství spotřebovaného paliva za jeden rok během kypření půdy celkové obhospodařované výměry je vypočítáno podle vzorce 3.8.

$$Q_n = 11,13 * 475,6 = 5\,293,43 [l. rok^{-1}]$$

Náklady na pohonné hmoty za kypření půdy touto soupravou a konkrétní variantou nastavení jsou vypočítány pomocí vzorce 3.9.

$$R_{phm} = 5\,293,43 * 28,45 = 150\,598,08 [Kč. rok^{-1}]$$

Mzda obsluhy za zpracování jednoho hektaru je vypočítaná dle vzorce 3.10.

$$M_{ha} = \frac{0,0525}{0,24} * 200 = 43,75 [Kč. ha^{-1}]$$

Náklady na mzdu obsluhy za zpracování celkové obhospodařované výměry jsou počítány dle vzorce 3.11.

$$M_z = 43,75 * 475,6 = 20\,807,50 [Kč. rok^{-1}]$$

Dle vzorce 3.12 jsou vypočítány celkové náklady na zpracování veškeré výměry orné půdy.

$$N_{celk} = 20\,807,50 + 150\,598,08 = 171\,405,58 [Kč. rok^{-1}]$$

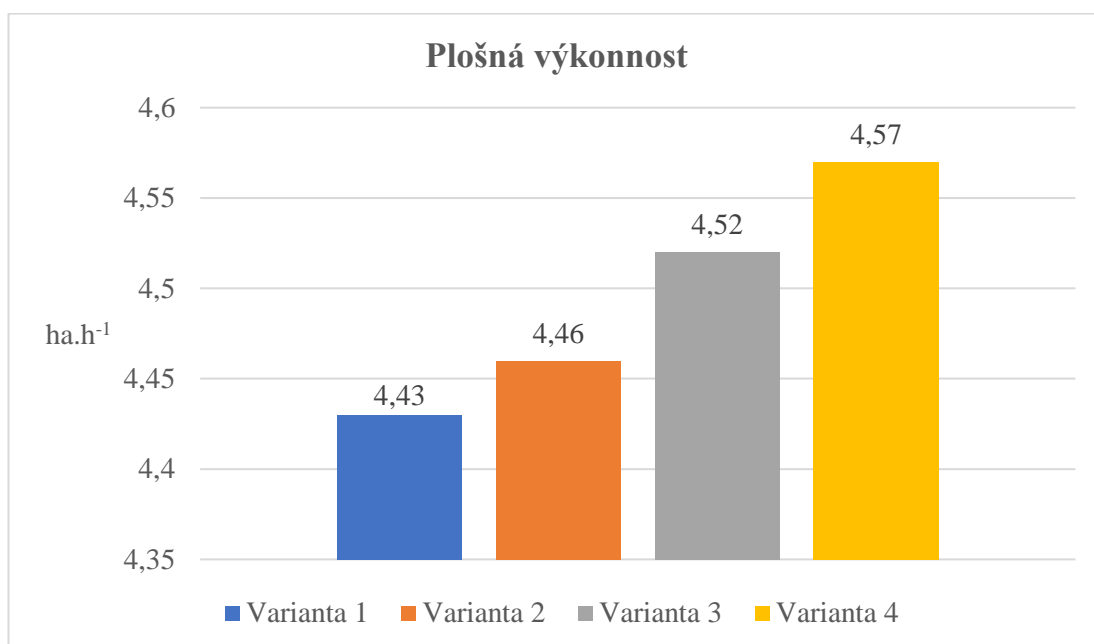
4.5 Srovnání výsledků měřených variant

V tabulce 4.5 jsou shrnuty výsledky měření a výpočtů jednotlivých variant nastavení tlaků v pneumatikách a dotížení traktoru. Jako výchozí hodnoty pro srovnání budou použita data a výsledky první varianty

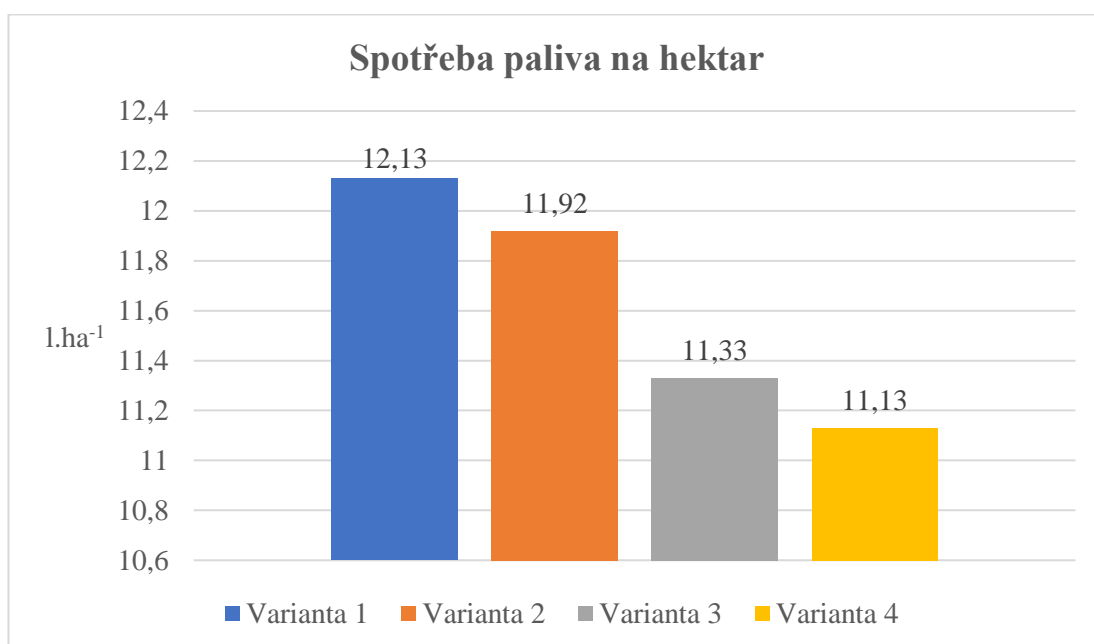
Tabulka 4.5: Srovnání naměřených hodnot a výsledků jednotlivých variant nastavení

Měření	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Plošná výkonnost [ha.h ⁻¹]	4,43	4,46	4,52	4,57
Spotřeba paliva na hektar [l.ha ⁻¹]	12,13	11,92	11,33	11,13
Skutečná pracovní rychlost [m.s ⁻¹]	2,56	2,58	2,62	2,65
Styčná plocha pneumatik [m ²]	2,04	2,01	2,70	2,68
Prokluz kol traktoru [%]	16,22	15,56	14,25	13,27
Kontaktní tlak pneumatik [kPa]	63,31	67,96	47,83	50,97
Roční náklady	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Náklady na mzdu zaměstnance [Kč.rok ⁻¹]	21 482,85	21 321,15	21 045,30	20 807,50
Náklady na pohonné hmoty [Kč.rok ⁻¹]	164 128,90	161 287,32	153 304,25	150 598,08
Celkové roční náklady [Kč.rok⁻¹]	185 611,75	182 608,47	174 349,55	171 405,58

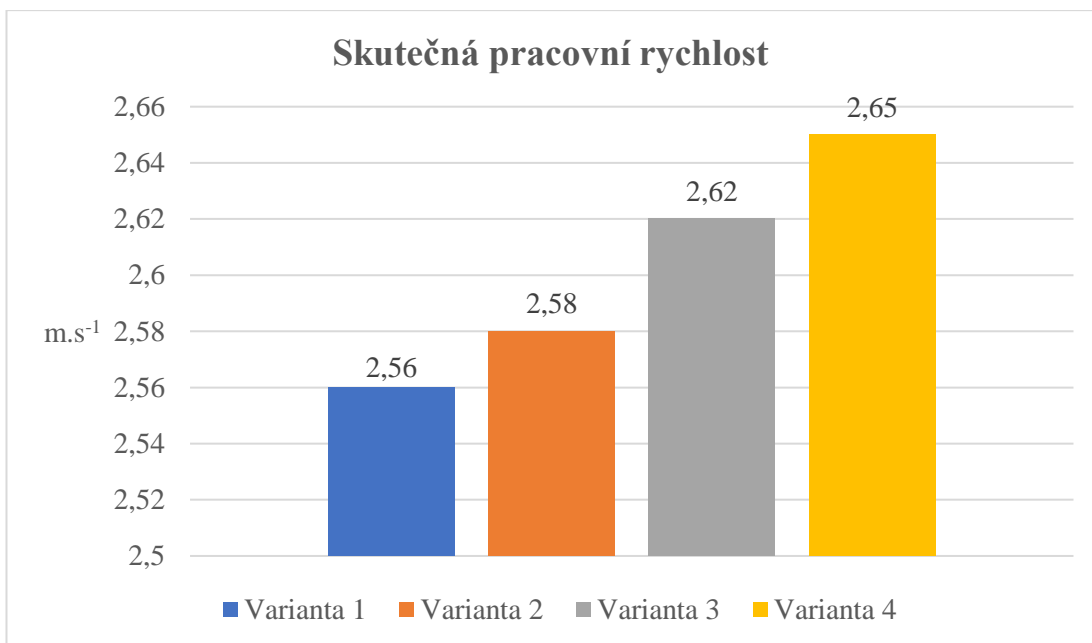
Hodnoty ve výše uvedené tabulce 4.5, které byly získány měřením a výpočty, jsou pro lepší přehlednost a představu zaneseny do grafů na obrázcích 4.1–4.8.



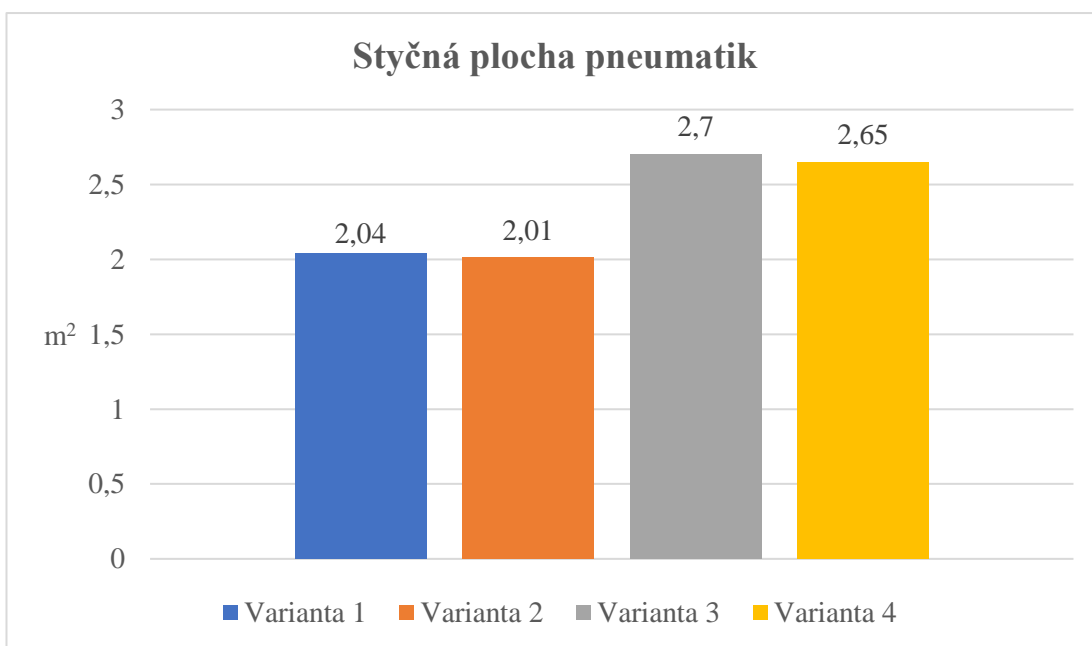
Obrázek 4.1: Grafické znázornění plošné výkonnosti



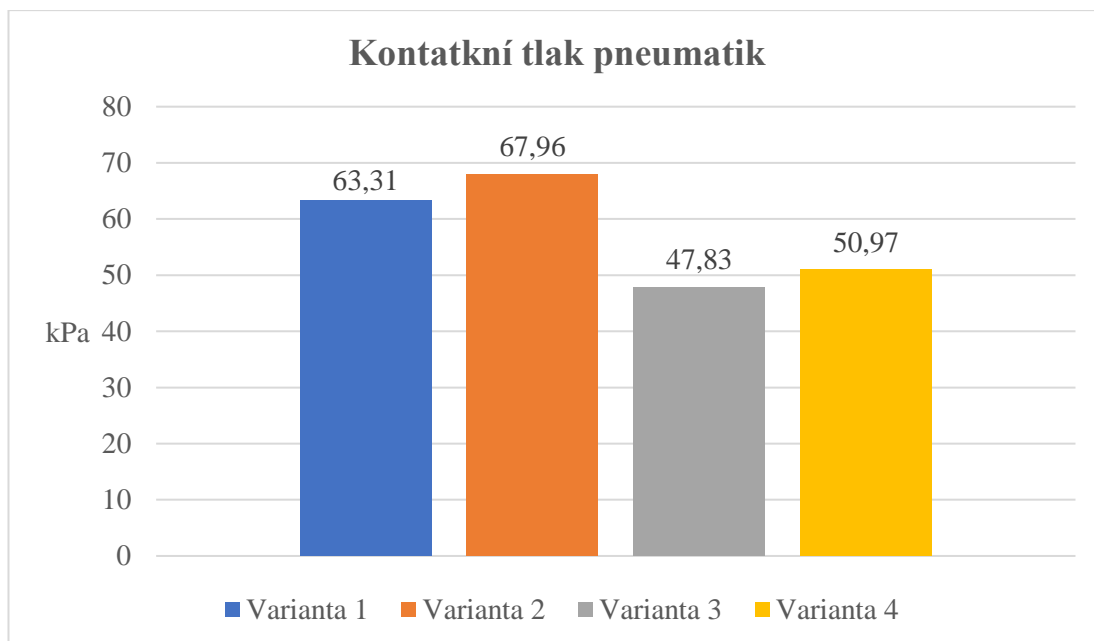
Obrázek 4.2: Grafické znázornění rozdílu spotřeby paliva jednotlivých variant



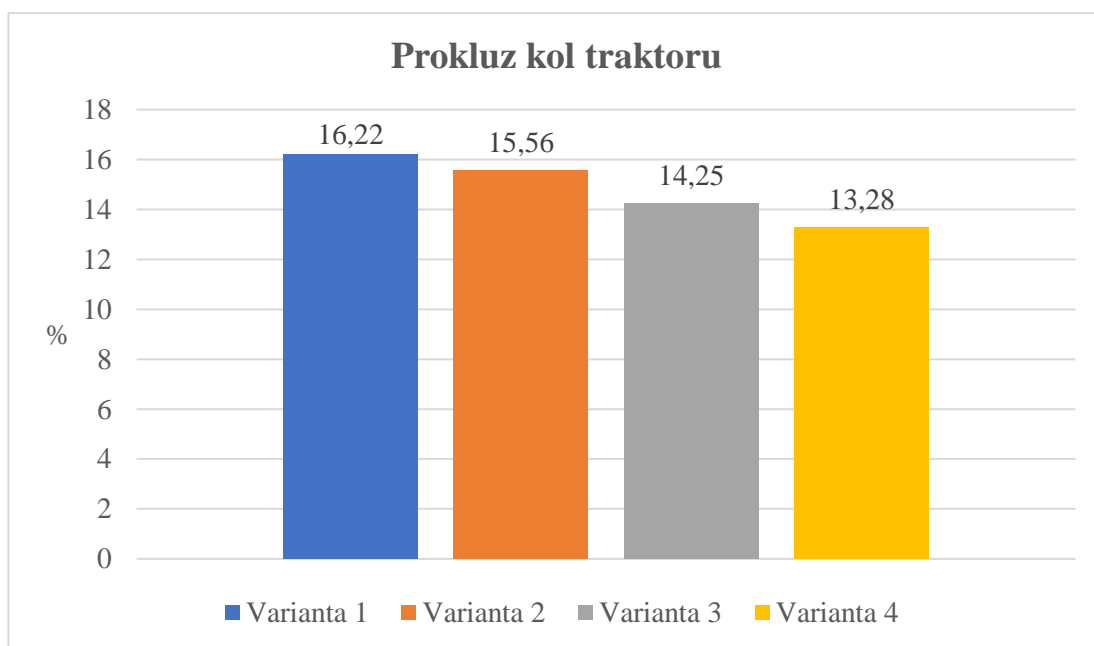
Obrázek 4.3: Grafické znázornění rozdílů pracovních rychlostí



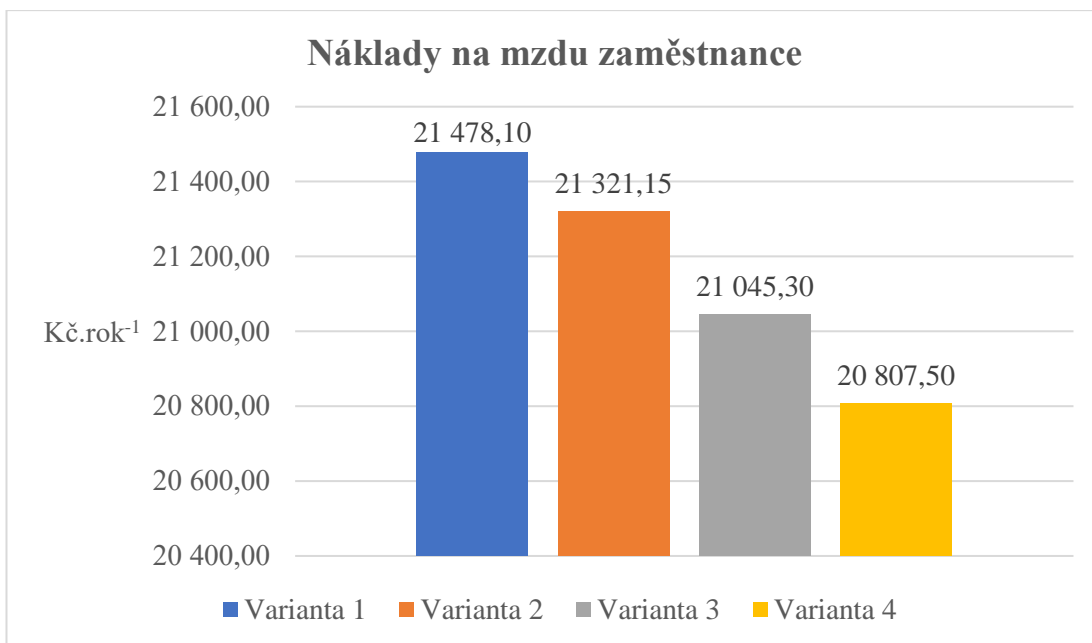
Obrázek 4.4: Grafické znázornění změny celkové styčné plochy pneumatik traktoru



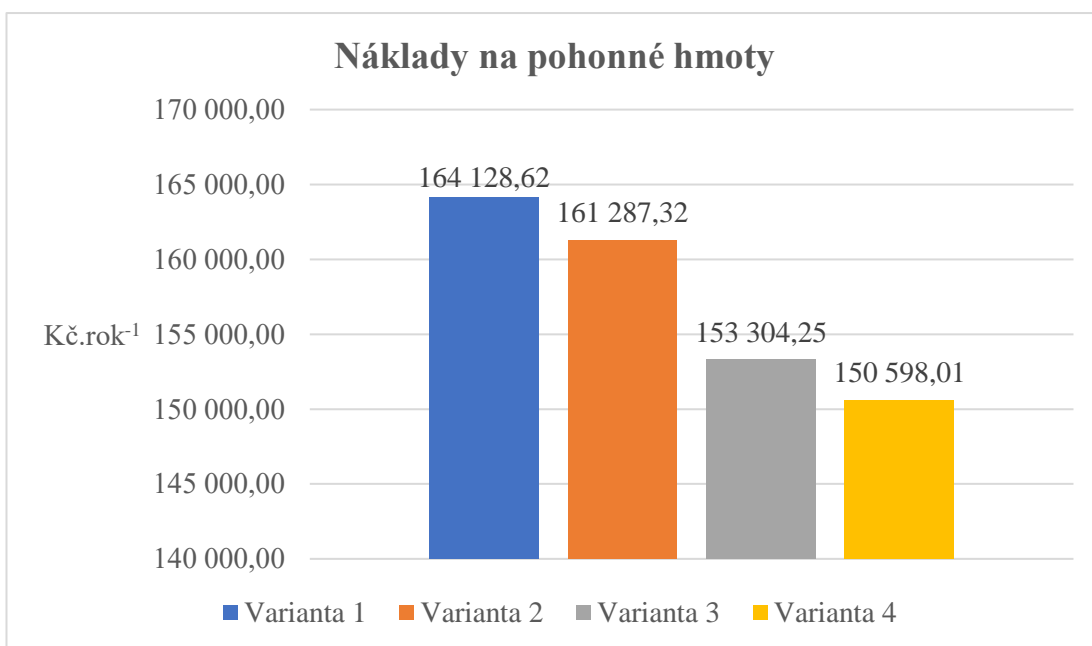
Obrázek 4.5: Grafické znázornění změny kontaktního tlaku pneumatik traktoru na podložku



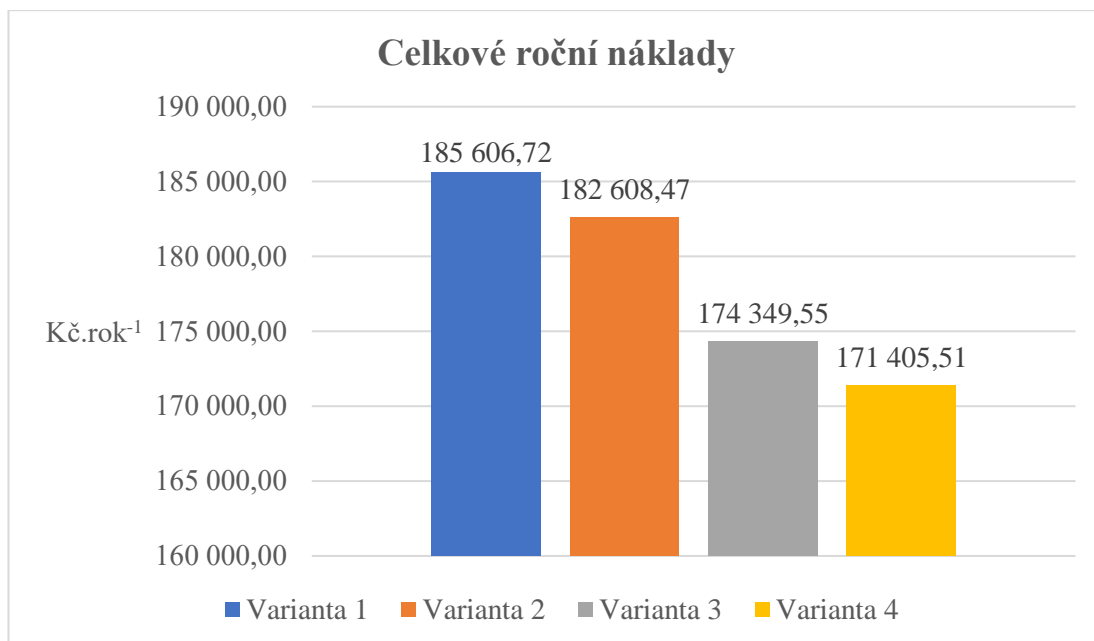
Obrázek 4.6: Grafické znázornění vypočítaného prokluzu pneumatik



Obrázek 4.7: Grafické znázornění poklesu nákladů na mzdu zaměstnance



Obrázek 4.8: Grafické znázornění ročních nákladů na pohonné hmoty u jednotlivých variant



Obrázek 4.9: Grafické znázornění snížení celkových ročních nákladů na kypření půdy

Obrázek 4.10 znázorňuje rozdíl styčné plochy zadní pneumatiky Michelin Axiobib 710/75R42 při tlaku 200 kPa a 100 kPa bez použití čelního závaží. Délka styčné plochy při tlaku 200 kPa byla 0,9 metru, při snížení tlaku v pneumatice na 100 kPa se délka styčné plochy zvětšila na 1,91 metru.



Obrázek 4.10: Porovnání styčné plochy zadní pneumatiky traktoru

4.6 Úspory a návratnost investice do systému regulace tlaku v pneumatikách

Úspora nákladů je počítána dle vzorce 3.13 oproti první variantě, která je brána jako výchozí. Návratnost investice je počítána pouze pro třetí a čtvrtou variantu, kde bylo pracováno s tlaky v pneumatikách.

4.6.1 Varianta 2

Úspora nákladů vzniklá při použití druhé varianty.

$$U_{celk} = 185\,611,75 - 182\,608,47 = 3\,003,28 \text{ [Kč.rok}^{-1}\text{]}$$

4.6.2 Varianta 3

Vzniklá úspora při použití třetí varianty nastavení tlaků v pneumatikách.

$$U_{celk} = 185\,611,75 - 174\,349,55 = 11\,262,20 \text{ [Kč.rok}^{-1}\text{]}$$

Návratnosti investice do systému huštění pneumatik PTG Airbooster Plus je vypočtena dle vzorce 3.14.

$$N_{syst} = \frac{8\,000}{11\,262,20} = 0,71 \text{ [rok]}$$

Návratnost této investice nastává již v prvním roce používání. Při pořízení systému PTG Airbox 2 je návratnost investice dle vzorce 3.14.

$$N_{syst} = \frac{193\,000}{11\,262,20} = 17,14 \text{ [rok]}$$

V tomto případě se investice do tohoto systému vrátí díky vzniklým úsporám po více než 17 letech používání.

4.6.3 Varianta 4

Úspora na nákladech dle vzorce 3.13, která by nastala při využití čtvrté varianty nastavení tlaků v pneumatikách v kombinaci s dotížením pomocí závaží v předním tříbodovém závěsu.

$$U_{celk} = 185\,611,75 - 171\,405,58 = 14\,206,17 \text{ [Kč.rok}^{-1}\text{]}$$

Návratnosti investice do systému huštění pneumatik PTG Airbooster Plus je vypočtena dle vzorce 3.14.

$$N_{syst} = \frac{8\,000}{14\,206,17} = 0,56 \text{ [rok]}$$

Návratnost této investice nastává při prvním roce používání jako u třetí varianty nastavení. Návratnost pořízení systému PTG Airbox 2 je dle vzorce 3.14.

$$N_{syst} = \frac{193\,000}{14\,206,17} = 13,59 \text{ [rok]}$$

Investice do systému PTG Airbox 2 při počítaném využití soupravy nastává při 14. roku provozu.

5 Diskuse

Z výsledků práce je znatelný rozdíl mezi jednotlivými nastaveními tlaků v pneumatikách a dodatečným dotížením. Nejlepších výsledků dosáhla čtvrtá varianta kombinací vhodně nastavených hustících tlaků v pneumatikách a dodatečným dotížením.

Právě díky tomuto nastavení byl prokluz pneumatik snížen z 16,22 % na hodnotu 13,28 %. Prokluz kol 16,22 % byl naměřen u varianty nastavení tlaku v předních i zadních pneumatikách na 200 kPa a odpojeném čelním závaží. Tato varianta byla využita jako výchozí stav pro porovnání s ostatními získanými výsledky. Touto změnou došlo ke zvětšení styčné plochy pneumatiky s podložkou o 31,4 %. Čtvrtá varianta dosahovala zlepšení výsledků i u všech sledovaných hodnot.

Beneš (2009) ve svém článku uvádí přínosy práce s vhodně nastavenými tlaky v pneumatikách. Zmiňuje, že při snížení hustícího tlaku radiálních pneumatik dochází k prodlužování otisku a dostává se do záběru více žeber. Díky tomu je zajištěn větší záběr kol a tím nižší prokluz a celkově větší efektivita a ekonomičnost práce. Tomuto tvrzení odpovídají naměřené i vypočtené hodnoty.

Společně se snížením prokluzu pneumatik došlo ke snížení spotřeby pohonných hmot. Výrobce pneumatik firma Michelin (2024) uvádí, že s pneumatikami AxioBib lze dosáhnout úspory až 15 % paliva při práci na poli. Při měření bylo dosaženo největší úspory pohonných hmot u čtvrté varianty nastavení hustících tlaků pneumatik a dotížení traktoru. U čtvrté varianty tato úspora činila 8,2 %. Rozdíl mezi naměřenou a výrobcem udávanou úsporou pohonných hmot může být ovlivněn několika různými faktory. Jedním z faktorů mohou být například podmínky, při nichž byla úspora naměřena, tyto podmínky však výrobce neuvádí. Dále může ovlivňovat úsporu paliva zvolený traktor a jeho nastavení motoru a převodovky, v tomto případě bylo nastavení motoru a převodovky konzultováno s Františkem Feixem ze společnosti Strom Praha. Nastavení bylo provedeno tak, aby traktor pracoval v ideálních otáčkách motoru s co nejvyšší účinností. Faktor, který dle mého názoru nejvíce ovlivnil naměřenou hodnotu, je opotřebení pneumatik. Výrobce jistě testoval pneumatiky nové se stoprocentní výškou dezénu, v případě zkoušek v rámci této diplomové práce měly pneumatiky na použitém traktoru přibližně 60 % výšky dezénu na přední nápravě a 70 % výšky dezénu na zadní nápravě.

Kopečný (2015) ve své diplomové práci taktéž dosáhl výsledků, při kterých došlo ke snížení spotřeby pohonných hmot po snížení tlaku vzduchu v pneumatikách.

Nižší prokluz neovlivňoval kladně pouze spotřebu pohonných hmot. Současně dochází i ke zvýšení plošné výkonnosti o 3,2 %. Zvýšení výkonnosti souvisí taktéž se zvýšením skutečné pracovní rychlosti, která se prostřednictvím prokluzu pneumatik liší od pracovní rychlosti, která je nastavena na voliči převodovky. Skutečná pracovní rychlost při nastavení tlaků v pneumatikách přední i zadní nápravy na 200 kPa byla $2,56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, což je $9,22 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Změnou tlaků v pneumatikách a dotížením přední hnací nápravy bylo dosaženo zvýšení pracovní rychlosti o 3,5 % na $2,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, tedy $9,54 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Fuka (2017) taktéž uvádí, že práce s nižším tlakem v pneumatikách snižuje prokluz kol traktoru a tím současně zvyšuje plošnou výkonnost dané soupravy. Poukazuje také na limity nízkého hustícího tlaku pneumatik, je nutné dbát doporučení výrobce, jenž udává pro konkrétní pneumatiku maximální pojezdovou rychlost a maximální zatížení při určitém tlaku v pneumatice. Z důvodu předejití poškození pneumatiky nebo jejího protočení na ráfku bylo doporučeno nastavit jako optimální tlak v pneumatikách 100 kPa, respektive 140 kPa na přední nápravě při připojeném předním závaží.

Tlak vzduchu v pneumatikách je vždy nutné upravit dle aktuálních potřeb, jako jsou pojezdová rychlost, zatížení náprav, půdní podmínky nebo plánované využití traktoru.

Čupera a Šmerda (2009) sledovali vliv tlaku vzduchu v pneumatikách na valivý odpor při využití traktoru na silnici. Z výsledků jejich práce vyplývá negativum jízdy s nízkými tlaky v pneumatikách po silnici, samostatný traktor i souprava traktoru s návěsem musely vynaložit vyšší výkon pro překonání valivého odporu pneumatik se sníženým hustícím tlakem.

Stehno (2009) ve svém článku uvádí, že poměr zatížení přední a zadní nápravy u traktoru s připojitelným pohonem přední nápravy by měl být 40–45 % hmotnosti na přední nápravu a 55–60 % hmotnosti na zadní nápravu traktoru. V případě testované soupravy činilo zatížení přední nápravy s připojeným čelním závažím 6 710 kg, což odpovídá 48,2 % hmotnosti na přední nápravu a 7 215 kg, což je 51,8 % na hmotnosti zadní nápravy. V tomto případě je tedy přední náprava zatížena více, než by měla být v ideálním stavu. Jsou zde dvě možnosti, kterými by bylo možné tento poměr zatížení náprav upravit. Těmito variantami jsou použití čelního přídavného závaží o nižší

hmotnosti, nebo naopak více dotížení zadní nápravy závažím zadních kol o větší hmotnosti. Avšak také uvádí, že traktor při pracovní rychlosti nad $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ by měl být dotížen $67 \text{ kg}\cdot\text{kW}^{-1}$ což u tohoto konkrétního traktoru odpovídá hmotnosti $15\,142 \text{ kg}$. Z toho vyplývá, že jako vhodné řešení pro úpravu rozložení hmotnosti je dodatečné dotížení zadní nápravy, například již výše zmíněnými závažími zadních kol. Při odpojeném čelním závaží byla přední náprava zatížena 40 % hmotnosti a zbylých 60 % hmotnosti připadlo na zadní nápravu, to znamená, že v tomto stavu byl traktor v ideálním rozložení hmotnosti mezi nápravy, avšak jeho celková hmotnost nebyla dostatečná pro přenos výkonu na podložku.

Jedlička (2020) uvádí ve svém článku, že muž o hmotnosti 100 kilogramů stojící na jedné noze působí na podložku tlakem 51 kPa, tento traktor při nastavení tlaků v pneumatikách na obou nápravách na 100 kPa zatěžuje půdu kontaktním tlakem pneumatik 47,83 kPa. Traktor v tomto případě utužuje půdu méně než výše zmíněný muž.

Minařík (2016) se ve své práci zaměřoval také na vliv nahuštění pneumatik a zatížení traktoru na stav půdy a její utužení dle pórovitosti a objemové hmotnosti. Uvádí, že při jeho měření došlo k nejmenším změnám v půdě při nastavení tlaku v pneumatikách na 100 kPa. S tímto výsledkem se shoduje nejnižší vypočtený kontaktní tlak na půdu, při použití třetí varianta nastavení s tlaků v pneumatikách přední i zadní nápravy taktéž na 100 kPa.

Chalupa (2013) ve své diplomové práci dospěl k obdobným výsledkům zvětšení styčné plochy pneumatiky a zároveň zmenšení kontaktního tlaku na podložku. Při snížení hustícího tlaku v pneumatikách Michelin Xeobib ze 180 kPa na obou nápravách na 75 kPa na přední a 65 kPa na zadní nápravě došlo ke zvětšení styčné plochy o 35,31 % a současně s tímto nárůstem se snížil kontaktní tlak na podložku z 96,71 kPa na 69,65 kPa u pneumatik na zadní nápravě. Větší kontaktní tlak při jeho práci je způsoben menší styčnou plochou oproti styčné ploše pneumatik traktoru, který byl použit pro účely této diplomové práce.

Beneš (2009) uvádí, že rentabilita pořízení systému huštění pneumatik je závislá zejména na úrovni vytížení. To je viditelné na výsledcích návratnosti ve výsledkové části této práce. Nejlevnější systém huštění pneumatik se zaplatil prostřednictvím vzniklé úspory již v prvním roce provozu. U dalšího systému, který je ovládán z pohodlí kabiny traktoru, by došlo vzhledem k počítanému ročnímu využití k návratnosti během 18., respektive 14. roku od zakoupení tohoto systému.

K příznivější návratnosti tohoto systému by zajisté došlo při jeho vyšším ročním využití.

Odpovědi na otázky z cíle práce:

Která kombinace tlaků v pneumatikách v kombinaci s dotížením traktoru má lepší exploatační parametry?

Z výsledků měření a následných výpočtů dosáhla nejlepších výsledků čtvrtá varianta nastavení tlaků v pneumatikách a dotížení. Tato varianta nastavení se skládala z nastaveného hustícího tlaku v předních pneumatikách na 140 kPa, v zadních pneumatikách byl tlak vzduchu nastaven na 100 kPa a traktor byl dodatečně dotížen závažím o hmotnosti 1200 kilogramů připojeným do předního tříbodového závěsu.

Která kombinace je výhodnější z pohledu utužení půdy?

Z výpočtů kontaktního tlaku na půdu vychází nejlépe třetí varianta nastavení tlaků v pneumatikách a dotížení traktoru. Při této variantě byl tlak v pneumatikách na přední i zadní nápravě nastaven na 100 kPa a bylo odpojeno čelní závaží. Tímto nastavením bylo dosaženo styčné plochy pneumatik 2,70 m². Při celkovém zatížení přední a zadní nápravy hmotností 13 165 kilogramů a styčné ploše pneumatik 2,70 m² je kontaktní tlak pneumatik 47,83 kPa.

Závěr

Tato diplomová práce shrnuje výsledky získané v průběhu praktického měření. Cílem bylo zjistit vliv správného nastavení tlaků v pneumatikách v kombinaci s dotížením traktoru na spotřebu pohonných hmot, prokluz kol traktoru, skutečnou pracovní rychlost a plošnou výkonnost. Měření probíhalo ve spolupráci s firmou Zemad s.r.o., na jejíž výměru následně byly počítány náklady a možné úspory nákladů vzniklé vhodným nastavením. Dále bylo posouzeno, zda by bylo vhodné zvážit investici do vybraných systémů huštění pneumatik traktoru.

Z výsledků získaných měření a výpočty vyplývá značný přínos práce s tlaky v pneumatikách a dotížením traktoru. Přínos nevznikl pouze po straně vyšší výkonnosti, nižší spotřeby, nižšího opotřebení pneumatik díky nižšímu prokluzu a tím snížení nákladů na zpracování půdy, ale také pomocí zvětšení styčné plochy pneumatik výsledným nižším kontaktním tlakem na půdu, čímž je půda chráněna před nadměrným utužením. Díky těmto přínosům a získaným výsledkům hodnotím práci s nastavením vhodných hustících tlaků v pneumatikách jako důležitou součást přípravy před zahájením vlastní práce.

Někteří výrobci zemědělské techniky nabízejí již z výroby systémy huštění pneumatik a velmi často se s nimi dnes setkáme na nových traktorech vyšších výkonových tříd. Je to nejspíše jak kvůli úspoře nákladu, tak zajisté i kvůli redukcii utužení půdy, jelikož půda je pro zemědělce základním stavebním prvkem jejich podnikání a je potřebné se o ni důkladně starat.

Seznam použité literatury

- Bauer, F. et al. (2006). *Traktory*. 1. vydání. ProfiPress s.r.o., Praha. ISBN 80-86726-15-0
- Bauer, F. et al. (2013). *Traktory a jejich využití*. 2. vydání. ProfiPress s.r.o., Praha. ISBN 978-80-86726-52-6
- Beneš, P. (2009). *Přínos změny tlaku v pneumatikách*. [online] zemedelec.cz [cit. 04. 06. 2023]. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/prinos-zmeny-tlaku-v-pneumatikach/>
- Beneš, P. (2013). *Nejefektivnější řešení složitých úkolů*. [online] zemedelec.cz [cit. 20. 06. 2023]. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/nejefektivnejsi-reseni-slozitych-ukolu/>
- Beneš, P. (2016). Pneumatiky pro výkonné stroje i návěsy. *Mechanizace zemědělství*, 66(6):106–107.
- Beneš, P. (2022). *Již žádné plnění zemědělské pneumatiky vodou*. [online] mechanizaceweb.cz [cit. 18. 06. 2023]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/jiz-zadne-plneni-zemedelske-pneumatiky-vodou/>
- Beneš, P. (2023). *Systém centrálního huštění pneumatik pro všechny zemědělské stroje*. [online] mechanizaceweb.cz [cit. 04. 06. 2023]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/system-centralniho-husteni-pneumatik-pro-vsechny-zemedelske-stroje/>
- Czso.cz (2024). *Šetření průměrných cen vybraných výrobků – pohonné hmoty a topné oleje – časové řady*. [online] [cit. 17. 02. 2024]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/setreni-prumernych-cen-vybranych-vyrobku-pohonne-hmoty-a-topne-oleje-casove-rady>
- Deschamps, W. (2022). *Le John Deere 7310R lesté en une minute avec l'EZ Ballast* [online] GrosTracteursPassion.com [cit. 27. 06. 2023]. Dostupné z: <https://www.grostracteurspassion.com/actualite/les-reportages/le-john-deere-7310r-leste-en-une-minute-avec-lez-ballast>
- Fuka, V. (2017). *Má smysl měnit tlak vzduchu v pneumatikách?* [online] mechanizaceweb.cz [cit. 01. 06. 2023]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/ma-smysl-menit-tlaku-vzduchu-v-pneumatikach/>
- Fuka, V. (2018). *Rozdíly v konstrukci pneumatik*. [online] mechanizaceweb.cz [cit. 17. 04. 2023]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/rozdily-v-konstrukci-pneumatik/>
-

Fuka, V. (2020). *Výkonné univerzální traktory v nové podobě*. [online] mechanizaceweb.cz [cit. 21. 06. 2023]. Dostupné z:

<https://mechanizaceweb.cz/vykonne-univerzalni-tractory-v-nove-podobe/>

Fuka, V. (2021). *Pneumatika s netradičním dezénem a novými vlastnostmi*. [online] mechanizaceweb.cz [cit. 06. 04. 2023]. Dostupné z:

<https://mechanizaceweb.cz/video/pneumatika-s-netradicnim-dezenem-a-novymi-vlastnostmi/>

Hruška, J. (2015). Řešením může být změna tlaku. *Farmář*, 21(6): 66–67.

Hruška, J. (2023). *Podvozky a pneumatiky traktorů*. [online] mechanizaceweb.cz [cit. 12. 03. 2024]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/podvozky-a-pneumatiky-tractoru/>

Chalupa, O. (2013). *Vliv pneumatik na tahové vlastnosti traktorů*. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta.

Janulevičius, A. a Damanauskas, V. (2022). Prediction of tractor drive slippage under different inflation pressures. *Journal of Terramechanics*, 101(2022):23–31.

Jedlička, M. (2016). *Mitas AirCell zásadně zrychluje huštění pneumatik* [online] Agroportal24h.cz [cit. 10. 06. 2023]. Dostupné z:

<https://www.agroportal24h.cz/clanky/mitas-aircell-zasadne-zrychluje-husteni-pneumatik>

Jedlička, M. (2017). *Inteligentní systém regulace tlaku v pneumatikách sklízecí mlátičky. Jak funguje?* [online] Agroportal24h.cz [cit. 10. 06. 2023]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/inteligentni-system-regulace-tlaku-v-pneumatikach-u-sklizeci-mlaticky-jak-funguje>

Jedlička, M. (2020). *Špičkový polopásový traktor Case IH Magnum Rowtrac s převodovkou přizpůsobenou k vysokému zatížení v poli* [online] Agroportal24h.cz [cit. 17. 03. 2024]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/spickovy-polopasovy-case-ih-magnum-rowtrac-s-prevodovkou-prizpusobenou-k-vysokemu-zatizeni-v-poli>

Jedlička, M. (2023). *Pneumatika Michelin EVOBIB je speciálně navržena pro použití s centrálním systémem huštění pneumatik* [online] Agroportal24h.cz [cit. 06. 06. 2023]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/pneumatika-michelin-evobib-je-specialne-navrzena-pro-pouziti-s-centralnim-systemem-husteni-pneumatik>

-
- Karásková, M. (2018). *PneuTrac – ani pneumatika, ani pás*. [online] mechanizaceweb.cz [cit. 12. 03. 2024]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/pneutracs-ani-pneumatika-ani-pas/>
- Kopečný, A. (2015). *Vliv pneumatik na výstupní parametry traktorů*. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- MagnaTyres.com (2023). *Tyre construction differences: radial/bias/solid*. [online] [cit. 17. 04. 2023]. Dostupné z: <https://magnatyres.com/product-development/differences-radial-solid-bias/>
- Michelin.cz (2024). *Michelin Axiobib*. [online] [cit. 16. 01. 2024]. Dostupné z: <https://pro.michelin.cz/pneumatika/michelin-axiobib>
- Minařík, J. (2016). *Vliv zatížení a tlaku huštění pneumatik traktoru na utužení půdy*. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta.
- Pražan, R., Čedík, J., Gerndtová, I., Neřold, J., Pexa, M. (2016). Comparison of three sets of drive tractor tyres with respect to traction. In: *6th International Conference on Trends in Agriculture Engineering 7–9 September 2016, Prague, Czech Republic*. VUZT, s. 516–521.
- Sedlák, P. a Bauer, F. (2004). Effect of contact surface of tyres on tractor pulling properties. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun.*, 52(1): 209–216.
- Stehno, L. (2009). Jak ekonomicky jezdit s traktory. [online] mechanizaceweb.cz [cit. 20. 06. 2023]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/jak-ekonomicky-jezdit-s-traktory/>
- Stehno, L. (2023). *BKT doporučuje: neplňte pneumatiky vodou!* [online] mechanizaceweb.cz [cit. 20. 06. 2023]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/bkt-doporucuje-neplnte-pneumatiky-vodou/>
- Stehno, L. (2023). *Rozšířená nabídka pneumatik CFO*. [online] mechanizaceweb.cz [cit. 24. 05. 2023]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/rozsirena-nabidka-pneumatik-cfo/>
-

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Souprava traktoru a zátěžového vozidla při měření tahové charakteristiky traktoru	9
Obrázek 1.2: Průřez diagonální pneumatikou	12
Obrázek 1.3: Průřez radiální pneumatikou	13
Obrázek 1.4: Dezén hybridních traktorových pneumatik Michelin EvoBib	15
Obrázek 1.5: Traktor New Holland vybavený pneumatikami Trelleborg PneuTrac .	16
Obrázek 1.6: Připojování závaží EZ Ballast k traktoru	23
Obrázek 3.1: Souprava traktoru John Deere a radličkového kypřiče Horsch	25
Obrázek 3.2: Přenosné nájezdové váhy před měřením zatížení náprav	26
Obrázek 3.3: Tabulka tlaku huštění pneumatik Michelin Axiobib IF 710/75R42	27
Obrázek 4.1: Grafické znázornění plošné výkonnosti	44
Obrázek 4.2: Grafické znázornění rozdílu spotřeby paliva jednotlivých variant	44
Obrázek 4.3: Grafické znázornění rozdílu pracovních rychlostí	45
Obrázek 4.4: Grafické znázornění změny celkové styčné plochy pneumatik traktoru	45
Obrázek 4.5: Grafické znázornění změny kontaktního tlaku pneumatik traktoru na podložku	46
Obrázek 4.6: Grafické znázornění vypočítaného prokluzu pneumatik	46
Obrázek 4.7: Grafické znázornění poklesu nákladů na mzdu zaměstnance	47
Obrázek 4.8: Grafické znázornění ročních nákladů na pohonné hmoty u jednotlivých variant	47
Obrázek 4.9: Grafické znázornění snížení celkových ročních nákladů na kypření půdy	48
Obrázek 4.10: Porovnání styčné plochy zadní pneumatiky traktoru	48

Seznam tabulek

Tabulka 4.1: Naměřené hodnoty při 1. variantě nastavení.....	34
Tabulka 4.2: Naměřené hodnoty při 2. variantě nastavení.....	36
Tabulka 4.3: Naměřené hodnoty při 3. variantě nastavení.....	38
Tabulka 4.4: Naměřené hodnoty při 4. variantě nastavení.....	40
Tabulka 4.5: Srovnání naměřených hodnot a výsledků jednotlivých variant nastavení	43