JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program:	B4131 – Zemědělství
Studijní obor:	Zemědělská a dopravní technika: Obchod, servis a služby
Katedra:	Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky
Vedoucí katedry:	doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Měření vertikálního zatížení pod jednotlivými nápravami traktorů s připojenou nesenou zemědělskou technikou

Vedoucí bakalářské práce:	Mgr. Tomáš Zoubek
Autor bakalářské práce:	Miroslav Šálený

V Českých Budějovicích, 2019

Zadání BP

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne ....

Podpis

Abstrakt

Tato bakalářská práce řeší problematiku vertikálního zatížení pod jednotlivými nápravami traktorů s připojenou nesenou zemědělskou technikou. Cílem práce bylo vytvoření databáze parametrů traktorů a připojené zemědělské techniky, které by bylo možné využít pro počítačové simulace utužení půdy. Následně představuje metody, které omezení utužení půdy. V praktické části bylo uskutečněno několik měření zatížení traktorů s připojenou zemědělskou nesenou technikou pod přední a zadní nápravou a následně pomocí výpočtů byla vypočítána hmotnost působící na jeden centimetr čtvereční. Výsledky měření byly vyhodnoceny v závěru práce.

Klíčová slova: Zatížení, traktor, nesená technika, utužení

Abstract

This bachelor thesis solves problems of vertical load under each axle of tractors with mounted mounted agricultural technology. The aim of this work is to describe the impact of modern agricultural machinery and its impact on the agglomeration of agricultural land and the reasons for the penetration. Then describe the methods that limit soil mitigation. In the practical part, several load measurements of tractors with agricultural support technology were carried out under the front and rear axles, and then the calculations calculated the weight acting on one square centimeter. The results of the measurements were evaluated at the end of the work.

Key words: load, tractor, carried technique, compaction

Obsah

Úvod 7

1 Teoretická část 8

1.1 Utužení půdy 8

1.1.1 Příčiny utužení půdy 8

1.1.2 Účinky zhutnění půdy 9

1.1.3 Opatření proti utužení půdy 10

1.1.4 Flotační a nízkoprofilové pneumatiky 11

1.2 Silová bilance traktorů 13

1.3 Pluh a jeho využití 15

1.4 Secí stroj 16

1.5 Diskový kypřič 17

2 Metodika 18

2.1 Charakteristika měřicího přístroje 18

2.2 Charakteristika měřené techniky 18

2.3 Popis měření 21

Cíl 24

3 Výsledky měření a diskuse 25

3.1 Charakteristika podniku 25

Závěr 40

Seznam použité literatury 41

Seznam obrázků 42

Seznam tabulek 43

Úvod

Při měření vertikálního zatížení pod jednotlivými nápravami traktorů s připojenou nesenou zemědělskou technikou byly naměřeny hmotnosti strojů, které dosahují vysokých hodnot s porovnáním se stroji minulého století. Vliv zatížení strojů na půdu je v současné době aktuální problematikou. V posledních letech, kdy ubývá pracovních sil v podnicích, které se zabývající zemědělskou výrobou, se zvyšuje poptávka po výkonných zemědělských strojích, které jsou schopny zvládnout větší množství odvedené práce. Moderní stroje dosahující abnormálních rozměrů, a tudíž nabývají i větších hmotností, které mají za následek utužení půdy. Současná zemědělská technika je vybavena pásovým nebo kolovým podvozkem, kdy kolové podvozky jsou vybaveny speciálními pneumatiky, které zmírňují utužení půdy.

Historie, kdy se pole obdělávala stroji taženými koňmi je minulostí. Je 21. století, ve kterém se zvyšuje tlak na výkon, kdy se zvyšuje množství práce provedené v co nejkratším čase. V zemědělství dochází k značné spotřebě energie, na níž se podílí pracovní úkony v rostlinné výrobě. Podstatnou složkou v mechanizaci zemědělství tvoří traktory, které ve spojení s přípojnou technikou tvoří soupravu pro vykonání polních operací. Obsluha strojů požaduje od moderních strojů výkonnost, přesnost, spolehlivost a stupeň automatizace. Uvedená kritéria se v průběhu let zvyšují. Splnění uvedených kritérií má za důsledek zásadní změny v konstrukci. Technika vybavena elektronikou také vyžaduje odbornou znalost pracovníků, kteří traktory obsluhují.

1 Teoretická část

V dnešní době je tendence veškeré práce zrychlit a uskutečnit v co nejkratším možném čase. Týká se to i dnešního hospodaření na orné půdě, kdy pracovních sil na polích ubývá, a tudíž je potřebné zvládnout stejné množství práce při malém počtu lidí pracující v zemědělství. V důsledku apelace na zrychlení prací se vyrábějí větší, těžší a výkonnější stroje, kdy hmotnost samotného traktoru o maximálním výkonu 692 koňských sil může dosahovat až 25 tun. Stroje se značně velkou hmotností mají možnost výběru pásového podvozku, které vlivem rozložení tíhy zmírní zatížení na půdu.

1.1 Utužení půdy

Vlivem intenzivního hospodaření dochází k přílišnému utužování půdy. Stlačování půdy zapříčiňují časté přejezdy těžkou zemědělskou technikou, kdy dochází ke zvyšování objemové hmotnosti, která vyjadřuje hmotnost půdy na 1 g/cm^3 a významnému snížením pórovitosti a propustnosti, což má za následek snižování schopnosti půdy zadržovat vodu a snížení úrodnosti. Rozpad půdní struktury způsobuje změnu pórovitosti a objemové hmotnosti. Pakliže je hodna objemové hmotnosti vyšší, znamená to, že půda utuženější. Na orné půdě, kde se pěstují polní plodiny, by měla být objemová hmotnost v rozhraní od 1,2 až 1,5 g/cm^3. Má-li objemová hmotnost vyšší hodnotu, nastává další problém s pórovitostí, která je na ní závislá. Pórovitost je vlastnost, která vypovídá v procentech, jaký je obsah prostoru nezaplněný půdním materiálem. Je-li hodnota pórovitosti vyšší, plodina má lepší příležitost vyvíjet svůj kořenový systém hlouběji, a tím využívat větší množství přírodních látek pro svůj rozvoj. Nejvhodnější hodnoty jsou v ornici v rozmezí 45-55% podle druhu půdy. [1]

1.1.1 Příčiny utužení půdy

Zpravidla negativní vliv vznikající v důsledku přímého působení člověka na rozpad půdní struktury s následným utužením má zejména dnešní těžká technika, která půdu utužuje, zvláště za nepříznivých vlhkostních podmínek a nesprávném zpracování půdy, např. orba ve stejné hloubce. Další příčinou jsou nesprávně zvolené osevní postupy, kdy se pěstují především pšenice a řepka ozimá. V poslední době se pěstuje i kukuřice, u které na svažitých polích dochází k odplavování úrodné půdy. V osevních postupech chybějí víceleté pícniny, které vážou vzdušný dusík. Další

příčinou je nadměrné hnojení draselnými hnojivy, okyselení půdy a v neposlední řadě je to úbytek organické hmoty.

Důsledkem utužení půdy je nedostatečné vsakování vody do půdy, kdy dojde k urychlenému odtoku vod, což způsobuje erozi půdy. Dále kořeny plodin vlivem utužení zastaví svoji účinnou hloubku o zhutněnou vrstvu. Ztížené podmínky také zhoršují rostlinám vzcházení a následný vývoj plodiny kvůli malému množství vody, živin i vzduchu.

Existují řešení, kterými lze zmírnit problémy. Jsou však finančně velmi nákladné. Každoročně je snaha zamezit infiltraci a retenci vody v půdě, díky čemuž jsou vynaloženy velké finanční prostředky. Zhutnění půdy má vliv také na výnosy plodin, které se každoročně snižují. Problém s utužením půdy zároveň ovlivňují klimatické změny, kdy se očekává výrazné zhoršení dnešní situace. To sebou nese zvýšená rizika povodní a dlouhodobého sucha.

Přibližně čtyřicet procent půdy na území ČR je ohroženo utužením. Z toho je asi třicet procent ohroženo genetickým zhutněním, které se týká především těžkých jílovitých půd. Zbylých sedmdesát procent je ohrožené utužením v důsledku lidského faktoru, které může být způsobeno na jakýchkoliv půdách. K utužení dochází tehdy, kdy zatížení přenášené podvozkem traktoru nebo stroje překročí okamžitou únosnost půdy. Zhutnění se týká všech druhů půdy, avšak o něco více se to týká těžších a středně těžkých půd. [1]

1.1.2 Účinky zhutnění půdy

Tlak zemědělských zařízení působící na stlačování půdy mohou způsobit stlačování půdních částic těsněji do menšího objemu, což má za následek nedostatečného provzdušnění a pronikání vody. Zhutnění půdy způsobuje snížení pórovitosti, snižuje infiltraci vody v půdě, omezuje pronikání vody do kořenové soustavy a podloží, zvyšuje riziko erozi půdy, snižuje vlastnost půdy pohlcovat vodu a vzduch, snižuje výskyt plodin v důsledku krustování půdy, zabraňuje růstu kořenů plodin a snižuje objem půdy zkoumané kořeny a schopnost plodin účinně absorbovat živiny a vodu z půdy.

V letech, kdy jsou četnější dešťové srážky, může při zhutnění půdy dojít ke snížení provzdušňování půdy a vést ke zvýšení ztrát dusíkatého dusíku denitrifikací, což je přeměna dostupného dusičnanového dusíku na formy plynného dusíku, které jsou ztraceny v atmosféře. K tomuto procesu dochází, když jsou půdy v anaerobním stavu a póry půdy jsou zaplněny vodou. Snížené větrání půdy může

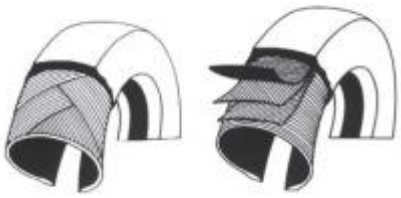
ovlivnit rozvoj a funkci kořenů a vést ke zvýšenému nebezpečí onemocnění plodin. Všechny tyto faktory vedou ke zvýšení stresu plodin a ztrátě výnosů. [2]

1.1.3 Opatření proti utužení půdy

Opatření snižující míru utužení půdy je hned několik. Co se týče agrobiologických opatření, je potřeba dodávat půdě dostatečné množství organického hnojiva, která vyrovnává bilanci organické hmoty. Nevýhodou organického hnojiva je jeho velký obsah semen plevelů. Dalším řešením je snížení aplikací kyselých minerálních hnojiv a udržovat v normě pH půdy. Účinným řešením je také setí hluboce kořenící rostlin, které utužené spodní vrstvy rozkypří. Styčnou plochu kol nebo pásu zemědělských strojů s půdou je možné s ohledem na nejmenší vyvíjený tlak přizpůsobit snížením tlaku v pneumatice. Dále je možné použít tzv. dvoumontáž, kdy se ke kolu připojí další kolo, a tím dojde k rozložení zatížení. Použitím flotačních či nízkoprofilových pneumatik se docílí také snížením tlaku. Další možností k docílení snížení zatížení na půdu je použití pneumatik s větší šířkou a vnějším průměrem pneumatik. Při použití pásového podvozku se docílí k většímu rozložení tíhy stroje na styčnou plochu, jejich vývoj a výroba je však nákladná a jejich následná pořizovací cena je vysoká. Dále je možné snížit počet přejezdů po poli stanovením trvalých kolejových řádků, kdy dojde k ustanovení pracovních záběrů. Tím se docílí snížení přejezdů po pozemku až o 50 %. V neposlední řadě je důležité plnit agrotechnické požadavky pro zpracování půdy.[1]

1.1.4 Flotační a nízkoprofilové pneumatiky

Dnešní zemědělské stroje mohou dosahovat hmotnosti několika desítek tun, kdy je nutné se zaměřit na ideální volbu použití pneumatik. Neustále se zvyšuje hodnota odvedené práce na jeden hektar za jednu hodinu, která se dnes pohybuje okolo čtyř obdělaných hektarů za jednu odpracovanou hodinu. Docíleno je to díky nárokům zemědělců na zvyšovaní výkonu zemědělských strojů. Mezi zdokonalování jednotlivých produktů patří i pneumatiky, které jsou jednou z hlavních částí stroje. Inovace pneumatik se zaměřuje na jednotlivá kritéria, mezi která patří výkonnost stroje dále i klimatické a půdní podmínky. Na trhu se nabízejí dva typy pneumatik, diagonální a radiální. Diagonální pneumatiky, u kterých se kordová vlákna vzájemně kříží a ubíhají šikmo od patky k patce. Zatímco u radiálních pneumatik je konstrukce tvořena ze speciálního pogumovaného materiálu, který se podobá textilu. Ty jsou uloženy kolmo ke směru pohybu pneumatiky.[3]



Obrázek 1: Radiální a diagonální typ pneumatiky

Nyní je většina pneumatik bez duší, kdy roste využití především radiální a nízkotlaké a flotační typy a využití diagonálních pneumatik ubývá. Avšak vlivem zjištěných údajů výrobci uvažují o návratu výroby pneumatik s dušemi, které disponují lepším přenosem hnací síly. K přenosu sil pomáhají především dvě třetiny plochy duše v plášti a poté zbylá jedna třetina disku. Bočnice a patky jsou uvedeným řešením méně namáhané na prokluz.[4]

Značný důraz se klade na dostatečný styk pneumatik s podložkou při přenosu sil na kola s nejvýhodnější tahovou účinností, která je dnes v maximálním možném rozmezí 70–72 %. Výzkum se v posledních letech soustředil na vyhodnocení kontaktního tlaku ve styčné ploše mezi namáhanou pneumatikou a půdou. Je důležité rozlišovat rozdíl mezi styčnou plochou a stykovou plochou. Rozdíl u styčné plochy spočívá v tom, že celková plocha dezénu včetně prostoru mezi ostruhy je zabořena

do půdy a podílí se na přenosu sil. Zatím co u stykové plochy jde pouze o stykovou plochu mezi šípy a tvrdou podložkou. Velikost styčné plochy lze snadno získat pomocí vícenásobného otisku, kde je možné jednoduše porovnat jednotlivé druhy a velikosti pneumatik a to i z pohledu zhutnění. Výhodami diagonálních pneumatik jsou jejich pevná konstrukce a velká odolnost proti proražení. Další výhodou je jejich dlouhá životnost a mají poměrně malý odpor valení, avšak jejich nevýhodou je přenášení vibrací. Diagonální pneumatiky mají v porovnání s radiálními pneumatiky využití především pro stroje dosahující hmotnosti maximálně šesti tun, z důvodu její slabší konstrukci a menší styčnou plochou. Použitím diagonálních pneumatik pro těžší stroje, než je doporučené, by došlo zvýšenému kontaktnímu zatížení, což by mělo za následek boření a prokluzu kol. Radiální pneumatiky disponují pružností, které pomocí podhuštění umožňují větší styčnou plochu a lepší tahové vlastnosti traktoru.

Míra stlačení půdy lze ovlivnit velikostí zatížené styčné plochy pneumatiky. Dalším aspektem je aktuální vlhkost půdy, kterou je možné určit pomocí tzv. koncentračního faktoru. Vlhkost má vliv na rozšíření tlakového napětí v půdním prostoru. Jsou určeny tři hodnoty pro určité vlhkostní stavy, kdy hodnota 4 označuje tuhou suchou půdu, která má vlhkost do 12 %, hodnota 5 značí půdu kultivovanou normální s vlhkosti do 17 % a hodnota 6 popisuje půdu kultivovanou velmi lehkou a její vlhkost přesahuje nad 18 %. Dnešní pneumatiky jsou konstruovány na poměrně velký rozsah tlaku v pneumatice, pomocí kterého lze dosáhnou požadované velikosti styčné plochy v určitých terénních podmínkách. Výrobci radiálních pneumatik doporučují na vlhčích půdách snížit tlak přibližně o jednu čtvrtinu nominálního tlaku nebo i o jednu třetinu tlaku. Někteří uživatelé radiálních pneumatik nebudou využívat jejich podhuštění a změnu tlaku, neboť se zvyšuje opotřebení pneumatik a jejich pořizovací ceny jsou vysoké. Avšak správné podhuštění pneumatik zvyšuje tahové vlastnosti traktoru.

Správný výběr pneumatik také zaručuje maximální využití tahové účinnosti traktoru, kdy dochází k přenosu výkonu motoru traktoru na tahovou sílu. Pneumatiky menších rozměrů nemají odpovídající dosedací styčnou plochu, a tak traktor nemůže maximálně využít svoji tahovou sílu. Jestliže se v takovýchto typech pneumatik sníží tlak při polních prací, dojde k poškození bočnic a patek. Výrobci vytváří katalogy s doporučenými rozměry pneumatik, které případně mohou zaměnit či nahradit za původní pneumatiky tak, aby bylo docíleno co nejoptimálnějších podmínek.[3]

1.2 Silová bilance traktorů

Důležitou součástí přenosu sil z traktoru na podložku jsou pneumatiky, na kterých je závislá dokonalost přenosu síly mezi kolem a půdou, velikost měrného tlaku na půdu, velikost valivého odporu a udržování směru.[5]

Hnací síla kola má za úkol přemáhat všechny odpory, které působí proti traktoru nebo traktorové soupravě. Odpory vznikají reakcí pracovního nářadí a zpracovávaného materiálu. Odpory se mohou rozdělit na ztrátové, spotřebované a užitečné. Do ztrátových odporů se řadí síla odporu valení a síla odporu vzduchu. Síla odporu valení je dána součtem odporů na jednotlivých kolech pracovního stroje.

Důležitým ukazatelem je tzv. součinitel odporu valení, který je závislý na rychlosti pohybu traktoru, kdy s rostoucí rychlostí a deformací podložky se jeho hodnota zvyšuje. Naopak při větším tlaku vzduchu v pneumatice se součinitel valení snižuje. Neboť se pneumatika méně deformuje a tím se sníží ztráty. Další vlivem na velikost součiniteli valení je velikost pneumatiky, kdy kolo s větším průměrem má nižší součinitel odporu valení, neboť se méně ponořuje do půdy. Dalším způsobem kdy se součinitel odporu valení zvyšuje, je prokluz, který je nežádoucím jevem.[5]

Tabulka 1: Součinitel odporu valení f na různých podložkách

Druh a stav podložky	**Součinitel odporu valení f**	
	Kolový podvozek	Pásový podvozek
Asfalt	0,018-0,020	-
Suchá polní cesta	0,030-0,050	0,050-0,070
Strniště	0,100-0,120	0,070-0,080
Zorané pole	0,120-0,180	0,080-0,120
Posečená louka	0,080-0,100	0,080

Při jízdě po zpevněném povrchu je výhodné zvýšit tlak v pneumatice, což zmenší ztráty a prodlouží se životnost pneumatik. Na poli je však lepší tlak v pneumatikách snížit, kdy se docílí zvětšení povrchového styku kol s půdou a sníží se kontaktní tlak, zamezí se boření pneumatik a odpor deformované půdy.

Pásové podvozky mají dvě složky odporů. Vnitřní složka zahrnuje odpor valení vodících kladek a ztráty deformací pásu. Vnější složka síly odporu valení počíná odporem deformované půdy a její velikost závisí na mechanických vlastnostech půdy, konstrukci pásové jednotky a její zatížení.

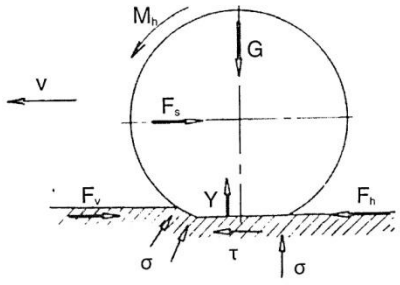
Při pohybu traktoru vytváří hnací kola smykové napětí v půdě. Velikost smykového napětí závisí na druhu půdy, její vlhkosti, kontaktním tlaku mezi kolem a půdou. Velikost smykového napětí lze určit pomocí prstencového otevřeného smýkacího přístroje. Smykové napětí je závislé na posuvu zeminy. Půda má určitou kohezi, která je způsobována molekulární přitažlivostí půdních částic. Koheze je tudíž ovlivněna zrnitostí půdy, kdy jemnější zrnitost půdy má vyšší kohezi. Hodnoty koheze závisí na měrné hmotnosti a vlhkosti půdy. Jílovité půdy mají nejvyšší kohezi, jejíž velikost se snižuje s obsahem písčitých částic. Naopak úhel vnitřního tření se zvyšuje.[5]

Tabulka 2: Hodnoty koheze c a úhlu vnitřního tření φ

Druh půdy	**c [kPa]**	**Φ [°]**
Jílovitá	60-100	20-25
Jílovitohlinitá	40-60	25-28
Hlinitá	25-40	28-32
Písčitohlinitá	10-25	32-35
Písčitá	0-10	34-36

Jakýkoliv typ pojezdového ústrojí charakterizuje velikost dosedací plochy pneumatiky na povrch. Velikosti této plochy má přímý vliv na zhutňování půdy. Rovinná plocha otisku S_o je limitována obrysem vtlačení vzhledem k povrchu půdy a vzniká tedy na povrchu s malou únosností. Na povrchu s vyšší tuhostí má elipsovitý tvar. Tzv. plnost vzorku běhounu je poměr plochy styku a otisku, kdy na tuhé podložce dosahuje 30 až 60 %. Další typem je plocha styku S_d, což je část plochy otisku, která je vytvořena typem vzorku dezénu a přijde do styku s podložkou.

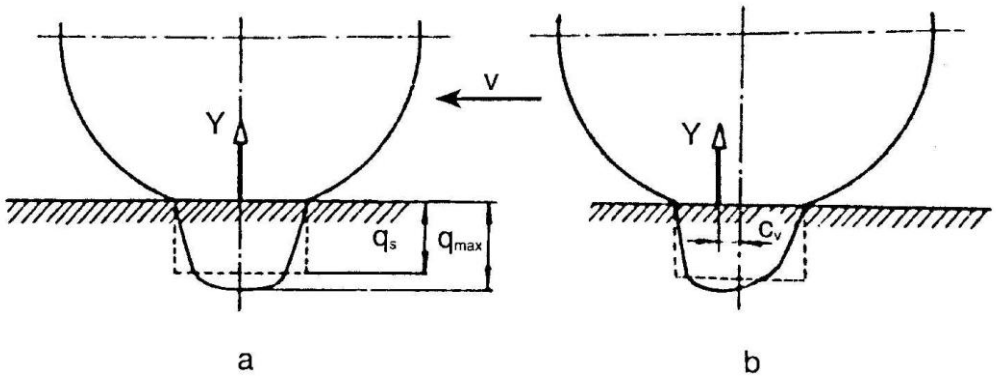
Elementární napětí způsobuje při zvyšujícím zatížením kol vnikání více do hloubky a současně do stran, kde je možné vidět křivky stálého tlaku.



Obrázek 2: Znázornění valení pneumatiky po měkké podložce

Zmíněné napětí není závislé jenom na hmotnosti a konstrukci podvozku, ale také je nutné brát v potaz druh půdy a její vlastnosti, především vlhkost a pórovitost půdy. Napětí působící kolmo na dosedací plochu je možné rozdělit na vodorovnou a svislou složku. Vodorovná složka značí vnější sílu odporu valení hnacího kola. Svislá složka napětí vyznačuje normálovou reakci Y, jenž vlastní velikostí souvisí s tíhovou sílou, která je přenášená na jednotlivou pneumatiku či pás.[5]

Smykové napětí způsobuje točivý moment motoru, jehož směr je rovnoběžný s povrchem půdy. Kontaktní tlak je určen podílem normálového tlaku s plochou otisku. Vlivy ovlivňující normálovou reakci a plochu otisku, taktéž ovlivňují velikost kontaktního tlaku, který dosahuje nejvyšší hodnoty při jízdě na tvrdé podložce. Kontaktní tlak bývá vyjádřen střední hodnotou q_s. Půda s menší únosností způsobuje hlubší zaboření kola. Kolo se začne propadat do okamžiku, kdy se začne vyrovnávat nosná schopnost půdy s vnějším zatížením. Pokud je traktor v klidu, normálová reakce je v ose kola. Jestliže se traktor pohybuje, vychýlí se ve směru jízdy před svislou osu. Na měkkém povrchu má vliv na posunutí normálové reakce také reakce půdy a deformace pneumatiky. [5]



Obrázek 3: Průběh kontaktního tlaku pod stojící (a) a pohybující (b) se pneumatiky po tvrdé podložce

1.3 Pluh a jeho využití

Radličné pluhy jsou určeny pro funkci obracení zpracovávané vrstvy půdy. Obracení skývy společně s kypřením, drobením a mísením půdy tvoří významný zásah do půdy. Při orbě dochází k zaklápění rostlinných zbytků a organických hnojiv do půdy. Při orbě správně seřízeným pluhem zůstává na povrchu půdy méně než 10 % rostlinných zbytků či hnojiv.

Konstrukce pluhu tvoří orební těleso, jehož hlavními částmi jsou čepel, odhrnovačka a plaz. Zmíněné díly jsou vzájemně spojeny a pomocí slupice jsou uchyceny k rámu pluhu. Úkolem čepele je odříznout skývu ode dna brázdy a hrana odhrnovačky ji odřezavše svislé rovině od nezpracované ornice. Při zvedání a překlápění skývy do strany působí na orební těleso síla, jejíž zachycuje plaz, což je svislá deska opírající o stěnu brázdy.

Základem správně provedené orby je dobře seřízený pluh. U pluhů je důležité zajistit stálou hloubku orby v celé šířce pracovního záběru pluhu. Rám pluhu musí být při orbě v podélném i příčném směru rovnoběžný s povrchem půdy. Dále je důležité dobře seřídit pracovní záběr prvního orebního tělesa a celkový záběr pluhu. Jestliže se pracovní záběry jednotlivých těles liší, pak jednotlivé pracovní jízdy na sebe špatně navazují. Konec čepele první radlice pluhu má sledovat vnitřní bok pneumatiky zadního kola traktoru. Rovina plazu má být shodná se směrem jízdný soupravy. [6]

1.4 Secí stroj

Secí stroj slouží k setí osiva a jeho úkolem je pravidelně rozmístit osivo tak, aby byly pro všechna semena vytvořeny stejné a co nejlepší vegetační podmínky. Podle druhu osiva a půdy se seje do hloubky 2–8 cm. Stroje pro výsev obilovin, olejnin, luskovin a dalších se rozděluje podle druhu výsevního mechanismu a také podle určení pro výsev do nakypřené nebo ulehlé půdy, pro bezorebné setí.

Výsevní mechanismy se rozlišují na výsevní mechanismy individuální, které vysévají do jednoho nebo dvou řádků a centrální vysévá do všech řádků. Individuální mechanismy tvoří válečky umístěné ve spodní části zásobníku, které určují množství dopravovaného osiva semenovody do výsevní botky. Centrální výsev využívá tlaku vzduchu. Osivo padá do výtlačného potrubí ventilátoru a proudem vzduchu je unášeno do rozdělovače. Po jeho rozdělení je možné na všechna potrubí připojit další rozdělovače, a tudíž může mít secí pneumatický stroj velký počet semenovodů a tím i velký pracovní záběr. Výhodou je pneumatická doprava osiva do vzdálených secích botek. Nevýhodou však je horší rovnoměrnost výsevu.[7]

1.5 Diskový kypřič

Diskový kypřič disponuje velkou plošnou výkonností při podmítce nebo při opakovaném mělkém kypření půdy. Vysoká výkonnost je podmíněna pojezdovou rychlostí soupravy až 14 $km.h^{-1}$. Při zpracování půdy zanechávají talířové kypřiče hřebenité dno pod zpracovanou vrstvou půdy. Talířové kypřiče bývají vybaveny různými druhy drobícími nebo utužovacími válci. Talířové kypřiče se používají především pro podmítku strniště po sklizni plodin. Kvalita provedené podmítky závisí na kvalitě sklizně, která ovlivňuje výšku strniště či následné drcení slámy. Jestliže se kypřič skládá ze čtyř sekcí talířů uspořádané do tvaru písmen „X“ je možné snadně změnit úhel svírající rovinu rotace talířů. Změnou úhlu se ovlivňuje hloubka podmítky a hřebenitost dna zpracovávané půdy. [8]

2 Metodika

2.1 Charakteristika měřicího přístroje

Při měření vertikálního zatížení pod jednotlivými nápravami traktorů s připojenou nesenou technikou byla použita nájezdová váha DFWKR. Tento indikátor umožňuje rychle zobrazit váhu jedné nebo všech vážních plošin. Také je možné sečíst váhu všech náprav. Výše uvedeným způsobem je možné získat celkovou hmotnost traktoru i s návěsem. Dále umožňuje vložit souřadnice váhy pro výpočet těžiště vozidla.

Nápravové váhy slouží k měření hmotnosti silničních vozidel. Váhy jsou komplety, kdy každý komplet je složen ze dvou platforem a indikátoru v plastovém kufru. Vozidlo se zváží po jednotlivých nápravách a na závěr se vytiskne vážní lístek s údaji o zatížení jednotlivých náprav a celkovou hmotností vozidla. Tyto komplety jsou buď v provedení kabelovém, kdy platformy jsou k indikátoru připojeny 10 m kabelem, nebo v provedení bezdrátovém, kde platformy komunikují s indikátorem bezdrátově prostřednictvím radiového připojení. Tyto komplety lze použít pouze jako pracovní měřidlo, bez možnosti úředního ověření.

Další možností je instalovat vážící platformu pod každé kolo vozidla a zvážit vozidlo najednou. V tomto případě je potřebný požadovaný počet platforem a indikátor. Tato sestava může být použita jako stanovené měřidlo a opatřena úředním ověřením.

Měření proběhlo na soukromé farmě v obci Hartmanice nedaleko města Týn nad Vltavou. Farma obhospodařuje přibližně 80 ha orné půdy a 30 ha luk a pastvin. Polní práce vykonávají traktory značky Zetor. Měření bylo provedeno na zpevněném povrchu.

2.2 Charakteristika měřené techniky

Při měření byla měřena technika značky Zetor, konkrétně model Forterra 140 zakoupený roku 2015 s výkonem 100,2 kW, a následně Zetor Forterra 140 vyroben v roce 2016, který je vybaven předním tříbodovým závěsem.

Traktory řady Forterra vynikají svou robustností a sílou. V řadě Forterra je možnost výběru ze tří variant: Model Forterra CL disponuje čtyřválcovým motorem s výkonem v rozsahu od 96 do 136 koní a převodovkou 24/18. Forterra HSX je vybavena modernější převodovku 30/30 s hydraulickou reverzací. Nejvyšší model

Forterra HD disponuje vyšším výkonem, který činní až 147 koní, má robustnější konstrukci, odpruženou nápravu a multifunkční ovládací panel. [9]

Dalšími měřenými traktory byl Zetor 5211 vyrobený roku 1990 a Zetor 7340 Turbo vyrobený v roce 1996. Pro měření zatížení byla použita nesená technika. První se měřil nesený pětiradličný pluh AGN11-550 s pracovním záběrem 2 m od české firmy Agropa Group s.r.o., která udává hmotnost pluhu 1370 kg. Tyto pluhy jsou určeny pro podmítání a střední orbu do hloubky 30 cm, především v rovinatých terénech, ale lze je používat i v terénech svažitých do 10 %. Jsou určeny na zpracování pozemků po obilních a technických kulturách, kde půdní odpor nepřesahuje 110 kPa. Pluhy jsou obzvlášť vhodné ke zpracování písčitých a hlinitých půd s menším obsahem jílu, obstojí však i v půdách těžších. Konstrukce pluhu vychází z dlouholetých zkušeností získané v praxi při běžném provozu. Použité materiály jsou zaručené jakosti a odpovídají specifikaci výrobní dokumentace. Každý výrobek je vyráběn a zkoušen dle ověřených podkladů. V přední části pluhu je otočný závěs, ve kterém je v kuželíkových ložiscích uložena osa obracení pluhu. Způsob uložení je dimenzován tak, aby zaručil dlouhou životnost obracecího ústrojí. K otočnému závěsu je jednoduchým způsobem pomocí čepů a táhel připojen vlastní rám pluhu. Pro provedení 540 je použitý rám s větší tloušťkou stěny. Slupice jsou vyrobeny z materiálu o vysoké pevnosti a pružnosti, orební tělesa jsou vybaveny odhrnovacími deskami univerzálního pološroubového tvaru, které jsou vhodné zejména tam, kde požadujeme vedle kvalitního zaklopení i dostatečný drobivý účinek. Jištění pluhu proti kamení je řešeno šroubem, který při najetí na překážku se střihne. Vlastní orební těleso tvoří střevíc pevné konstrukce, na kterém jsou upevněny pracovní části, vyrobené z kvalitních bórových ocelí, dovážených ze zahraničí, které zaručují vysokou pevnost, otěruvzdornost a minimální ulpívání zeminy na pracovních plochách. Celá konstrukce pluhu je řešena tak, aby seřizování a údržba pluhu byly jednoduché a rychlé. Obracení pluhu se provádí pomocí hydraulického válce, umístěného na otočném závěsu pluhu a je ovládáno z kabiny traktoru pomocí páky vnějšího okruhu hydrauliky. Nastavení záběru orebních těles (350-400-450 mm) je manuální, stejné jako seřízení záběru první radlice a hloubka orby, provádí se pomocí stavěcích šroubů. Toto seřízení je velmi jednoduché a snadno proveditelné. [10]

Dále bylo měřeno zatížení secí kombinace Vitasem 302 ADD s rotačními branami Lion 303 WG se záběrem 3 m od výrobce Pöttinger s prázdným zásobníkem.

Obrázek 4: Zetor Forterra s připojenou secí kombinací Pöttinger

Stroj byl připojen za traktor vybavený předním hydraulickým závěsem a v něm připojené závaží o hmotnosti 800 kg. Jedním z dalších měřených strojů byl diskový kypřič vyroben od polské firmy Dexwal s pracovním záběrem 3 m, který slouží k přerušení vodní kapilarity v půdě. Následně bylo měřeno zatížení s jednorotorovým shrnovačem od značky Pöttinger typu Top 421 N. Dále bylo na řadě měření s bubnovým žacím strojem ŽTR 185 od výrobce Agrostroj Pelhřimov. Poté proběhlo měření obraceče od výrobce Claas s Zetor 5211. Závěrem bylo měřeno traktor Zetor 7340 turbo s čelním nakladačem značky TractLift 200 a s paletizačními vidlemi.

2.3 Popis měření

Před samotným měřením byl vytvořen protokol, do kterého se zapisovaly naměřené hodnoty.

Typ stroje	Přední náprava	Zadní náprava
Zetor Forterra 140 + pluh Agropa	835 kg	5290 kg
Zetor Forterra 140 + secí kombinace Pöttinger	610 kg	6240 kg
Zetor Forterra 140 + diskový podmítač Dexwal	1360 kg	4725 kg
Zetor Forterra 140 + nahrabovačka Pöttinger	2110 kg	4315 kg
Zetor Forterra 140 + bubnový žací stroj ŽTR	2285 kg	3410 kg
Zetor 5211 + obracečka Claas	680 kg	2640 kg
Zetor 7340 Turbo + čelní nakladač (15 cm nad zemí)	2460 kg	2080 kg
Zetor 7340 Turbo + čelní nakladač (100 cm nad zemí)	2540 kg	2025 kg
Zetor 7340 Turbo + čelní nakladač (maximální zdvižení)	2305 kg	2220 kg

Obrázek 5: Protokol s uvedenými naměřenými hodnotami

Měření probíhalo na dvou místech. Nejprve se měření provedlo na povrchu s trvalým travnatým porostem v obci Pořežany vzdálené 10 km od Týna nad Vltavou, kde se skladují stroje přes zimní období. Pro první měření byl připraven traktor s připojeným otočným pluhem, který byl zdvižený v maximální výšce tříbodového závěsu traktoru. Následně byly vážící platformy rozmístěny na rozteč předních kol traktoru a pomalu bylo najeto na nájezdové desky a bylo zastaveno na jejich středu. Hodnota zobrazena na displeji byla zapsána do protokolu. Poté bylo najeto na vážící desky zadními koly a opět naměřená hodnota byla zapsána do protokolu. Výše uvedený postup byl proveden pro měření zatížení se secí kombinací a poté s diskovým kypřičem. Při měření zatížení u secí kombinace bylo u traktoru s předním tříbodovým závěsem použito přední závaží o hmotnosti 800 kg. Druhý traktor byl vybaven závažím o celkové hmotnosti přídavného závaží 1222 kg.

Druhá část měření proběhla na asfaltovém povrchu v obci Hartmanice vzdálené 12 km od Týna nad Vltavou, kde je hlavní sídlo farmy. Zde byla uskutečněna měření jednorotového shrnovače a následně bubnového žacího stroje připojené k traktoru Zetor Forterra 140. Následně bylo měřeno zatížení traktoru Zetor 5211 s připojeným obracečem píce. Závěr měření byl věnován traktoru s čelním nakladačem. Při tomto měření bylo zkoumáno, jak se mění zatížení při různé výškové poloze. Nejprve se měřila zátěž na přední nápravě traktoru. První měření proběhlo ve výšce 15 cm nad zemí. Druhé měření se měřilo ve výšce 1 metr a při posledním měřením se nakladač zdvihl do maximální výškové polohy. Výše uvedený postup se opakoval i při měření na zadní nápravě.

Cílem také bylo zjistit hmotnost zatěžující jeden centimetr čtvereční. Proto se vytvořily otisky kol a následně se vypočetla celková plocha zadních a předních kol. Otisky se vytvářely při dvou různých tlacích v pneumatikách, kdy nejprve se provedly otisky při tlaku 1,5 kPa a poté se tlak v kolech upustil na hodnotu 0,9 kPa. K vytváření otisku byl využit nepoužívaný vak, na který se rozprostřela vrstva písku. Následně bylo pomocí zvedacího zařízení zdviženo zadní kolo traktoru o tlaku 1,5 kPa a připravený vak s pískem se umístil pod kolo. Poté byl traktor opatrně spuštěn na zarovnaný povrch písku. Kolo bylo opět zvednuto a změřila se délka a šířka otisku. Po změření hodnot se pomocí hrabiček upravil povrch písku, vak se opět umístil pod zdvižené kolo a poté se kolo spustilo k zemi a došlo ke snížení tlaku na 0,9 kPa. Následovalo opětovné zdvižení kola a změření šířky a délky otisku. Uvedený postup se totožně provedl i pro získání otisku předního kola. Otisky se provedly pouze u traktoru Zetor Forterra 140 bez připojené techniky.

Obrázek 6: Vytváření otisku předního kola

Získané hodnoty měřených hmotností a velikostí ploch se použijí pro výpočet zatížení na jeden centimetr čtvereční a poté se porovnají a vyhodnotí, jaké zatížení působí na půdu nejsilněji na okraji pole, kde dochází ke zdvižení pracovního zařízení a k následnému otočení směru celé soupravy.

Cíl

Cílem práce bylo vytvoření databáze parametrů traktorů s připojenou nesenou zemědělskou technikou vhodných jako vstupní data do počítačových simulací utužení půdy. V rámci tohoto cíle bylo provedeno měření vertikálního zatížení pod jednotlivými nápravami traktorů s připojenou nesenou zemědělskou technikou a podle získaných hodnot vypočítat zatížení nápravy na jeden centimetr čtvereční a poté navrhnou případná opatření pro snížení tlaku na utužení půdy. K utužení půdy dochází nejčastěji na souvrati pole, kde dochází k velkým zatížením způsobenou těžkou technikou a častým přejezdům.

3 Výsledky měření a diskuse

3.1 Charakteristika podniku

Farma se nachází v jihočeské vesnici Hartmanice, která se nachází nedaleko města Týn nad Vltavou. Hospodářství vzniklo v roce 1994, kdy farma dostala od JZD zpět 30 ha půdy a 20 kusů krav. Do roku 2013 se farma zabývala výrobou mléka. Poté, co byla výkupní cena mléka nízká, se nevyplatilo v produkci pokračovat, a tak se přešlo na rostlinnou výrobu. Dnes se obhospodařuje přibližně 80 ha orné půdy a přibližně 30 ha luk.

Měření bylo provedené nejprve v obci Pořežany, kde se měřil traktor s pluhem, secí kombinací a diskovým kypřičem. Obec se nachází v kopcovité krajině, tudíž bylo obtížné najít v blízkosti rovnou zpevněnou plochu. Proto měření bylo uskutečněné na travnatém povrchu, kde se povrch nejvíce blížil k rovné ploše. Měření proběhlo dne 28. září roku 2018, kdy denní teplota dosahovala 21 °C. V měsíci září byl malý výskyt srážek, proto povrch pod nájezdovou váhou nebyl podmáčený, a tudíž tvořil stabilní pevný povrch vhodný pro měření.

Zprvu byly změřeny jednotlivé nápravy samotných traktorů modelů Forterra, aby následně bylo možné změřené hodnoty porovnat s hodnotami s připojenou technikou. Změřená hodnota přední nápravy činí 3 532 kg, hmotnost zadní nápravy je 3 463 kg. Traktor byl vybaven předním závažím o hmotnosti 750 kg a připevněným závažím v zadních kolech, které bylo montováno rovnoměrně a ve stejné hmotnosti na obě kola. Uvedený postup se opakoval i pro traktor s předním závažím, jehož hmotnost činila 800 kg, které bylo připojeno v závěsných ramenech. Přední závaží druhého traktoru je těžší pouze o 50 kg, avšak bylo předsazené o několik desítek centimetrů oproti traktoru se závažím umístěným na ocelovém rámu traktoru. Vlivem předsazení tvoří větší efekt páky a traktoru zvyšuje celkovou délku, což zvyšuje dotížení. Dotížení traktoru slouží k přenosu větší tahové síly, čímž se zvýšil tahový výkon při těžkých polních pracích, jako byla orba, předseťová příprava půdy či setí. Na obou traktorech jsou namontovány bezduší radiální pneumatiky o zadních rozměrech 600/65 R38 a předních 480/65 R24, které zajišťují dostatečný přenos pohybu traktoru.

Závěrem celého měření byly provedeny otisky přední a zadní pneumatiky do připraveného písku, aby následně bylo možné vypočítat zatížení soupravy na přední a zadní nápravě na jeden centimetr čtvereční. Vytváření

otisků proběhlo při dvou různých tlacích v pneumatikách, kdy nejprve byly otisky vytvořeny při tlaku 1,5 kPa a následně se tlak v pneumatikách upustil na hodnotu 0,9 kPa. Vytváření otisků proběhlo pouze u traktoru Zetor Forterra 140 bez připojené techniky, neboť nebylo možné uskutečnit měření s připojenou technikou kvůli absenci zvedacího zařízení s dostatečně velkou nosností. Proto získané hodnoty slouží jako orientační.

Tabulka 3: Rozměry otisků pneumatik při tlaku 1,5 kPa a 0,9 kPa

	Otisk kola na přední nápravě	**Otisk kola na zadní nápravě**
Tlak 1,5 kPa	52 cm x 45 cm	67 cm x 55 cm
Tlak 0,9 kPa	56 cm x 45 cm	72 cm x 55 cm

Tabulka 4: Vypočtená plocha otisků

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Tlak 1,5 kPa	4 680 cm^2	7 370 cm^2
Tlak 0,9 kPa	5 040 cm^2	7 920 cm^2

$$S = a \,.\, b \qquad [cm^2] \tag{1}$$

S – plocha otisku
a – šířka otisku
b – délka otisku

Tabulka 5: Vypočítané hodnoty zatížení na jeden centimetr čtvereční u traktoru s předním závažím o hmotnosti 750 kg

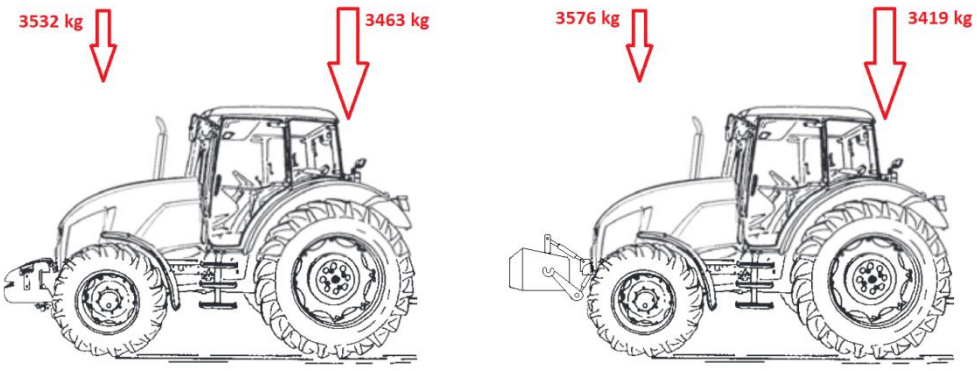
	Přední náprava	**Zadní náprava**
Tlak 1,5 kPa	0,754 kg/cm^2	0,470 kg/cm^2
Tlak 0,9 kPa	0,701 kg/cm^2	0,437 kg/cm^2

Tabulka 6: Vypočítané hodnoty zatížení na jeden centimetr čtvereční u traktoru s předním závažím o hmotnosti 800 kg

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Tlak 1,5 kPa	0,764 kg/cm^2	0,464 kg/cm^2
Tlak 0,9 kPa	0,710 kg/cm^2	0,432 kg/cm^2

$$x = m/S \tag{2}$$

x - zatížení
m - hmotnost na jednotlivé nápravě
S - celková styčná plocha pneumatik jedné nápravy



Obrázek 7: Zatížení na jednotlivých nápravách traktoru

První měření se provedlo s připojeným neseným oboustranným pluhem značky Agropa vyrobeným v roce 2015 firmou Agropa group s.r.o. v Kravařích. U pětiradličného pluhu je možné nastavit záběr orebních těles od 35 cm do 45 cm. V praxi se oře o záběru orebního tělesa 40 cm. Pluh je využíván v různých půdních druzích od písčitých, kde se nachází velké množství kamenů, až po těžké hlinité půdy, kdy jištění pluhu je řešeno střižným šroubem. Hmotnost samotného pluhu dosahovala 1 460 kg. Pluh byl zapojený s traktorem o celkové hmotnosti 5 800 kg. K největšímu utužení půdy dochází na souvrati, kde se souprava otáčí a pokračuje v jízdě. Při zdvižení pracovního nářadí se většina tíhy přesune na zadní nápravu, a tudíž dochází k velkému zatížení na poměrně malé ploše. Jestliže zatížení na přední nápravě při zdvižení je 835 kg a plocha je 4 680 cm^2, dochází při tlaku 1,5 kPa k zatížení 0,174 kilogramů na jeden centimetr čtvereční. Na zadní nápravě je zatížení 0,718 kg/cm^2, kdy celková plocha je 7 370 cm^2. Ve srovnání s traktorem bez připojeného zařízení má traktor na přední nápravě větší zatížení o 0,581 kg/cm^2, zatímco na zadní nápravě je zatížení o 0,248 kg/cm^2 nižší.

Tabulka 7: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným pluhem

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Traktor	3 532 kg	3 463 kg
Traktoru + pluh	835 kg	5 290 kg

Tabulka 8: Vypočtené hodnoty zatížení na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným pluhem

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Traktor	0,755 kg/cm^2	0,470 kg/cm^2
Traktor + pluh (tlak 1,5 kPa)	0,174 kg/cm^2	0,718 kg/cm^2
Traktor + pluh (tlak 0,9 kPa)	0,166 kg/cm^2	0,668 kg/cm^2

Obrázek 8: Zetor Forterra 140 s pětiradličným neseným oboustranným pluhem

Další měřenou přípojnou technikou byla mechanická secí kombinace značky Pöttinger. Stroj vyrobený v roce 2017 se skládá ze dvou částí. Jedna z částí jsou rotační vířivé brány model Lion 303 WG s pracovním záběrem tři metry, kdy samotné brány váží 1 070 kg. Brány jsou určeny pro předseťovou přípravu, tudíž umožňují setí do hrubé brázdy. Jsou vybaveny deseti kusy vyměnitelných nožů upevněných po dvojicích na ocelovém kotouči rotoru, který je umístěn kolmo k upravovanému povrchu. Brány jsou poháněny vývodovým hřídelem traktoru, který se točí rychlostí tisíc otáček za minutu. Rotační brány jsou vybaveny Packer válcem, na kterém leží veškerá tíha celého zařízení při pracovní poloze, tím se docílí rozdrcení hrud a přípravě seťového lóže. Hmotnost Packer válce o průměru 550 mm dosahuje 547 kg. Druhou částí stroje je samotný secí stroj upevněný čepy na konstrukci rotačních bran. Hmotnost modelu Vitasem 302 ADD dosahuje 1 250 kg. Mechanický nástavbový secí stroj je vybaven 20 výsevnými botkami, které jsou od sebe vzdáleny 12,5 cm. Problém je vysoká plnící výška zásobníku, neboť při nakládání osivem čelním nakladačem traktoru je maximální zdvižení na hraně dostačující k výsypě materiálu. Výsev je proveden pomocí elektrického řízení, kdy při položení stroje na zem sepne čidlo a pošle signál do počítače umístěný v traktoru a automaticky zahájí výsev. Jestliže se naplní zásobník osivem, celková

hmotnost dosahuje přibližně 3,5 tuny, tudíž traktor musí být vybaven předním závažím, kdy se zmírní zdvižení přední části traktoru a zvýší se dotížení. Proto při otáčení směru jízdy, kdy je zvednutý plný secí stroj, je téměř veškerá váha přemístěna na zadní nápravu. Zásobník se vždy plní jedním pěti set kilogramovým vakem. Doplnění zásobníku způsobí zvýšení hmotnosti na zadní nápravu, která se s největší pravděpodobností bude blížit k sedmi tunám. Měření bylo provedeno s prázdným zásobníkem, proto hmotnost prázdného secího stroje činila 3 063 kg. Hmotnost na přední nápravě činila 610 kg, tudíž po výpočtu vychází hodnota 0,130 kg/cm^2, zatímco na zadní nápravě, kde je přenášena většina tíhy soupravy, je hodnota téměř osm krát větší, tedy 0,847 kg/cm^2.

Obrázek 9: Zetor Forterra 140 s secí kombinací značky Pöttinger

Tabulka 9: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojenou secí kombinací

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Traktor	3 576 kg	3 419 kg
Traktor + secí kombinace	610 kg	6 240 kg

Tabulka 10: Vypočtené hodnoty zatížení na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojenou secí kombinací

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Traktor	0,764 kg/cm^2	0,464 kg/cm^2
Traktor + secí kombinace (tlak 1,5 kPa)	0,130 kg/cm^2	0,847 kg/cm^2
Traktor + secí kombinace (tlak 0,9 kPa)	0,121 kg/cm^2	0,788 kg/cm^2

Následujícím měřeným zařízením byl diskový kypřič polské značky Dexwal. Kypřič vyrobený v roce 2015 s pracovním záběrem tři metry dosahuje hmotnosti 1 330 kg. Stroj pro zpracování půdy byl měřen s traktorem, jehož celková hmotnost činila 5 800 kg. Diskový kypřič je vybaven zadním závěsem pro připojení secího stroje, a tudíž je možné použít zařízení pro předseťovou přípravu půdy. Dále je možné ke stroji připojit přihnojovací rozmetadlo pro přihnojení průmyslovým hnojivem nebo pro výsev meziplodin. Při zapojeném kypřiči je přední náprava oproti předchozím strojům více zatížená, neboť hmotnost na přední nápravě činí 1 360 kg. Jestliže při tlaku 0,9 kPa v pneumatikách má velikost plocha otisku 4 680 cm^2, působí na jeden centimetr čtvereční hmotnost 0,270 kg/cm^2. U zadní nápravy je hmotnost větší, zároveň je i větší styková plocha, která činí 7 920 cm^2. Při výpočtu se dospělo k výsledku 0,597 kg/cm$^{2.}$

Obrázek 10: Zetor Forterra 140 s diskovým kypřičem Dexwal

Tabulka 11: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným diskovým kypřičem

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Traktor	3 532 kg	3 463 kg
Traktor + disk. kypřič	1360 kg	4 725 kg

Tabulka 12: Vypočtené hodnoty zatížení na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným diskovým kypřičem

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Traktor	0,701 kg/cm^2	0,437 kg/cm^2
Traktor + disk. kypřič (tlak 1,5 kPa)	0,291 kg/cm^2	0,641 kg/cm^2
Traktor + disk. kypřič (tlak 0,9 kPa)	0,270 kg/cm^2	0,597 kg/cm^2

Druhá část měření proběhla v obci Hartmanice na zpevněném asfaltovém povrchu, kde měření bylo provedeno u strojů určené pro zpracování pícnin. Nejprve byla měřena jednorotorový nesený shrnovač rakouské značky Pöttinger sloužící k tvoření řad sena či senáže pro následné sklízení píce pomocí lisu nebo sběrného vozu. Model TOP 421 N vyrobený v roce 2012 má hmotnost 540 kg. Jeho konstrukce je tvořena z 12 profilovaných demontovatelných hrabic, které tvoří pracovní záběr 4,2 metrů. Stroj je vybaven kopírovacím kolečkem, které zamezuje výkyvu stroje a zmírňuje zatížení prstů a rotoru. Dále je vybaven tlumící vzpěry, které tlumí rázy při vyšších pracovních rychlostech a práci na svahu a při zdvižení techniky se vyrovná do střední polohy. U strojů určené pro sklizeň píce byly hmotnosti na nápravách méně rozdílné než u strojů pro zpracování půdy, neboť nedosahují příliš velkých hmotností. Výpočet hmotnosti zatěžující jeden centimetr čtvereční byl vypočítán pouze pro stroj určení pro řádkování píce, neboť u něho dochází na souvrati ke zdvižení a k následnému otáčení celé soupravy.

Obrázek 11: Zetor Forterra 140 se shrnovačem od výrobce Pöttinger

Tabulka 13: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným shrnovačem

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Traktor	3 532 kg	3 463 kg
Traktor + shrnovač	2 110 kg	4 315 kg

Tabulka 14: Vypočtené hodnoty zatížení na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným shrnovačem

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Traktor	0,701 kg/cm^2	0,437 kg/cm^2
Traktor + shrnovač (tlak 1,5 kPa)	0,451 kg/cm^2	0,585 kg/cm^2
Traktor + shrnovač (tlak 0,9 kPa)	0,419 kg/cm^2	0,545 kg/cm^2

Následující měření bylo uskutečněno s rotačním bubnovým žacím strojem ŽTR 185, jehož hmotnost dosahovala 480 kg a záběr stroje byl 184 cm. Žací stroj má dva bubny, kde v každém z nich jsou upevněny 3 vyměnitelné nože, které jsou schopné posíct přibližně 15–20 ha. Žací stroj je vyrobený ve firmě Agrostroj Pelhřimov v roce 2003. Stroj vyčnívá svojí vysokou pracovní spolehlivostí a životností i při sečení v těžkých terénních podmínkách, které jsou prověřeny dlouholetým provozem v praxi. Stroj je poháněn vývodovou hřídelí traktoru, kdy přenos energie od hřídele do skříně žacího ústrojí je tvořen třemi klínovými řemeny,

které jsou automaticky napínány. Bubny žacího stroje při sečení pracují s vysokými otáčky, proto jsou všechny rotační stroje vyvažovány. Zařízení má nárazovou pojistku, která při najetí stroje na neočekávanou pevnou překážku v sečeném porostu zabrání značné škodě nebo ji alespoň minimalizuje. V praxi se na souvratí žací stroj nezvedá, proto se aspoň minimálně zamezí většímu utužení. Avšak vzhledem k menší hmotnosti stroje by pravděpodobně při zdvižení k výraznému utužení nedocházelo.

Obrázek 12: Zetor Forterra 140 s rotačním bubnovým žacím strojem

Tabulka 15: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojenou bubnovým rotačním žacím strojem

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Traktor	3532 kg	3463 kg
Traktor + bub. žací stroj	2285 kg	3910 kg

Při obracení sena je používána obracečka německé značky Claas. Model Volto 540 H o pracovním záběru 5,2 m vyrobený v roce 2004 dosahuje hmotnosti 490 kg. Firma Claas má patentovaný přenos sil pomocí prstové spojky, která je bezúdržbová a zajišťuje spolehlivý přenos sil. Tříbodové zavěšení uvedeného modelu je vybaveno řízením přenosu sil, který zabraňuje rázům stroje a zajišťuje klidný doběh po otáčení na souvrati. Při zvednutí pracovního stroje se automaticky vycentruje. Pomocí řízení tříbodového závěsu se stroj nemusí při otáčení na souvrati zvedat, a tudíž nedochází k zvýšenému zatížení zadní nápravy, čímž se snižuje riziko utužení půdy. Dále se při uvedení stroje do pracovní polohy docílí rozložení tíhy

na čtyři opěrná kola, čímž se taktéž docílí zmírnění utužení. Obracečka je v období sušení trav zapojena s traktorem značky Zetor typu 5211, jehož celková hmotnost činí 2 810 kg. Traktor je obut na pneumatikách o rozměrech zadních gum 14.9-28 a předních gum 6.5-16.

Obrázek 13: Zetor 5211 s připojenou obracečkou německé značky Claas

Tabulka 16: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojenou obracečkou píce

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Traktor	1 124 kg	1 686 kg
Traktor + obracečka	680 kg	2 640 kg

U traktoru se předním čelním nakladačem se měřilo ve třech rozdílných výškových polohách a sledovalo se, jak se mění zatížení na přední a zadní nápravě. Při měření byly na čelním adaptéru připojeny paletizační vidle o hmotnosti 150 kg, což se projevilo na hodnotách, které byly zobrazeny v konečném měření. Ve všech měření byla vždy zatížená více zadní náprava. Cílem tohoto měření bylo najít vhodnou polohu, kdy se nejvíce přenese zatížení na zadní nápravu. Nejméně zatížená zadní náprava byla v momentě, kdy nakladač byl ve výšce sto centimetrů nad podložkou. Hodnota dosahovala 2 025 kg. Naopak při měření v maximálním zdvižení čelního adaptéru byla zadní náprava zatížená nejvíce, neboť hodnota činila

2 220 kg. Jízda po silnici s nakladačem zdvižený v maximální poloze však může být riziková kvůli překážkám přesahující přes silnici jako vyčnívající větve stromů, proto při jízdě po pozemní komunikaci je ideální mít polohou nakladače co nejníže nad povrchem. Čelní nakladač může sloužit i jako dotížení při pracích na polích, kdy v poloze jednoho metru se přenese větší zatížení na přední nápravu a zvýší se tím tahová síla traktoru.

Obrázek 14: Zetor 7340 Turbo s čelním nakladačem umístěný ve výšce 15 cm nad povrchem

Obrázek 15: Zetor 7340 Turbo s čelním nakladačem umístěný ve výšce 100 cm nad povrchem

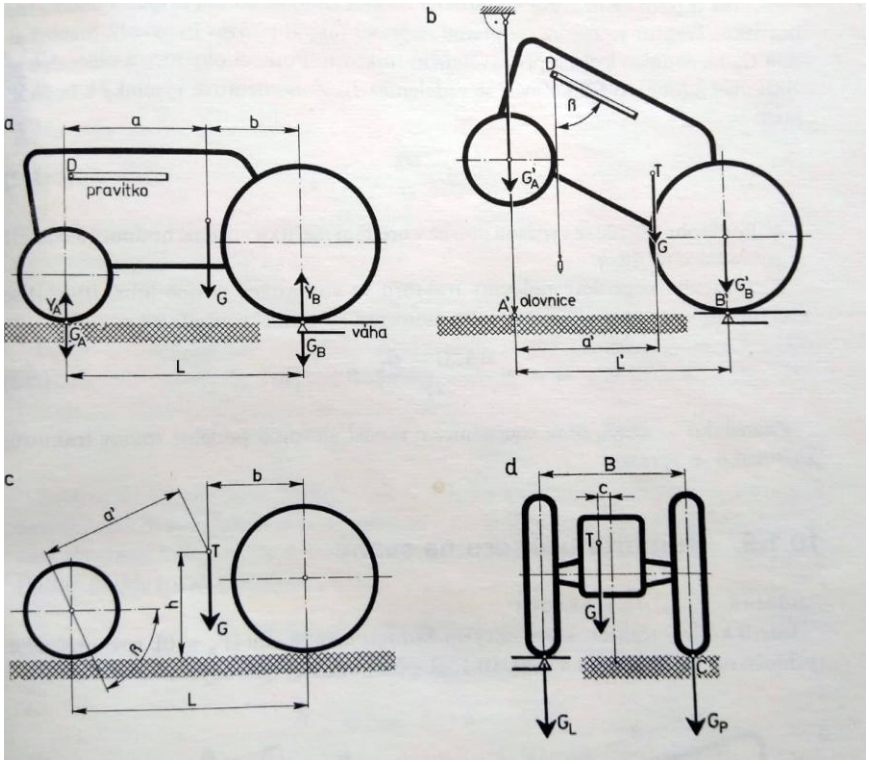
Obrázek 16: Zetor 7340 Turbo s čelním nakladačem umístěný v maximální zdvižené poloze

Tabulka 17: Změřené hodnoty hmotností traktoru s připojeným čelním nakladačem

	Přední náprava	**Zadní náprava**
Traktor + čelní nakladač (15 cm nad povrchem)	2 460 kg	2 080 kg
Traktor + čelní nakladač (100 cm nad povrchem)	2 540 kg	2 025 kg
Traktor + čelní nakladač (maximální zdvižení)	2 305 kg	2 220 kg

U traktoru hraje velikou roli umístění jeho těžiště, ve kterém se soustředí veškerá tíha traktoru. Jestliže má traktor hnanou pouze jednu nápravu, těžiště by mělo být co nejblíže k hnaným kolům z toho důvodu, aby se využila maximální část hmotnosti k jejich adhezi. Avšak je nezbytné dotížení hnaných kol, aby byla splněna podmínka řiditelnosti traktoru.

$$G_{A\,min} = Y_{A\,min} = k\,.\,G \qquad [N] \tag{3}$$



Obrázek 17: Zjištění těžiště kolového traktoru

Při určení těžiště traktoru je potřeba stanovit vzdálenost těžiště od osy hnacích kol b, výšku těžiště h od vodorovné podložky traktoru a vzdálenost těžiště od podélné roviny souměrnosti traktoru c. Při určení těžiště je potřebné zjistit celkovou tíhu traktoru, kdy se hnacími koly traktoru najede na váhu a vypodloží se přední kola tak, aby byla s hnacími koly v rovině, a určí se tíha na zadních kolech. Následně se změří rozvor traktoru. Poté z podmínky momentů rovnováhy všech sil k bodu A vyplývá:

$$b = L.\left(1 - \frac{G_b}{G}\right) \qquad [m] \tag{4}$$

L – rozvor traktoru

G_b- tíha na zadních kolech

G – celková tíha traktoru

Na traktoru se vyznačí vodorovná úsečka. Traktor se následně zvedne za přední nápravu do polohy, kdy je závěs svislý a určí se tíha na zadních kolech. Poté se zjistí úhel β a změří se vzdálenost L´. Z momentové podmínky k bodu A´ bude platit:

$$a' = L'\frac{G'_b}{G} \qquad [m] \tag{5}$$

Následně se přesně vynesou v daném měřítku zjištěné hodnoty a odměří se souřadnice těžiště h. Zvážením levé poloviny traktoru ve vodorovné poloze se určí tíha G_L a z podmínky rovnováhy momentů k bodu C souřadnice c:

$$c = \pm \frac{0{,}5 \,.\, G - G_L}{G} \,.\, B \qquad [m] \tag{6}$$

B – šířka traktoru od středu kol

G – celková tíha traktoru

G_L- tíha levé strany traktoru

Znaménko – značí, že se souřadnice c vynáší vlevo od podélné roviny traktoru, znaménko + vpravo. [11]

K největšímu zatížení na půdu dochází u strojů pro zpracování půdy, kdy jejich mohutná konstrukce dosahuje vyšších hmotností než u strojů pro zpracování píce. Nejvyšší zatížení bylo změřeno u traktoru s připojenou secí kombinací, kdy hmotnost celé soupravy může dosahovat necelých osmi tun v případě, že násypka stroje je prázdná. U secí kombinace se oproti ostatní měřené technice v průběhu setí mění hmotnost kvůli měnící se velikosti obsahu v zásobníku. Při práci na poli však většinou pracuje s doplněným zásobníkem, ve kterém pomalu obývá osivo. Jestliže se tedy předpokládá, že souprava po většinu času pracuje na poli s osivem, dochází k většímu zatížení. Pokud je zásobník doplněn osivem o hmotnosti pěti set kilogramů, těžiště traktoru se přesune na zadní nápravu a dochází k mírnému zdvižení přední nápravy. Z toho důvodu při otáčení soupravy dochází k změně hodnoty hmotnosti na jeden centimetr čtvereční, která postupně s ubývajícím osivem na zadní nápravě klesá, avšak na přední nápravě přibývá a dochází k lepšímu rozložení zatížení zemědělské soupravy. Na druhou stranu u pluhu a diskového kypřiče je hmotnost v průběhu prací stále konstantní, a tak nedochází ke změně zatížení na zadní a přední nápravě.

Zatížení u techniky pro zpracování pícnin byl měřen pouze jednomotorový nesený shrnovač, kde dochází na souvrati k zvednutí pracovního stroje a následné otočení celé soupravy a pokračování v pracovní činnosti. Obracečka je vybavena řízením, tudíž při práci je obracečka po celou dobu tažená a její hmotnost je rozložena na čtyři opěrná kola, takže při otáčení není nutné její zdvižení, a tím dochází k zamezení zvětšení zatížení na zadní nápravě. Podobné je to i u bubnového rotačního žacího stroje, kdy při sečení pícniny nedochází k častému zvednutí stroje a téměř po celou dobu je jeho hmotnost rozložena na dva talíře,

které jsou připevněny k bubnům. Po čase se však obrousí a dojde k jejich odlomení. Jestliže dojde ke zdvižení, dochází k nerovnoměrnému zatížení zadní nápravy. Rozložené zařízení totiž přesahuje do pravé strany, což znamená, že při zvednutí zatěžuje více zadní pravé kolo než levé. Zmíněné pícninářské stroje nepodléhají tak vysoké pevnosti, jak je tomu u strojů pro zpracování půdy, tudíž jejich konstrukce je lehčí a půdu nezatěžují přílišnou zátěží.

Při měření otisků se měnily pouze rozměry délek a šířky otisků byly konstantní. Z fotek je však vidět, že na okrajích stop pneumatik jsou stopy hlubší. Lze tedy uvažovat, že při vyšším tlaku se tíha zaměřuje na střed pneumatik. Jestliže tlak uvnitř pneumatiky se bude snižovat, soustředěná tíha se začne od středu rozlézat do krajů stopy.

Závěr

Zmírnění utužení půdy lze vyřešit buď změnou šířky pneumatik a v nich úpravou tlaku, kdy při nižším tlaku se docílí vetší styčné plochy, nebo další možností je využití montáže přídavných kol. Avšak zmíněné řešení není vhodné pro veškeré polní práce. Montáž kol lze uplatnit při kultivaci půdy nebo u následného setí. V případě u secí kombinace uvedené v této práci nelze použít přídavná kola ani při setí, neboť by kola přesahovala šířku záběru secího stroje. Vhodným řešením by byla montáž širších pneumatik, čímž by se docílilo většího rozložení hmotnosti. Tato varianta je ovšem příliš nákladná, jelikož podle velikosti pneumatiky se odvíjí i její pořizovací cena. Pořizovatel musí také počítat s tím, že se po několika letech opotřebí a bude potřebné pořídit nové. Pro porovnání byly uskutečněny otisky dvou různých tlaků. Při polních pracích se využívá přibližně tlak 0,9 kPa. Jestliže jsou traktory využívány spíše v dopravě při odvozu sklizeného materiálu, pneumatiky sena hustí na tlak okolo 1,5 kPa, čímž se zmírní valivý odpor kol.

Seznam použité literatury

[1.] MINISTERSTVO ZĚMĚDĚLSTVÍ ČR. (2018) *Utužení půdy*. Dostupné z http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/utuzeni-pudy/

[2.] MINISTERSTVO ZMĚDĚLTVÍ A LESNICTVÍ ALBERTA. (2018). Dostupné z https://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex13331

[3.] PRIKNER P., (2018). *Vliv zatížení pneumatik na půdu*. Dostupné z https://zemedelec.cz/vliv-zatizenych-pneumatik-na-pudu/

[4.] SPOLEHLIVEPNEUM.CZ. (2016). *Radiální a diagonální pneumatiky*. Dostupné z https://www.spolehlivepneu.cz/blog/radialni-a-diagonalni-pneumatiky-87.html

[5.] BAUER, František. *Traktory a jejich využití*. 2. vyd. Praha: Profi Press, 2013. ISBN 978-80-86726-52-6.

[6.] HŮLA, Josef, Zdeněk ABRHAM a František BAUER. *Zpracování půdy*. Praha: Brázda, 1997. ISBN 80-209-0265-1.

[7.] HŮLA, Josef a Blanka PROCHÁZKOVÁ. *Minimalizace zpracování půdy*. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 978-80-86726-28-1

[8.] ROH, Jiří, František KUMHÁLA a Petr HEŘMÁNEK. *Stroje používané v rostlinné výrobě*. Praha: Credit, 1997. ISBN 80-213-0327-1.

[9.] BUREŠ, Oldřich a kolektiv. *Automobily a traktory*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1980. ISBN 07-055-86

[10.] ZETOR TRACTORS a.s. (2018). *Zetor Forterra*. Dostupné z: https://www.zetor.cz/zetor-forterra

[11.] AGROPA GROUP. (2003). *Nesený oboustranný pluh AGN11-340,440,540.* Dostupné z: http://www.agropagroup.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=15&lang=cs

Seznam obrázků

Obrázek 1: Radiální a diagonální typ pneumatiky 11
Obrázek 2: Znázornění valení pneumatiky po měkké podložce 14
Obrázek 3: Průběh kontaktního tlaku pod stojící (a) a pohybující (b) se pneumatiky po tvrdé podložce 15
Obrázek 4: Zetor Forterra s připojenou secí kombinací Pöttinger 20
Obrázek 5: Protokol s uvedenými naměřenými hodnotami 21
Obrázek 6: Vytváření otisku předního kola 22
Obrázek 7: Zatížení na jednotlivých nápravách traktoru 27
Obrázek 8: Zetor Forterra 140 s pětiradličným neseným oboustranným pluhem 28
Obrázek 9: Zetor Forterra 140 s secí kombinací značky Pöttinger 29
Obrázek 10: Zetor Forterra 140 s diskovým kypřičem Dexwal 30
Obrázek 11: Zetor Forterra 140 se shrnovačem od výrobce Pöttinger 32
Obrázek 12: Zetor Forterra 140 s rotačním bubnovým žacím strojem 33
Obrázek 13: Zetor 5211 s připojenou obracečkou německé značky Claas 34
Obrázek 14: Zetor 7340 Turbo s čelním nakladačem umístěný ve výšce 15 cm nad povrchem 35
Obrázek 15: Zetor 7340 Turbo s čelním nakladačem umístěný ve výšce 100 cm nad povrchem 35
Obrázek 16: Zetor 7340 Turbo s čelním nakladačem umístěný v maximální zdvižené poloze 36
Obrázek 17: Zjištění těžiště kolového traktoru 37
Obrázek 18: Délka otisku zadní pneumatiky při tlaku 1,5 kPa 48
Obrázek 19: Šířka otisku zadního kola při tlaku 1,5 kPa 48
Obrázek 20: Délka otisku zadního kola při tlaku 0,9 kPa 49
Obrázek 21: Šířka zadního kola při tlaku 0,9 49
Obrázek 22: Délka otisku přední pneumatiky při tlaku 1,5 kPa 50
Obrázek 23: Šířka otisku přední pneumatiky při tlaku 1,5 kPa 50
Obrázek 24: Délka otisku pneumatiky při tlaku 0,9 kPa 51
Obrázek 25: Šířka otisku přední pneumatiky při tlaku 0,9 kPa 51

Seznam tabulek

Tabulka 1: Součinitel odporu valení f na různých podložkách 13
Tabulka 2: Hodnoty koheze c a úhlu vnitřního tření φ 14
Tabulka 3: Rozměry otisků pneumatik při tlaku 1,5 kPa a 0,9 kPa 26
Tabulka 4: Vypočtená plocha otisků 26
Tabulka 5: Vypočítané hodnoty zatížení na jeden centimetr čtvereční u traktoru s předním závažím o hmotnosti 750 kg 26
Tabulka 6: Vypočítané hodnoty zatížení na jeden centimetr čtvereční u traktoru s předním závažím o hmotnosti 800 kg 26
Tabulka 7: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným pluhem 27
Tabulka 8: Vypočtené hodnoty zatížení na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným pluhem 27
Tabulka 9: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojenou secí kombinací 29
Tabulka 10: Vypočtené hodnoty zatížení na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojenou secí kombinací 30
Tabulka 11: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným diskovým kypřičem 31
Tabulka 12: Vypočtené hodnoty zatížení na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným diskovým kypřičem 31
Tabulka 13: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným shrnovačem 32
Tabulka 14: Vypočtené hodnoty zatížení na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojeným shrnovačem 32
Tabulka 15: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojenou bubnovým rotačním žacím strojem 33
Tabulka 16: Změřené hodnoty hmotností na jednotlivé nápravě samotného traktoru a s připojenou obracečkou píce 34
Tabulka 17: Změřené hodnoty hmotností traktoru s připojeným čelním nakladačem 36
Tabulka 18: Databáze parametrů měřených strojů 45
Tabulka 19: Souhrn na měřených hodnot hmotností 47

Tabulka 20: Souhrn vypočtených hmotností na jeden centimetr plochy 47

Přílohy

Tabulka 18: Databáze parametrů měřených strojů

Stroj	Rok výroby	Technické parametry
Zetor Forterra 140	2015; 2016	Model Forterra 140 má čtyřválcový přeplňovaný motor se 16 ventily, který disponuje výkonem 100,2 kW a točivý moment dosahuje 607 $N.m^{-1}$. Převodovka je 4° s 3° automatickým násobičem a s mechanickým reverzorem. Počet převodových stupňů je 24 vpřed a 18 vzad. Maximální provozní hmotnost traktoru činí 4 800 kg. Maximální pojezdová rychlost traktoru činí 40 $km.h^{-1}$.
Zetor 5211	1990	Traktor typu 5211 má tříválcový atmosférický motor o výkonu 33,1 kW, jehož obsah válců je 2 696,5 cm^3. Točivý moment motoru činí 160, 83 $N.m^{-1}$. Převodovka je 5° s násobičem. Počet převodových stupňů je 20 vpřed a 4 vzad. Provozní hmotnost traktoru je 2810 kg. Maximální pojezdová rychlost traktoru je 25 $km.h^{-1}$.
Zetor 7340 Turbo	1996	Model 7340 turbo je vybaven čtyřválcovým přeplňovaným motorem, jehož výkon dosahuje 58,2 kW. Obsah válců je přibližně 3 900 cm^3. Točivý moment traktoru je 280,7 $N.m^{-1}$. Převodovka je 5° s násobičem. Počet převodových stupňů je 20 vpřed a 4 vzad. Provozní hmotnost traktoru je 3 628 kg. Maximální pojezdová rychlost traktoru je 25 $km.h^{-1}$.
Pluh Agropa AGN 540	2014	Model AGN 540 má 5 orebních těles. Z důvodu delší konstrukce je pluh vyroben z ocelových profilů, které mají větší tloušťkou stěny. Jištění orebního tělesa je provedeno střižným šroubem, který se při najetí na překážku přetrhne. Obracení pluhu je provedeno pomocí hydraulického válce. Záběr pluhu je možné manuálně nastavit na 350 mm, 400 mm a 450 mm.
Secí kombinace	2017	Secí kombinace se skládá ze dvou základních

Pöttinger		pracovních strojů, a tím je secí stroj a rotační brány, jehož celková hmotnost secí kombinace dosahuje 3 063 kg. Pracovní záběr stroje je 3 m. Secí stroj má 24 botek s roztečí 12,5 cm. Secí stroj má zásobník o objemu 1250 l, jeho výložní výška je 196 cm. Model rotačních bran LION 303 je vybaven 10 výměnnými noži, které jsou poháněny vývodovou hřídelí traktoru, jehož otáčky jsou 1 000 za minutu. Pro drcení zbytkových hrud a následní utužení slouží Packer válec.
Diskový kypřič Dexval.	2015	Hmotnost diskového kypřiče dosahuje 1330 kg a jeho pracovní záběr činí 3 m, který má 24 výměnných talířů. Výkon diskového kypřiče může být až 3 $ha.h^{-1}$ dle připojeného agregátu, který může mít výkon od 70 kW do 130 kW.
Shrnovač Pöttinger	2012	Shrnovač určený pro řádkování pícnin má pracovní záběr 4,2 m a hmotnost stroje je 540 kg. Může tvořit řádek o šířce od 0,6 do 1,65 m. Skládá se z 11 ramen, které slouží k shrnování píce. Výkon traktoru pro provoz stroje dostačuje 30 kW. Shrnovač je vybaven kopírovacím kolečkem umístěný u tříbodového závěsu, který zajišťuje správné shrnování píce beze zbytku.
Bubnový žací stroj ŽTR	2003	Stroj tvoří dva žací bubny, které dohromady tvoří pracovní záběr 185 cm a pracovní výkon stroje dosahuje 2,5 $ha.h^{-1}$. Každý buben má tři výměnné nože, které umožňují samotné sečení. Stroj je také vybaven a nárazovou spojkou. Tažný prostředek dostačuje 40 kW. Hmotnost samotného stroje je 480 kg.
Obracečka Volto 540 H	2004	Obracečka je tvořena ze 4 rotorů o průměru 1,3 m, které vytvářejí celkový pracovní záběr 5,2 m. Je poháněna vývodovu hřídelí traktoru, která točí 540 $ot.min^{-1}$. Hmotnost obracečky činí 490 kg. Rozložení stroje do pracovní polohy je provedeno pomocí dvou hydraulických pístnic.

Tabulka 19: Souhrn na měřených hodnot hmotností

	Přední náprava	Zadní náprava
Zetor Forterra 1	3 532 kg	3 463 kg
Zetor Forterra 2	3 576 kg	3 419 kg
Zetor Forterra + pluh	835 kg	5 290 kg
Zetor Forterra + secí kombinace	610 kg	6 240 kg
Zetor Froterra + disk. kypřič	1 360 kg	4 725 kg
Zetor Forterra + shrnovač	2 110 kg	4 315 kg
Zetor Forterra + bubnová žací rotačka	2 285 kg	3 910 kg
Zetor 5211 + obracečka	680 kg	2 640 kg
Zetor 7340 Turbo s čelním nakladačem (15 cm)	2 460 kg	2 080 kg
Zetor 7340 Turbo s čelním nakladačem (100 cm)	2 510 kg	2 025 kg
Zetor 7340 Turbo s čelním nakladačem (max. zdvižení)	2 305 kg	2 220 kg

Tabulka 20: Souhrn vypočtených hmotností na jeden centimetr plochy

	Přední náprava	Zadní náprava
Zetor Forterra 1	0,701 kg/cm^2	0,437 kg/cm^2
Zetor Forterra 2	0,710 kg/cm^2	0,432 kg/cm^2
Zetor Forterra + pluh	0,166 kg/cm^2	0,668 kg/cm^2
Zetor Forterra + secí kombinace	0,121 kg/cm^2	0,788 kg/cm^2
Zetor Froterra + disk. kypřič	0,270 kg/cm^2	0,597 kg/cm^2
Zetor Forterra + shrnovač	0,419 kg/cm^2	0,545 kg/cm^2

Obrázek 18: Délka otisku zadní pneumatiky při tlaku 1,5 kPa

Obrázek 19: Šířka otisku zadního kola při tlaku 1,5 kPa

Obrázek 20: Délka otisku zadního kola při tlaku 0,9 kPa

Obrázek 21: Šířka zadního kola při tlaku 0,9

Obrázek 22: Délka otisku přední pneumatiky při tlaku 1,5 kPa

Obrázek 23: Šířka otisku přední pneumatiky při tlaku 1,5 kPa

Obrázek 24: Délka otisku pneumatiky při tlaku 0,9 kPa

Obrázek 25: Šířka otisku přední pneumatiky při tlaku 0,9 kPa