

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra biotechnických úprav krajiny



## **Bakalářská práce**

### **Důsledky utužení půdy na zemědělsky využívaných pozemcích**

Vedoucí práce: Ing. Jana Chlupsová

Vypracovala: Iveta Truhlářová

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra biotechnických úprav krajiny

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Iveta Truhlářová

Územní technická a správní služba

Název práce

**Důsledky utužení půdy na zemědělsky využívaných pozemcích**

Název anglicky

**Implications of soil compaction in agriculturally used land**

**Cíle práce**

Nastínění problémů utužování půd a rozbor následků s tímto jevem spjatých. Stav současné situace v ČR.

**Metodika**

Charakteristika jednotlivých problémů spojených s utužením zemědělské půdy. Ukázka vzájemné provázanosti jednotlivých problémů. Věnování pozornosti tomuto jevu na území ČR.

## **Doporučený rozsah práce**

35 stran

## **Klíčová slova**

Vliv, Zemědělská technika, Zemědělské plodiny, Eroze, Propustnost

## **Doporučené zdroje informací**

Hůla J., Kroulík M., Kovaříček P., Vliv opakovaných přejezdů po půdě na stupeň zhutnění půd, 6 s.

J. Schlaghamerský: Ochrana životního prostředí ochrana půdy

Javůrek M., Vach M., 2008 : Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění, 26 s.

Kubík L., 2012 : Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně Sekce úřední kontroly Sledování vývoje zhutňování půdy pomocí penetrometru na vybraných plochách Bazálního monitoringu půd 2009 2011, 37 s.

Šarapatka., Bořivoj., Niggli., Urse & kol., 2008 : Zemědělství a krajina : cesta k vzájemnému souladu, 271 s.

[www.mzcr.cz](http://www.mzcr.cz)

[www.mzp.cz](http://www.mzp.cz)

[www.ukzuz.cz](http://www.ukzuz.cz)

[www.uroda.cz](http://www.uroda.cz)

[www.zea.cz](http://www.zea.cz)

Zpravodaj ekozemědělci přírodě

## **Předběžný termín obhajoby**

2015/06 (červen)

## **Vedoucí práce**

Ing. Jana Chlupsová

Elektronicky schváleno dne 9. 4. 2015

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan

V Praze dne 12. 04. 2015

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Důsledky utužení půdy na zemědělsky využívaných pozemcích vypracovala samostatně. Všechny použité zdroje jsou citovány a uvedeny v příloze seznam použité literatury.

V Praze, dne 13. 04. 2015

.....

## **Poděkování**

Chci poděkovat vedoucí mé práce paní Ing. Janě Chlupové za odborný dohled a trpělivost. Děkuji i svým rodičům za podporu.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá nežádoucím utužením půdy, které vzniká v důsledku přejezdů těžkých strojů po zemědělské půdě. Jsou zde shrnuty teoretické informace zaměřené na následky degradované půdy a také způsoby jak se dá nežádoucímu utužení předejít. Součástí práce je polní měření utužení půdy pomocí penetrometru. Cílem měření je porovnání povrchového utužení mezi nepojížděnou plochou, vlastní kolejovou stopou a prostorem mezi koly stroje. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách rozdělených podle jednotlivých kolejí.

### **Klíčová slova**

zemědělská technika, zemědělské plodiny, vodní eroze, propustnost půdy

## **Abstract**

This bachelor thesis addresses undesirable compaction of soil which is caused by passing with heavy machinery on agricultural land. There are summaries of theoretical information about consequences of degraded soils and ways how can be the unwanted compaction prevented. The work includes field measurements of soil compaction using a penetrometer. The goal is to compare measurements of surface compaction of surfaces which were not run over, the car track itself and the space between the wheels of the machine. The comparison of measured values is performed using graphs.

### **Keywords**

agricultural technique, agricultural crops, water erosion, permeability of soil

# Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíl práce .....	12
3. Metodika .....	12
4. Půda.....	12
5. Půdní druhy a typy .....	13
5.1. Půdní druhy .....	13
5.2 Půdní typy .....	13
6. Utužení genetické a technogenní .....	14
7. Důsledky utužení půdy.....	15
7.1 Zvýšení objemové hmotnosti půdy .....	16
7.2 Snížení pórovitosti půd .....	17
7.3 Omezení infiltrace vody do půdy a zadržetí vody na povrchu pozemku .....	18
7.4 Tvorba krusty .....	19
7.5 Urychlení povrchového odtoku a zvýšení náchylnosti k vodní erozi .....	20
7.6 Zmenšení retenční půdní kapacity .....	21
7.7 Redukce živých organismů .....	21
7.8 Zmenšení funkční vrstvy půdy.....	22
7.9 Znesnadnění využití živin rostlinami .....	22
7.10 Negativní vliv utužení na kořenový systém .....	23
7.11 Úbytek půdního vzduchu a ovlivnění termických vlastností půdy .....	24
7.12 Snížení výnosů plodin .....	25
7.13 Vliv utužení na agrotechnické operace .....	27
8. Prevence vzniku utužení .....	28
8.1 Pneumatiky.....	28
8.2 Systém řízených přejezdů po pozemku.....	29
8.3 Použití organických materiálů jako hnojiva.....	30
9. Penetrometrická zkouška .....	30
10. Vlastní měření .....	31
10.1 Charakteristika pozemku.....	31
10.1.1 BPEJ 3.10.00.....	33
10.1.2 BPEJ 3.10.10.....	33
10.2 Cíl pokusného měření .....	33
10.3 Průběh měření .....	34
10.4 Výsledná data .....	35
10.5 Shrnutí výsledků .....	51
Diskuse.....	52

Závěr .....	53
Seznam použité literatury.....	54
Seznam tabulek .....	57
Seznam obrázků .....	58



# 1. Úvod

Utužení půdy na zemědělsky využívaných pozemcích je v dnešní době velmi závažným a rozsáhlým problémem degradace půdy nejen v České republice, ale i na celém světě. Konkrétně je touto degradací v České republice ohroženo až 50 % orné půdy, z čehož je 30 % ovlivněno utužením genetickým a 70 % utužením sekundárním. (Bukovský et al. 2012)

Utužení půdy je následek útláčné síly kol zemědělských strojů, které svými pojezdy narušují zdravou strukturu zeminy. Negativní následky mohou být o to horší, nerespektuje-li zemědělec vlhkostní podmínky, neboť náchylnost půdy k utužení roste se zvyšující se vlhkostí. Jinými slovy je toto utužení označováno také jako druhotné, sekundární nebo technogenní utužení. Je ovlivněno činností člověka. Negativním způsobem ovlivňuje produkční i mimoprodukční funkce zemědělských pozemků.

Zhutňování půd je samozřejmě ale i proces, ke kterému dochází přirozeně vlivem samotné váhy zeminy. Jinak označováno také jako primární nebo genetické zhutnění. Toto zhutnění není však výrazná hrozba pro funkce půdy.

Mezi hlavní příčiny druhotného zhutnění patří zejména stále se zvyšující hmotnost zemědělských strojů. Rozvoj moderních technologií od začátku minulého století umožnil zintenzivnit zemědělství a výrazně tak podpořit produktivitu práce, ke které přispívají právě moderní stroje a jejich výkonnost.

Velikost obdělávaných políček, na kterých hospodařili lidé před sto lety, se vlivem zmiňované technologické modernizace zněkolikanásobila mnohdy i na desítky ne-li až stovku hektarů nepřerušované plochy. Tím se navýšila vzdálenost pojezdů při přepravě materiálů po pozemku. Obzvláště škodlivé účinky mají kola obyčejných nákladních aut, hojně využívaných pro odvoz sklizeného produktu z pole pryč.

Další příčina, která vznikla v 21. století, je šlechtitelská činnost pro zvyšování výnosu plodin. To samozřejmě problém není, ale jedním z výsledků této činnosti je i zkracování stébel rostlin, která by mohla sloužit při zaořání jako zdroj organické hmoty. V tomto bodě navážu na další trend, týkající se tentokrát živočišné výroby. Obecně platí, že Česká republika se soustředí převážně na rostlinnou výrobu na úkor té živočišné. Ovšem chov zvířat je cenným zdrojem organické hmoty v podobě zralého hnoje. Vezmeme-li ale v úvahu i to, že se dnes v chovu zvířat přechází na

bezstelivové ustájení, zjistíme, že množství použitelného materiálu jako organického hnojiva není na pokrytí rozloh našich polí dostatek. (Lhotský et al. 1984)

Utužení půdy má mnoho důsledků, všechny spolu souvisí a tvoří uzavřený kruh, ze kterého se těžko uniká. V souvislosti s utužením se často na prvním místě mluví o zvyšování objemové hmotnosti půdy. Objemová hmotnost se zvyšuje s ubývajícím množstvím půdních pórů, které mizí při přibližování půdních částic blíže k sobě útláčnou silou strojů. To má za následek porušení kapilarity, která v půdě výrazně podporuje zasakování a vzlínání vody. Zde narážíme na velmi vážný problém, který ovlivňuje hospodaření půdy s vodou. Největší měrou je zasažena půdní retence. Retence je schopnost půdy pojmout a zadržet vodu. To je obzvláště důležité při přívalových i dlouhodobých deštích, kdy je půdní povrch schopen zabránit, nebo alespoň omezit, množství vody ve vodních korytech a nádržích.

Dalším aspektem zhoršeného hospodaření půdy s vodou je nežádoucí zadržování vody na povrchu pozemku. Může dojít dokonce i k vytvoření vodní laguny v prohlubni terénu, která zabráni přístupu vzdušného kyslíku do půdy. Tam, kde chybí kyslík, je výrazným způsobem ovlivněn i život.

Půda je přirozeným prostředím pro život nesčetného množství živých organismů. Tito příslušníci živočišné, ale i rostlinné, říše se souhrnně nazývají edafon. V půdě plní důležitou a nezastupitelnou úlohu v podpoře zdravého a stabilního prostředí. (Tuf 2013)

Vrátíme-li se však zpět k vodnímu režimu, je nutno zdůraznit i druhý extrém hospodaření utužené půdy s vodou a tím je, oproti zamokření, naopak vysušení. Jelikož přirozeně největší sklon k tomuto druhu degradace mají půdy těžké s vysokým obsahem jílu a jílových částic, je výsledkem sucha mnohdy až extrémní tvrdost zeminy. V takové půdě se výrazně zhorší podmínky pro aktivní život živočichů a růst rostlin.

Jako o samostatné kapitole můžeme mluvit o vlivu utužené půdy na zemědělské plodiny. Vždyť právě vysoké a stabilní výnosy jsou důvodem zemědělského snažení v rostlinné výrobě. K nejintenzivnějšímu příjmu živin rostlinami dochází právě pod povrchem půdy prostřednictvím kořenového systému. Rostlina vstřebává živiny z půdního roztoku, který je tvořen vodou a rozpuštěnými látkami v ní obsažených. Při vysušení půdy se pohyb vody zpomalí a tím se zpomalí i příjem živin. To by na první pohled mohlo vypadat, že pokud je vody dostatek nebo dokonce i nadbytek, jediným výsledkem bude pozitivní zvýšení příjmu živin. Naneštěstí stejnou měrou

jako voda se na vstřebávání živin podílí i kyslík. Dojde-li k překročení určitých hranic zamokření půdy, kyslík se dostává do deficitu a rostlina opět reaguje zpomalením růstu. Utužení půdy tedy ovlivňuje rovnovážný stav mezi obsahem vody a kyslíku v půdě.

Další negativní stránkou týkající se vlivu utužení půdy na rostliny je samotné narůstání objemové hmotnosti půdy. S tou se totiž výrazně zvyšuje odpor, který půda klade rostoucím kořenům. Tím se neblaze ovlivňuje jejich růst jak do délky, tak i do šířky. Rostlina není schopná prokořenit do dostatečných hloubek, ze kterých by mohla čerpat živiny a vodu. Narazí-li kořeny na zhutnělé podorničí, které je výsledkem utužení hlubších vrstev půdy, jež už nejsou obdělávány v rámci agrotechnických zásahů, jako je například orba, uchylují se namísto vertikálního růstu k horizontálnímu. Vzájemným prorůstáním si ale kořeny konkurují v čerpání živin, vody, kyslíku a prostoru. Plodiny, jejichž lidmi využitelná část se nachází pod zemí jako je řepa, zelenina nebo brambory, se dnes pokud možno na takto poškozených pozemcích ani nepěstují, neboť jim hrozí nežádoucí deformace tvaru. (Haberle, Bláha 1990)

Dochází i k samotnému ztížení obdělávání pole zemědělskou technikou. To se nejvíce projeví ve spotřebě pohonných hmot a opotřebovávání strojních součástí, což se oboje promítne ve zvýšených nákladech.

Samotné nápravě problému by měla předcházet prevence vzniku, jakou může být například zařazování hluboko kořenících plodin do osevních postupů, zvýšení použití statkových hnojiv a hlavně pokud možno nevjíždění na pole za zvýšených vlhkostních podmínek.

Odstraňování následků utužení je náročným procesem za použití zemědělských strojů a dalších opatření. Jednou z možností může být podrývání, které zároveň funguje i jako prevence vzniku utužení, protože samotná hloubka proniknutí orebného ústrojí se díky nastavným podrývacím zvýší. Výhodou je i možnost jejich pravidelného použití. Pokud se utužená vrstva vyskytuje v hloubkách 0,4 metru a více, je zapotřebí speciálních melioračních opatření jakými jsou dlátování, hloubkové kypření nebo rigolování. (Lhotský et al. 1984, Teksl et al. 1999)

## 2. Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je podat informativní přehled o důsledcích utužení půdy na zemědělsky využívaných pozemcích a dále poukázat na fakt že všechny tyto důsledky se navzájem ovlivňují, neboť jeden následek se stane příčinou toho druhého. Snahou praktického pokusného měření povrchového utužení půdy pomocí kapesního penetrometru je dokázat přítomnost velkých rozdílů v utužení mezi vlastní kolejovou brázdou a zbytkem neuježděného prostoru.

## 3. Metodika

V této práci jsou uvedeny nejprve informace o důsledcích vyvolaných utužením půdy. Dále se zde krátce pojednává o preventivních opatřeních před vznikem utužení půdy.

Praktická část práce je zaměřena na penetrometrické měření povrchového utužení půdy. Nejprve je charakterizován pozemek, na kterém bylo měření uskutečněno. Poté je zde popsán cíl měření. Následuje popis průběhu měření, ve kterém nastiňuji jednotlivé kroky svého měření. Dále jsou umístěna výsledná data v tabulkách rozdělených dle jednotlivých kolejí, doplněná grafickým zobrazením naměřených hodnot. Posledním krokem je shrnutí výsledků slovním popisem.

## 4. Půda

Půda je podmínkou pro život každého člověka. Je nenahraditelná a neobnovitelná. Slouží jako místo k životu. Poskytuje živiny rostlinám, které dále slouží jako potrava živočichům i lidem.

Půda je svrchní vrstva zemské kůry, která vznikla za společného působení atmosféry, biosféry a hydrosféry. Důležitou vlastností půdy je její úrodnost pro pěstování zemědělských plodin. Půdu tvoří pevná fáze, kapalná fáze a plynná fáze. Pevná fáze je složena z anorganického materiálu, jako jsou minerály a dále z organického materiálu, do kterého patří jak odumřelá těla živočichů a rostlin, tak i všechny živé organismy. Pevná fáze tvoří asi 50 % objemu půdní hmoty. Kapalná fáze tvoří u orných půd asi 30 až 40 % objemu půdy. Plynná fáze zaujímá přibližně 10 až 20 % objemu půdy. (Teksl et al. 1999)

## 5. Půdní druhy a typy

Každý půdní druh nebo typ reaguje na přejezdy zemědělských strojů jinak. Jsou půdy, které dokáží snést přejezdy snáz, mají vyšší odolnost vůči technogenní degradaci. A naopak jsou i půdy, které tomuto ohrožení podléhají mnohem rychleji. Bohužel v neprospěch zemědělců bývají nejohroženějšími půdami právě ty, které mají potenciál pro vysoké výnosy. Jsou totiž nejintenzivněji využívány, a tudíž jsou nejvíce vystavovány náporu lidské činnosti. (Lhotský et al. 1984)

### 5.1. Půdní druhy

Půdní druh se určuje dle velikosti půdních zrn a jejich procentuálního zastoupení. Velikost zrn je ovlivněna zvětráváním mateční horniny. Horniny obsahující hodně křemene zvětrávají hůře, proto se dnes vyznačují hrubší zrnitostí. Naopak horniny snadno zvětrávající, obsahující živce, spraš nebo jíl, jsou charakteristické jemnými půdními částicemi.

V tabulce 1. je uvedeno rozdělení půd dle Nováka na sedm půdních druhů a zároveň rozdělení půd dle zpracovatelnosti. Rozdělení se odvíjí od obsahu jílu v %.

<b>půdní druh dle Nováka půda:</b>	<b>půdní druh dle zpracovatelnosti půda:</b>	<b>obsah jílu v %</b>
písčítá hlinitopísčítá	lehká	0-10 10-20
písčitohlinitá hlinitá	střední	20-30 30-45
jílovitohlinitá jílovitá jíl	těžká	45-60 60-75 Nad 75

Tabulka 1. Dělení půd podle obsahu jílu v % dle Nováka a dle zpracovatelnosti (Teksl et al. 1999)

## 5.2 Půdní typy

Půdní typy se od sebe vzájemně liší v odlišnostech půdního horizontu. To, jaký horizont vznikne, je závislé na půdotvorných činitelích, mezi které patří matečná hornina, podnebí, vegetace, edafon, voda, člověk, reliéf, věk půdy a další. Jejich vzájemné působení utváří jedinečný horizont, který člověk zařadil dle charakteristických znaků to určitého půdního typu. V dnešní době se setkáváme s dvojitým značením půdních typů. Prvním, starším, je komplexní průzkum půd (KPP) a druhým, mladším, je morfogenetický klasifikační systém (MKS).

V tabulce 2. je uvedeno rozdělení půdních typů dle KPP i MKS

Názvosloví půdních typů a jejich značení			
KPP		MKS	
Černozem	ČM	Černozem	ČM
Hnědozem	HM	Hnědozem	HM
Drnová půda	DA	Regozem	RM
Illimerizovaná půda	HP	Luvium	LM
Oglejená půda	OG	Pseudoglej	PG
Hnědá půda	HP	Kambizem	KM
Podzol	PZ	Podzol	PZ
Rendzina	RA	Rendzina	RA
Lužní půda	LP	Černice	ČA
Nivní půda	NP	Fluvizem	FM
Glejová půda	GL	Glej	GL
Rašelinová půda	RŠ	Aragnozom	OM
Slanec	SC	Slanec	SC
Slanisko	SK	Solončak	SK
Nevyvinutá půda	NV	Litozem, ranker	LI, RN
Atropogenní půda	AN	Antrozem, kultizem	KT

Tabulka 2. Dělení půdních typů dle KPP a MKS (Teksl et al. 1999)

## 6. Utužení genetické a technogenní

**Genetické utužení (primární utužení)** je jev, ke kterému dochází samovolně na každém typu pozemku. Je podmíněno půdní strukturou, která podléhá vlastní útláčivé váze. Dochází k němu i bez přičinění člověka. Genetické utužení je zcela přirozený dlouhodobý děj, jehož proces ani důsledky se nedají člověkem omezit. Příroda je schopná se s takovýmto utužením sama vyrovnávat a navracet půdě

zdravou strukturu. Jedním ze způsobů je každoroční promrzání půdního profilu, při kterém se vsáklá voda mrazem rozpíná a rozrušuje zhutnělé půdní celky.

Nejcitlivější půdní druhy a typy jsou ty, jejichž matečná hornina obsahovala větší procento jemnozrnného substrátu a to hlavně jílu (menších než 0,001 mm) a jílnatých částic (menších než 0,01 mm). (Lhotský 1984)

**Technogenní utužení (sekundární utužení)** je chápáno jako negativní následek opakovaných pojezdů těžkých zemědělských strojů po povrchu půdy. (Hůla 2001, Staněk et al. 2011) Lidé dnes pro svou obživu potřebují zajistit velké množství potravin a proto, aby toho dosáhli, zintenzivnili zemědělství pomocí zemědělských strojů, bez kterých se dnešní vysoká produkce v České republice téměř neobejde. Stroje jsou pro obdělávání polí používány několikrát do roka v pravidelných intervalech a jejich zvyšující se hmotnost mnohdy nezachrání ani současné kladení důrazu na rozložení váhy pomocí širokých kol, hlavně pokud zemědělec obdělávající daný pozemek nerespektuje přírodní podmínky a na pole vjede i za nevhodného vlhkostního stavu. K negativnímu utužení tedy dojde oproti genetickému přirozenému zhutnění nesrovnatelně rychleji, ale přirozená doba potřebná ke zvrácení negativních následků zůstává stejná. Ke zvrácení následků je tedy opět potřeba činnost člověka, která je považována za složitý, ekonomicky nákladný a déletrvající agrotechnický proces. (Javůrek, Vach 2008)

## 7. Důsledky utužení půdy

Technogenní utužení je fyzikální degradace půdy, ke které dochází obvykle pojezdy těžké zemědělské techniky po pozemku za zvýšených vlhkostních podmínek.

Půdy s vysokým obsahem jílnatých částic mají silné kohezní vazby. Soudržnost malých částic je dána jejich velkou plochou, kterou se navzájem stýkají. Za zvýšeného vlhka zapříčiní až mazlavost nebo plasticitu půdy.

Na utužení půdy je třeba se dívat ze dvou pohledů, z pohledu podnikajícího zemědělce a z pohledu krajiny. U obou se však většinou uplatní negativní stav věci.

Z hlediska zemědělské výroby je utužení nežádoucí jev hlavně proto, že se podílí na snížení výnosů plodin z důvodu špatné přístupnosti živin, vody a vzduchu ke kořenům rostlin.

Pro člověka hospodařícího na poli to znamená, že může velmi snadno dojít ke snížení zisků a ruku v ruce s tím se mohou navýšit náklady na výrobu.

Vysoké náklady spojené s utužením se uplatňují při pořizování pohonných hmot na provoz strojů, jejichž spotřeba roste se zvyšujícím se odporem půdy při energeticky náročném obdělávání pozemku, jakým může být orba nebo podmítka a zároveň dochází k většímu opotřebovávání strojních součástí.

Utužená půda se vyznačuje zvýšenou tvrdostí hlíny už od povrchu a může zasahovat i do větších hloubek profilu hlavně prostřednictvím neobdělávaného utuženého podorničí. (Duiker 2004b) Negativním následkem se stávají kvalitativně poškozené plodiny, jejichž zástupci jsou nejčastěji řepa, brambory nebo kořenová zelenina. U takových plodin se sníží peněžní cena při prodeji, protože o ně není na trhu zájem. Snížit se mohou ale i výnosy u plodin jakými jsou například pšenice nebo žito, u nichž je důležité odnožování, kterého však rostlina nemusí být schopná právě kvůli působení tvrdé, hůře proniknutelné, povrchové struktury.

Z pohledu krajiny je velmi naléhavé uvědomit si, jaké následky může mít zhutnělá půda na vodní režim v přírodě. Jelikož se výrazně sníží retenční zádržná schopnost krajiny, uplatňující se při přívalových deštích, znamená to zvýšený i zrychlený odtok dopadající vody z povrchu pozemků pryč do vodního toku. To ovšem znamená celkový úbytek vody v krajině, protože půda funguje jako studna pro uchování vody na horší období. Často tak dochází k vysychání zemědělských pozemků.

## **7.1 Zvýšení objemové hmotnosti půdy**

Nejběžnějším ukazatelem zhutnění půdy je navýšení objemové hmotnosti v důsledku zmenšování pórů a přibližování půdních částic blíže k sobě, čímž se poškozuje půdní stavba a struktura. Objemovou hmotnost můžeme vyjadřovat v  $\text{g.cm}^{-3}$  nebo  $\text{kg.m}^{-3}$ .

Při zemědělské práci se zvýšená objemová hmotnost projeví na vyšší spotřebě pohonných hmot a na větším opotřebovávání strojů. Negativně se to odrazí ale i na zemědělských plodinách, kde se to projeví nižšími výnosy v důsledku kladení velkého tlakového odporu kořenovému systému rostlin, neboť díky zhoršeným vodním a vzdušným podmínkám nejsou kořeny schopny čerpat živiny v optimálním



množství. V Tabulce 3. jsou uvedeny kritické hodnoty objemové hmotnosti dle druhu půdy v g.cm<sup>-3</sup>.

Kritická vlastnost	Půdní druh					
	J	JV, JH	H	PH	HP	P
Objemová hmotnost redukována v g.cm <sup>-3</sup>	>1,35	>1,40	>1,45	>1,55	>1,60	>1,70

J – Jíl, JV – Jílovitá půda, JH – Jílovitohlinitá půda, H – Hlinitá půda, PH – Písčitohlinitá půda, HP – Hlinitopísčitá půda, P – Písčitá půda

Tabulka 3. Kritické hodnoty objemové hmotnosti v g.cm<sup>-3</sup> (Lhotský 1994)

## 7.2 Snížení pórovitosti půd

Pórovitost je celkový objem pórů přítomných v půdě. Řadí se sem póry kapilární, které dokáží vést vodu i póry, nekapilární, které nedokáží vést vodu. Udává se v procentech z objemu půdy. (Teksl a kol. 1999)

Se zvyšující se objemovou hmotností se snižuje četnost výskytu propustných pórů, které v půdě zajišťují zasakování nebo vztlínání vody, termické vlastnosti půdy, prostor pro přítomnost kyslíku nebo usnadnění růstu kořenů rostlin. Přirozená pórovitost je závislá na zrnitosti půdy a na způsobu uložení půdních částic. Zemědělec může obděláváním půdu nakypřit a zvýšit tak její vzdušnost nebo naopak její vzdušnost zmenšit válením. Optimální obsah vzduchu u orné půdy je 50 % objemu půdy. Póry pozitivně ovlivňují pohyb vody jak vertikálně tak horizontálně díky čemuž nedochází k velkým výkyvům vlhkosti půdy ani v rámci plochy. Přítomnost pórů je nezbytná nejen u vrchních vrstev půdy ale i u spodních, díky čemuž může voda vztlínat směrem vzhůru ke kořenům rostlin i z velkých hloubek. V tabulce 4. Jsou uvedeny kritické hodnoty pórovitosti půd v % objemu.

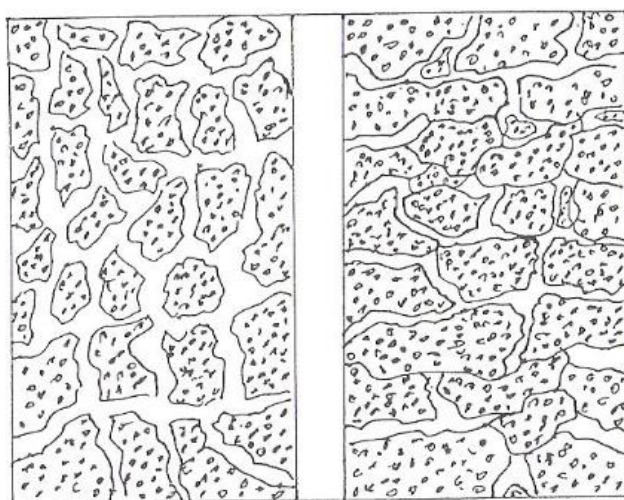
Kritická vlastnost	Půdní druh					
	J	JV, JH	H	PH	HP	P
Pórovitost v % obj.	<48	<47	<45	<42	<40	<38

Tabulka 4. Kritické hodnoty pórovitosti v % objemu. (Lhotský 1994)

Pokles kyslíku v půdě negativně ovlivní aerobní organismy, které jsou na kyslík vázané. Jejich nepřítomnost ovlivní celé půdní prostředí zejména pro to, že mají v půdě své funkce, podporují přeměnu látek a vstřebávání živin rostlinami.

Na sníženou pórovitost rostliny doplatí tím, že ve vzájemné konkurenci s aerobními organismy nastane konkurenční boj o kyslík, čímž se procento vzduchu, už v tak ochuzené půdě, ještě sníží. Dále se ztíží růst kořenů kladením velkého silového odporu půdy, omezí se přístup vody a to vše nakonec může způsobit snížení výnosů plodin.

Obrázek 1. Zobrazuje rozložení půdních pórů ve zdravé a degradované půdě.



kontinuální póry  
s převážně vertikální  
orientací v nezhutnělé  
půdě

póry s převážně  
horizontální orientací,  
zčásti diskontinuální  
ve zhutnělé půdě

Obrázek 1. Rozložení půdních pórů (Lhotský 1994)

### 7.3 Omezení infiltrace vody do půdy a zadržetí vody na povrchu pozemku

Pro vsakování vody do půdy je důležitá její struktura a pórovitost, podstatnou částí se podílí ale i půdní druh. Jíl a jílovité částice dokáží pojmout vodu svým nabobtnáním, což pozitivně podpoří zasakování vody.

Vlivem utužení se pórovitost v půdě zmenšuje nebo zcela mizí. Pórovitost je velmi důležitá pro pohyb vody v půdě. Sníží-li se prostor mezi půdními agregáty natolik, že samotné půdní částice vodu nepojmou díky své nasávací schopnosti, voda

nedokáže v dostatečném množství zasáknout do půdního profilu a díky tomu odteče pryč po povrchu nebo se shromažďuje mezi kolejovými řádky a v přirozených sníženinách terénu. K tomu dochází zejména při přivalových deštích, kdy je objem spadlé vody na zemský povrch příliš vysoký. A i přes to, že daná půda má potenciál vodu pojmout, ať už díky svému druhu nebo dostatečné kapacitě po delším období malých srážek, nestane se tak. Velká část pozemku proto i dále trpí vysoušením.

Zemědělské plodiny mohou strádat dvojím způsobem. Na vyvýšených místech, kde je vody nedostatek, jsou výnosy z těchto plodin ohroženy sesycháním. Naopak v níže položených částech pozemku rostliny trpí nedostatkem kyslíku vlivem zamokření.

Voda shromážděná na jednom místě, která pokryje povrch půdy a vytvoří souvislou vodní plochu, blokuje přístup vzdušného kyslíku do půdy a tím následně i ke kořenům rostlin.

Kyslík je nezbytný pro většinu edafonu přítomného v půdě, který není bez kyslíku schopný přežít. (Hůla et al. 2011)

Zadržení vody na povrchu půdy je jedním z vizuálních, na první pohled viditelných, ukazatelů přítomnosti ztuhlé půdy.

## **7.4 Tvorba krusty**

Půdy bohaté na jílu a jílové částice mají tendenci k velké soudržnosti za sucha, což se projevuje ve značné tvrdosti hlíny a naopak za mokra jílu a jílové částice zapříčiní vznik plastické, mazlavé konzistence půdy. Pokud je pozemek vystaven velkému přívalu vody za dlouhodobých dešťů a následně déletrvajícím suchu, hrozí, že se na povrchu půdy vytvoří popraskaná půdní krusta.

Ta vznikne nabobtnáním jílu a jílových částic ve svrchní vrstvě půdy, kde se zadržuje nevsáklá voda, čímž se tato vrstva spojí v jeden celek. Následně je tato vrstva vystavena suchu, voda se z jílu a jílových částic odpaří, ale vlivem silné koheze těchto částic není půda schopná navrátit se do drobtovitého stavu, proto dojde k povrchovým trhlinám, čímž se vytvoří na první pohled viditelná mozaika tvořená tvrdými ploškami různé plochy a trhlinami, které je ohraničují.

Následky této situace mohou ohrozit malé rostlinky, u kterých hrozí poškození kořenového krčku vlivem jeho přiškrcení, čímž se omezí proudění živin a vody z kořene do nadzemní části. V horším případě mohou rostlinky zcela odumřít kvůli

přeštípnutému kořenovému krčku, nebo přílišnému omezení přístupu živin z kořene do nadzemní části rostlinky. V případě vytvoření půdní krusty bezprostředně po zasetí se znesnadní, a tím zpomalí, vzcházení porostu.

## **7.5 Urychlení povrchového odtoku a zvýšení náchylnosti k vodní erozi**

Pokud voda nedokáže v dostatečném množství a čase zasáknout do půdy, dojde k jejímu odtoku po povrchu mnohem dříve, než by k tomu došlo u pozemku s nepoškozenou strukturou. K těmto odtokům dochází i mnohem častěji během roku. Rychlost zasakování vody je významně ovlivněna půdním druhem. Nejrychleji voda zasakuje na půdách písčitých nebo hlinitopísčitých. U těchto půd se vyskytují poměrně velké mezery mezi půdními částicemi, které nekladou odpor při vsakování. Naproti tomu půdy jílovité a jílovito-hlinité propouští vodu mnohem pomaleji. Bohužel ale právě těžké půdy podléhají utužení, což zasakování vody ještě více zpomalí. Následkem toho je zvýšené riziko zrychlené eroze, podpořené častějšími odtoky nadbytečné vody z povrchu pozemku.

Vodní eroze je považována za jeden z hlavních problémů degradace půdy na celém světě. V České republice je vodní erozí ohroženo 50 % zemědělských půd. Ztráta půdy v ČR je vyčíslena na 21 mil. tun ornice za rok. (Bukovský et al. 2012)

Faktor, který výrazně podpořil náchylnost půd k utužení a zároveň i k vodní erozi je zvětšování půdních celků. Pozemky s velkou plochou trpí na zvýšenou intenzitu pojezdů nákladních automobilů nebo cisteren v rámci dopravy materiálů po poli. Vzniklé utužení tedy aktivně podpoří už tak velkou náchylnost zemědělských ploch k vodní erozi. Vlivem transformace zemědělství v 50. a 60. letech minulého století se Česká republika řadí mezi státy s největšími zemědělskými bloky v Evropě.

Mezi hlavní následky vodní eroze patří: zmenšování mocnosti ornice, vyplavování živin a humusu, zanášení vodních toků, odnos osiva z pozemků, znečišťování vodních toků hnojivy a podpora eutrofizace, zvyšování šterkovitosti a poškozování pěstovaných plodin. (Janeček et al. 2012)

## 7.6 Zmenšení retenční půdní kapacity

Zemědělský pozemek je intenzivně využíván a během roku vystavován velkým zátěžím jak ze strany strojů, tak ze strany rostlin, které jsou na něm pěstovány. Pokud má půda poškozenou strukturu zhutněním, je v ní přítomno mnohem méně pórů, které by mohli vodu uchovávat nebo ji transportovat ke kořenům rostlin. Retence je schopnost půdy pojmout vodu a tu následně uchovat po určité časové období. K retenci vody dochází nejen ve svrchních vrstvách horniny, protkaných kořeny rostlin a bohatých na humusové látky, ale stejně tak ve spodních vrstvách, které jsou už o poznání chudší. Retenční schopnost krajiny je důležitá z hlediska omezení povodní při vysokých srážkách, protože půda dokáže pojmout velké množství vody a tím zabraňuje nebo alespoň snižuje množství vody ve vodních tocích. Zároveň nedochází k vysychání pozemků, protože voda se v půdě uchová dlouhou dobu. Pórovitost půdy může být i 50% a jejím snížením v důsledku utužení se schopnost půdy zadržet vodu zmenšuje. (Kovaříček 2014)

## 7.7 Redukce živých organismů

Půdní edafon je součástí každé půdy a tvoří ho jak zástupci živočišné, tak i rostlinné říše (houby). Nejčastěji se dělí dle velikosti na mikroedafon o velikosti menší než 0,2 mm (bakterie, řasy, sinice, houby, prvoci), mezoedafon o velikosti od 0,1 do 2 mm (roztoči, menší hmyz), makroedafon o velikosti od 2 do 20 mm (mnohonožky, stonožky, pavouci, měkkýši) a megaedafon o velikosti větší než 20 mm, sem patří např.: žížaly, hlodavci, a ostatní obratlovci žijící v půdě. (Tuf 2013)

Půdní edafon napomáhá k tvorbě optimální půdní struktury. Svou přítomností přispívá k přeměně organických látek na humus, čímž se tyto látky stávají snadněji přístupné rostlinám v podobě živin. Dále zabezpečují prokysličování půdy, tuto funkci zastávají především zástupci makroedafonu a megaedafonu. Aktivní pohyb žížal napříč vrstvami vytváří kapilární cesty, které podporují zasakování vody do půdy při deštích nebo naopak umožňují vzlínání vody z hlubších vrstev směrem nahoru ke kořenům rostlin. Zástupci megaedafonu plní důležitou funkci v rozrušování půdních celků, čímž podporují prokypřenou strukturu půdy a přemísťují zeminu z hlubších profilů do svrchních vrstev půdy. Edafon tedy podporuje drobtovitou strukturu půdy, tvorbu humusu, kapilaritu, zvětrávání a

půdotvorný proces, čímž může chránit zemědělský pozemek před utužením. Bohužel schopnost edafonu zabránit utužení není zdaleka dostačující a se zvýšeným utužením se přítomnost organismů snižuje.

## **7.8 Zmenšení funkční vrstvy půdy**

Pro zemědělské účely jsou nejdůležitější vrchní vrstvy půdy bohaté na živiny, vodu, vzduch a minerální látky. Mocnost ornice je závislá na matečné hornině a na půdotvorných procesech, při kterých tento využitelný horizont vzniká.

Půdní horizonty se dají obecně dělit na: Nadložní organický horizont

Humusový horizont

Metamorfický horizont

Půdotvorný substrát

Ke zmenšení mocnosti ornice může dojít dvojím způsobem. Vlivem utužení nebo vlivem eroze.

Velký vliv na mocnost ornice mají mezery mezi půdními částicemi, díky kterým, je půda nakypřená, a tudíž je její hloubka mnohem větší, než u půdy utužené. Častými pojezdy těžké zemědělské techniky se mezery mezi půdními částicemi zmenšují, čímž se zvyšuje objemová hmotnost a klesá mocnost ornice.

Vodní eroze je pro zmenšení hloubky ornice ještě nebezpečnější. Rozsáhlé půdní celky podléhají erozi velmi snadno. Spojí-li se však faktory ovlivňující vodní erozi spolu s utužením půdy, tak k odnosu zeminy dochází mnohem častěji, než by tomu bylo u neutužené půdy.

## **7.9 Znesnadnění využití živin rostlinami**

K tomu, aby rostlina dostatečně využila živiny obsažené v půdě, jsou zapotřebí optimální podmínky, které zajišťuje vlhkost, kyslík, teplota a edafon. Zhutnění ale výrazně ovlivní všechny dané složky.

Výnosy jsou na těchto faktorech závislé a změní-li se k horšímu třeba jen jediný z nich, snadno se to na zemědělských plodinách odrazí.

Rostliny přijímají živiny z půdy ve formě iontů z půdního roztoku. Půdní roztok je voda přítomná v půdě, ve které se nachází různé minerální látky, jež je rostlina schopná pomocí kořenů přijmout. Voda zároveň zajišťuje transport živin v půdě.

Půdní vlhkost může mít dva extrémy. V případě déletrvajícího období bez srážek se půda snadno vysuší. Zhutnělá půda se tak stane velmi tvrdou a pohyb živin se zpomalí. Suchem jsou výrazně ohroženy mladé rostlinky, jejichž kořenový systém není dostatečně hluboký na to, aby dokázal přijímat vodu a živiny z hlubších profilů pozemku. Jejich růst se tak pozastaví nebo rostlinka zcela odumře. Tvrdá půda je též nežádoucí při pěstování okopanin, u nichž mohou nastat deformace tvaru hlíz a bulev.

Naopak při velkém zamokření pozemku, ke kterému na utužených půdách často dochází, mají sice rostliny dostatek vody, ze které mohou čerpat živiny, ovšem zároveň se potýkají s nedostatkem kyslíku, který je pro příjem živin stejně důležitý. Nejcitlivější částí kořenového systému jsou kořenové špičky, které mají spotřebu kyslíku výrazně vysokou a jsou tak na jeho nedostatek nejcitlivější. Mezi plodiny jejichž výnosy jsou závislé na dostatečném množství  $O_2$  se řadí především cukrovka, brambory nebo ječmen.

Zvyšování půdní teploty má na příjem živin a růstovou aktivitu rostlin pozitivní vliv. S rostoucí teplotou se příjem živin zrychluje. Půdní teplota se mění jen do určité hloubky profilu půdy a od určité hranice je po celý rok neměnná. Citlivou plodinou je například kukuřice, která vyžaduje vyšší teplotu půdy i vzduchu. Při teplotě  $0^{\circ}C$  se transport živin v půdě zpomaluje v návaznosti na zpomalení pohybu vody, čímž i příjem živin rostlinami ustává. (Haberle, Bláha 1990)

## **7.10 Negativní vliv utužení na kořenový systém**

Utužení půdy je dnes jedním z hlavních limitujících faktorů pro růst kořenového systému rostlin. Je příčinou zmenšeného nebo nevyrovnaného výnosu zemědělských plodin. Zhutnělá půda vytváří špatně prostupnou bariéru, které se musí kořeny přizpůsobit. Kořenový systém roste nejlépe v půdách s drobtovitou strukturou, dostatečnou pórovitostí při přítomnosti kyslíku a vody. Chybí-li však v půdě póry, kterými kořeny mohou prorůst i do velkých hloubek pod vlastní mocnost ornice, často se uchylují do půdních trhlin vzniklých právě v důsledku

utužení. To však omezuje kořeny na malý prostor, ze kterého může rostlina přijímat živiny. Často se u zhutněných půd setkáváme i s utuženým podorničím, kterému se kořeny přizpůsobí tím, že omezí svůj růst do hloubky, a místo toho, se ustředí na růst do prostoru. Tím si ale plodiny vzájemně konkurují, neboť jejich kořenový systém navzájem prorůstá. (Haberle, Bláha 1990)

Velmi náročnými plodinami na strukturu půdy jsou okopaniny. Jejich lidmi využitelná část se nachází pod zemí. Hlízy a bulvy jsou citlivé zejména na deformaci tvaru. Tvrdá půda může zapříčinit mrcasatění bulev u řepy cukrové, čímž se znehodnotí její cukernatost, která je důležitá pro výrobu cukru a lihu. (Pulkrábek 2007) Stejně deformace tvaru jsou nežádoucí u hlíz brambor nebo všech druhů zeleniny, jejichž produkční část je pod zemí. Takto poškozené kusy se hůře prodávají, protože dnešní spotřebitel se v obchodech výrazně orientuje vizuálním vzhledem na úkor chuti.

## **7.11 Úbytek půdního vzduchu a ovlivnění termických vlastností půdy**

Půdní vzduch, jinak také plynná fáze půdy je u orné půdy zastoupena 10 – 20 % půdního objemu. Složení půdního vzduchu je od atmosférického vzduchu odlišné. Je promísen plyny vznikajícími metabolismem rostlin a edafonu. Vzduch se v půdě nachází rozptýlen mezi pevnými částicemi zeminy. (Teksl et al. 1999) Půdní vzduch je tedy závislý na pórovitosti. Se zvyšující se objemovou hmotností ale pórovitost klesá, čímž klesá i obsah půdního vzduchu a přítomnost kyslíku.

Teplota půdy je ovlivněna slunečním svitem a teplotou atmosférického vzduchu. Nejrychleji teplo akumulují, i ztrácejí, půdy písčité a naopak nejpomaleji ho akumulují, a ztrácejí, půdy těžké, jílovité nebo jílovitohlinité. Rychlost ve změnách půdní teploty ovlivňují tedy pevné půdní částice a jejich schopnost si tuto tepelnou energii navzájem předávat. Nesmíme opomenout ani půdní vlhkost nebo pórovitost, které hrají stejně důležitou roli v předávání tepla.

Půda reaguje na změnu atmosférické teploty a slunečního záření pomalu. Reakce je opožděná v rámci několika hodin. Se zvětšující se hloubkou rychlost, a také i schopnost šíření tepla, klesá. V našich klimatických podmínkách změna teploty zcela ustává v hloubce okolo 1m. (Honsová 2007)



Půdní teplota umožňuje ozimým plodinám na poli přečkat nízké teploty i pod bodem mrazu. Je-li na poli sněhová pokrývka, je půda schopna uchovat si teplotu okolo 0°C. Stejně tak je teplota důležitá pro vzházení semen v jarním období. Plodina citlivá na teplotu půdy je například kukuřice, která vyžaduje pozdější setí v polovině dubna. Zemědělec musí dodržovat optimální setíové termíny rozdílné pro jednotlivé plodiny.

Půda náchylná ke zhutnění je pro svůj vyšší obsah jílu a jílových částic přirozeně pomalým vodičem tepla. Tato degradace však termickou dynamiku ještě zpomalí. To může zpomalit růst rostlin v reakci zpomalení metabolismu na sníženou teplotu půdy.

## 7.12 Snížení výnosů plodin

Kořen je nejdůležitější částí rostliny pro příjem živin. Utužení půdy je však jedním z faktorů, který distribuci živin z půdy k rostlině znesnadní. Při snížení obsahu kyslíku v důsledku omezené pórovitosti a redukované půdní vlhkosti, nedokáže rostlina přijmout dostatek živin k tomu, aby je přeměnila na vlastní rostlinnou hmotu, kterou následně využívá člověk pro své potřeby. V tabulce 5. Jsou uvedeny přípustné a rizikové hodnoty objemové hmotnosti půdy v  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Jsou to limitní hodnoty pro samotný růst plodin. (Chaloupovský 2001)

Plodina	Objemová hmotnost půdy ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	
	přípustná	riziková
Pšenice ozimá	1,45-1,50	1,60
Žito ozimé	1,35-1,40	1,55
Ječmen jarní	1,35-1,45	1,50
Oves	1,50-1,55	1,60
Kukuřice	1,50-1,55	1,60
Luskoviny	1,15-1,20	1,30
Cukrovka	1,00-1,10	1,35
Brambory	1,00-1,15	1,25

Tabulka 5. Přípustné a rizikové hodnoty objemové hmotnosti půdy ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ).

(Javůrek, Vach 2008)

Lidské požadavky na výši výnosu jsou dány především ekonomickým hlediskem. Zemědělec se snaží dosáhnout co nejvyšších, a hlavně stabilních a

kvalitních, výnosů. V tabulce 6. Jsou uvedeny výnosy obilovin vyprodukovaných v České republice v t/ha od roku 2010 až do současnosti. Hodnota v posledním roce je pouze odhadem budoucích výnosů.

plodina	Jednotka	2009/ 2010	2010/2 011	2011/2 012	2012/2 013	2013/2 014	2014/2 015
<b>Ječmen</b>	t/ha	4,40	4,07	4,87	4,23	4,57	5,64
<b>Žito</b>	t/ha	4,63	3,91	4,74	4,81	4,70	5,58
<b>Pšenice</b>	t/ha	5,24	4,99	5,69	4,32	5,67	6,50
<b>Oves</b>	t/ha	3,32	2,46	3,36	3,39	3,19	3,82
<b>Kukuřice na zrno</b>	t/ha	8,45	6,71	8,79	7,78	6,97	7,74

Tabulka 6. Výnos obilovin v t/ha (Kůst, Potměšilová 2014)

Jedním z projevů zhutnění pudy je zhoršená kvalita zpeněžitelných částí rostliny. Rozšířeným trendem v zemědělství je pěstování potravinářských plodin. Takové plodiny se na trhu prodávají za nejlepší cenu. Ale k tomu, aby se daná plodina dala prodat jako potravinářská, musí splňovat kvalitativní kritéria. V České republice je to hlídáno pomocí ČSN. Zhorší-li se kvalita plodiny, sníží se i její cena.

Velmi výraznou reakci na zhutnění mají okopaniny. Ke zhoršení kvality bulev u cukrovky může dojít už při růstu, kdy se hlíza buď rozdvojí, nebo je vytlačena směrem nahoru, a poté může dojít k jejímu poškození při sklizni. Dalším nežádoucím projevem kritické hodnoty utužení je snížení cukernatosti i o 15 %.

Tabulka 7. Uvádí snížení výnosů plodin v procentech v důsledku kritických hodnot utužení půdy.

Plodina	Snížení výnosu (%)
Obiloviny	10 - 20%
Kukuřice	10 - 15%
Luskoviny	15 - 20%
Brambory	20 - 25%
Řepa cukrová	20 - 30%

Tabulka 7. Snížení výnosů plodin v procentech. (Javůrek, Vach 2008)

## 7.13 Vliv utužení na agrotechnické operace

Zpracování půdy patří mezi nejdůležitější agrotechnická opatření, díky kterým je zemědělec schopný přetvářet půdní prostředí a přizpůsobovat ho vlastním pěstebním potřebám. (Červinka 2011) Rozsáhlé půdní celky vedly k výrobě dostatečně silných, těžkých a výkonných mechanizačních strojů, jež dokáží vyhovět požadavkům konvenčního zemědělství, které se vyznačuje zvýšenými dávkami chemických prostředků, zvýšenou potřebou mechanizace nebo chudou skladbou osevních postupů, jež vedou k jednostrannému vyčerpávání živin stále se opakujícími plodinami.

Stroje jsou dnes brány jako příčina vzniku degradace a zároveň i jako lék na její zvrácení.

Problémem je často zvýšený odpor půdy při operacích spojených s orbou. Odpor půdy se promítne na zvýšení spotřeby pohonných hmot. Tato agrotechnická operace je velmi rozšířená a provádí se pravidelně. Čím hlubší orba se provádí, tím je odpor půdy větší. V tabulce 8. je uvedeno rozdělení orby podle hloubky.

<b>Hloubka orby v metrech</b>	
Mělká orba	Do 0,18 m
Střední	0,18 - 0,24 m
Hluboká	0,24 - 0,30 m
Velmi hluboká	0,30 - 0,35 m

Tabulka 8. Hloubka orby v metrech (Teksl et al. 1999)

Nežádoucí ekonomické náklady ve spojení s utužením půdy vzniknou, také rozhodne-li se člověk hospodařící na degradovaném pozemku pro zúrodňovací opatření. Rozrušování zhutnělé vrstvy a navrácení půdě přirozené, zdravé struktury, se provádí pomocí agrotechnických operací, jakými jsou podrývání, dlátování nebo hluboké meliorační kypření. Jsou to však operace, které se provádějí nad rámec běžných opatření. U těchto zúrodňovacích postupů bývá potřeba začlenit k nim přidání organické hmoty pro navýšení množství humusu. Jsou s nimi tedy spjaty mimořádné peněžní výdaje, které si mnoho zemědělců nemůže dovolit.

Další problém ovlivňující technickou zpracovatelnost půdy může nastat, pokud se vytvoří vlivem zhutnění velké množství velkých, tvrdých hrud, které jsou velmi odolné vůči tlakovému rozdrčení. Setkat se s tím můžeme například u předset'ové

přípravy k ozimým plodinám. V takovém případě může být zemědělec nucen opakovat pracovní operaci vícekrát.

Shrneme-li to, finanční náklady se nejvíce promítnou v nákupu pohonných hmot na provoz strojů. Další položkou jsou pak výdaje za pořízení náhradních dílů, které se opotřebovávají v důsledku intenzivnějšího obrušování.

## **8. Prevence vzniku utužení**

V dnešní době je již problematika spojená s utužováním půd veřejně známá, díky tomu mají zemědělci možnost přizpůsobit své agrotechnické operace tak, aby těmto problémům předcházeli. Díky šetrnějšímu zacházení se stroji při obdělávání pole a dalším doprovodným opatřením, se dá do značné míry zabránit všem následkům spojeným s utužováním půdy. A následně není zemědělec vystaven potřebě tyto problémy řešit pomocí nákladných, zdlouhavých agrotechnických náprav.

Prvním nejzákladnějším pravidlem by mělo být respektování půdní vlhkosti. Je-li půda, po deštích nebo tání sněhu, příliš nasycena vodou, nemělo by se na ni, pokud možno, v žádném případě vjíždět. Toto pravidlo ovšem nejde dodržet vždy, neboť termíny polních prací je většinou nutno dodržovat. Ale zároveň je to asi jediné preventivní opatření, na které není nutno vynakládat peníze.

Jedním z dobrých řešení, jak předcházet utužení při sklizni vlivem nákladních automobilů odvázejících sklizený materiál pryč z pole, je použití překládacích vozů. Ty jsou opatřeny speciálními pneumatikami šetrnějšími k povrchu půdy. Pomocí těchto překládacích vozů se vozí sklizený materiál od sklízecího stroje k nákladním automobilům čekajícím na polní cestě nebo na souvrati. I zde se však musejí vynaložit náklady na pořízení překládacího vozu nebo alespoň na nové pneumatiky.

### **8.1 Pneumatiky**

Jedním z hlavních preventivních opatření proti utužování půdy je snížení tlaku pod koly stroje. Pneumatika tvoří styčnou plochu stroje s povrchem půdy. Proto je důležité, aby její působení bylo co nejšetrnější, to se dá výrazně ovlivnit její dostatečnou šířkou, která zamezí zapadání pneumatiky do hloubky a mírou jejího nahuštění. Příliš nahuštěné pneumatiky působí destruktivním způsobem na půdní

strukturu, jelikož se zvětšující se tvrdostí pneumatiky, se zvyšuje tlak jejího působení na povrch půdy. Pneumatika s nižším nahuštěním umožní lépe rozložit váhu celého stroje a zároveň se lépe přizpůsobí povrchu půdy. Dostatečná šířka pneumatiky v kombinaci s vhodným tlakem nahuštění je optimální řešení pro snížení negativních účinků pneumatiky na půdu. (Beneš 2011)

Pro zemědělské účely se dnes s oblibou využívají tzv. radiální pneumatiky namísto diagonálních. Jejich rozdíl spočívá v uložení vláken v kostře pneumatiky při výrobě. U diagonálních se vlákna pokládají přes sebe v úhlu 30 až 40°, zatímco u radiálních se vlákna pokládají rovnoběžně vedle sebe, kolmo na směr otáčení. Uložení vláken zřetelně ovlivní jejich vlastnosti. Radiální pneumatiky se vyznačují vyšší nosností, větší styčnou plochou, díky které mají lepší záběr a nedochází k velkým prokluzům, tudíž nedochází ani k plýtvání ve spotřebě pohonných hmot. Nevýhodou je ale jejich vyšší pořizovací cena a náchylnost boků k mechanickému poškození. Radiální pneumatika se roztahuje do délky a ne do šířky, což je v zemědělství důležité, protože šířka kolejové stopy zůstává i se zvyšující se vahou stroje stále stejná. (Beneš 2011, Duiker 2004b)

## 8.2 Systém řízených přejezdů po pozemku

Označuje se také jako CTF- controlled traffic farming. Hlavní myšlenka spočívá ve vytvoření pevně daných kolejových stop, které jsou využívány pro všechny přejezdy stroje během roku. Pozemek se tak dá rozdělit na vlastní jízdní stopy a na produkční plochu, po které se kola vůbec nepohybují. Tento systém je pokud možno nutno kombinovat s použitím velmy přesné GPS navigace, aby nedocházelo k vychylování jedoucího stroje z daných stop. Co se týče vlivu kol na vlastní kolejové stopy, tak k utužení jednoznačně dojde, ale vzhledem k tomu že se kolejové řádky nechávají neoseté, nevadí to. Zároveň se zlepší valivý odpor pneumatik, neboť na zpevněných plochách kolejí nedochází k zapadání pneumatik do nakypřeného terénu. Díky vytvoření pevně dané trasy, po které stroje musí jezdit, se minimalizuje nekoordinovaný pohyb, vlivem kterého může dojít až k 80% uježdění celého pozemku. (Kumhála et al. 2013)

Ovšem systém řízených přejezdů po pozemku má jeden velký nedostatek pro jeho zavádění stávajícími zemědělskými podniky. Systém vyžaduje pokud možno stroje se stejným rozchodem kol a se stejnou šířkou pneumatik, vlastní-li podnik

stroje s různou šířkou náprav, bylo by zavedení tohoto systému i tak neefektivní. Stejně kritérium platí i pro šířku pracovního záběru. (Kumhála et al. 2013)

### **8.3 Použití organických materiálů jako hnojiva**

Organická hnojiva jsou materiály biologického původu vznikající nejčastěji v živočišné a rostlinné výrobě. Obsahují živiny, organickou hmotu, mikroorganismy a růstové látky. Mezi organická hnojiva se řadí hnůj, močůvka, kejda, statkové komposty, zelené rostliny, posklizňové zbytky. Jejich aplikace by se však měla uskutečňovat pomocí strojů s vhodnými pneumatikami, jinak by jejich použití neplnilo daný cíl, jakým je právě prevence před utužením.

V intenzivním zemědělství, které klade vysoké nároky na zemědělskou půdu by mělo být samozřejmostí používání organických hnojiv v pravidelných intervalech pro udržení úrodnosti zemědělských pozemků. Organická hnojiva jsou nepostradatelná, neboť se díky nim do půdy vrací živiny, které z ní byly odčerpány.

Z fyzikálního hlediska zlepšují strukturu půdy, neboť ji provzdušňují a zmenšují její objemovou kapacitu, zlepšují zasakování vody za dešťů a zadržují vodu v obdobích sucha. Dále se se zlepší její prohřívání a nakonec i její zpracovatelnost zemědělskou technikou. K biologickému oživení dojde díky stimulaci mikroorganismů humusovými látkami. Po chemické stránce se zlepší uvolňování a dostupnost živin pro rostliny. (Lhotský et al. 1994)

Při pravidelném používání organických hnojiv se dá velmi dobře předejít utužování půd, jelikož se půdní struktura stane dostatečně odolnou proti útláčné síle strojů.

## **9. Penetrometrická zkouška**

Zjišťování míry utužení půdy se v terénu nejčastěji provádí pomocí penetrometru. Penetrometr je přenosný přístroj jehož funkce spočívá v zapíchnutí ocelového hrotu do námi požadované hloubky, přičemž nás zajímá tlak a odpor, jaký půda vytváří proti pronikání hrotu. (Lhotský et al. 1984)

Penetrometr se dá použít na všech typech půd, pouze s omezením na půdách kamenitých, rašelinovitých a silně zavodněných. (Lhotský et al. 1984) Na takových půdách hrozí neprůkaznost výsledků.

K přesnějším výsledkům je zapotřebí více vpichů jak na jednom místě, tak i v rámci pozemku. Naměřené hodnoty jsou velmi variabilní, proto čím více údajů získáme, tím přesnější výsledky dostaneme. (Duiker 2002)

K měření hodnot utužení na povrchu půdy jsou uzpůsobeny malé kapesní penetrometry, jejichž hrot se zapichuje do hloubky nejčastěji 5 mm dle vyznačené rýsky. K měření utužení v hloubkách i okolo jednoho metru slouží velké přenosné penetrometry se silnou ocelovou tyčí o požadované délce.

V tabulce 9. jsou uvedeny mezní hodnoty penetrometrického odporu půdy v Mpa

Kritická vlastnost	Půdní druh					
	J	JV,JH	H	PH	HP	P
Penetrometrický odpor v MPa X)	2,8-3,2	3,2-3,7	3,7-4,2	4,5-5,0	5,5	6,0
Při vlhkosti v % hm.	28-24	24-20	18-16	13-15	12	10

X) Leží-li vlhkost mimo interval uvedený v řádku, pak se za každé hmotné procento vlhkosti buď přičte k udané hodnotě kritického odporu 0,25 MPa (při nižší vlhkosti), nebo se od hodnoty kritického odporu odečte 0,25 MPa (při vyšší vlhkosti)

Tabulka 9. Hodnoty penetrometrického odporu v Mpa (Lhotský et al. 1984)

## 10. Vlastní měření

### 10.1 Charakteristika pozemku

Vybraný pozemek leží na jih od obce Močovice, v její těsné blízkosti. Obec se nachází ve Středočeském kraji, 3 km od města Čáslav. Rozloha pozemku: 68 100 m<sup>2</sup> Do roku 2006 pozemek patřil k ZDV Krchleby, a.s., byl součástí přilehlého pozemku patřícího zmiňovanému družstvu. V daném roce byl ale vyčleněn a jeho správa se převedla na soukromého zemědělce. V dnešní době se na pozemku střídají pouze dvě plodiny, jsou to pšenice ozimá a řepka olejka. Na pozemku se nepoužívá žádné organické hnojení.

Na daném pozemku se nachází dvě bonitované půdně ekologické jednotky. BPEJ 3.10.10 a BPEJ 3.10.00

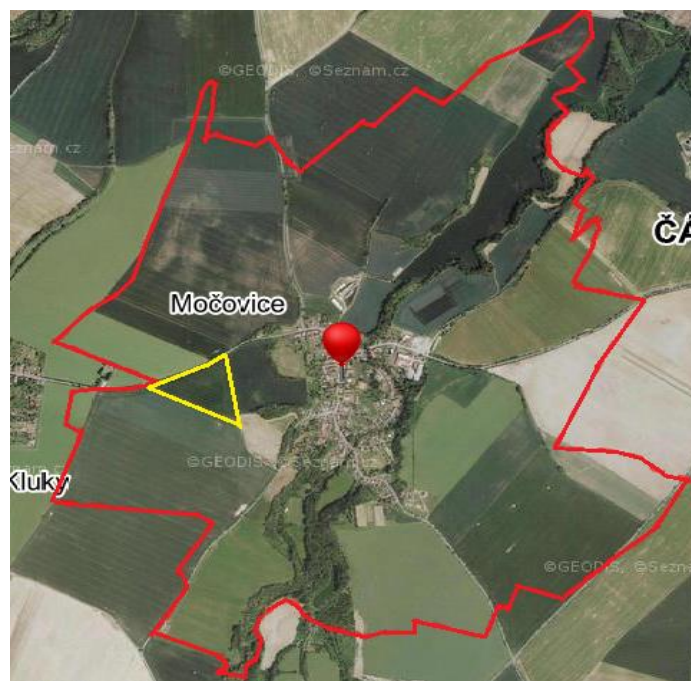
Na obrázku 2. je zobrazena mapa České republiky s vyznačením lokace katastrálního území obce Močovice.



Obrázek 2. Mapa České republiky s označením lokace katastrálního území obce Močovice

Na obrázku 3. je zobrazeno katastrální území obce Močovice, jehož hranice jsou zakresleny červenou čarou a dále je zde zobrazen i měřený pozemek, jehož hranice jsou zakresleny žlutou čarou.





- Hranice měřeného pozemku
- Hranice katastrálního území obce Močovice

Obrázek 3. Mapa s vyznačeným katastrálním územím a měřeným pozemkem

### 10.1.1 BPEJ 3.10.00

BPEJ 3.10.00 spadá do první zóny ochrany zemědělského půdního fondu. Průměrná cena za m<sup>2</sup> je 17.92 Kč. k 1.1.2014. Cena je stanovena dle vyhlášky 441/2013 Sb. Hloubka ornice je středně hluboká až hluboká. Zrnitost je hlinitá až jílovitohlinitá. Pórovitost 46 až 51 % obj. Náchylnost k utužení střední až výrazná.

### 10.1.2 BPEJ 3.10.10

BPEJ 3.10.10 spadá do druhé zóny ochrany zemědělského půdního fondu. Průměrná cena za m<sup>2</sup> je 16.52 Kč. k 1.1.2014. Hloubka ornice je středně hluboká až hluboká. Zrnitost je hlinitá až jílovitohlinitá. Pórovitost 46 až 51 % obj. Náchylnost k utužení střední až výrazná.

## 10.2 Cíl pokusného měření

Cílem polního měření je pomocí kapesního penetrometru získat hodnoty povrchového utužení půdy v kPa. Následně se naměřené hodnoty přenesou do

tabulek, které se zpracují pomocí přehledných grafů. Výsledkem je grafické porovnání utužení mezi vlastními kolejovými brázdami a zbylé neuježděné plochy na celé výměře zvoleného pozemku.

### 10.3 Průběh měření

Měření proběhlo 23.3.2015. Použit byl kapesní penetrometr se stupnicí od 0 do 500 kPa.

Na obrázku 4. je ukázka použitého penetrometru.

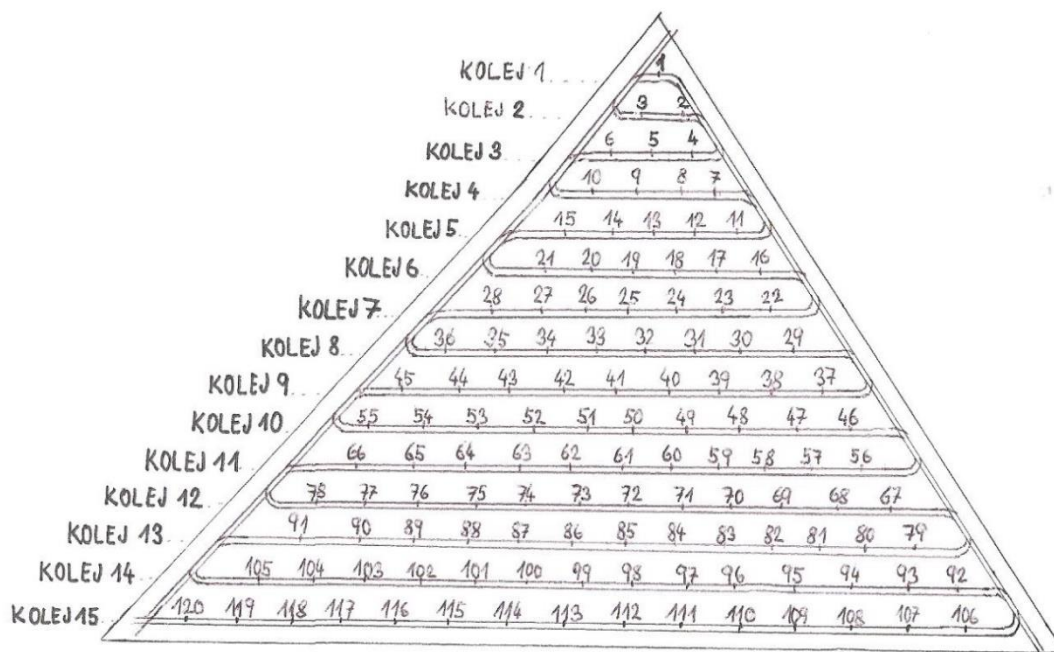


Obrázek 4. Kapesní penetrometr

K pohybu po pozemku jsem využila kolejové brázdy. Měření jsem začínala vždy na východní straně brázdy a pokračovala na západ. K měření utužení jsem použila pouze severní kolej, kterou jsem rozdělila na měrná stanoviště. Každé měrné stanoviště je označeno číslem od jedné do sto dvaceti. Na každém měrném stanovišti byly průměrem změřeny tři hodnoty, které jsou v tabulkách označeny písmeny a, b, c. Měrné stanoviště a je prostor mezi koly zemědělského stroje. Měrné stanoviště b je samotná kolej vytvořená od kola stroje. Měrné stanoviště c je široká část pozemku, přes kterou stroj nejezdí. Počet měrných stanovišť vychází z trojúhelníkového tvaru pozemku, kdy jsem se rozhodla na první koleji pro jedno měrné stanoviště, na druhé koleji pro dvě měrná stanoviště, a takto jsem postupovala až k patnácté koleji

s patnácti měrnými stanovišti. Samotné měření jsem nikdy neprováděla blízko kraje pozemku.

Na obrázku 5 je zobrazen náčrt měřeného pozemku. Na pozemku jsou zakresleny jednotlivé koleje označené čísly od jedné do patnácti. Na každé koleji jsou zakreslena měrná stanoviště označena čísly od jedné do sto dvaceti.



Obrázek 5. Náčrt měřeného pozemku

## 10.4 Výsledná data

Všechny nasbírané hodnoty jsou zaneseny v patnácti tabulkách rozdělených podle kolejí. U každé tabulky je umístěn graf, ve kterém jsou hodnoty zpracovány. Každá kolej je doplněna stručným slovním popisem.

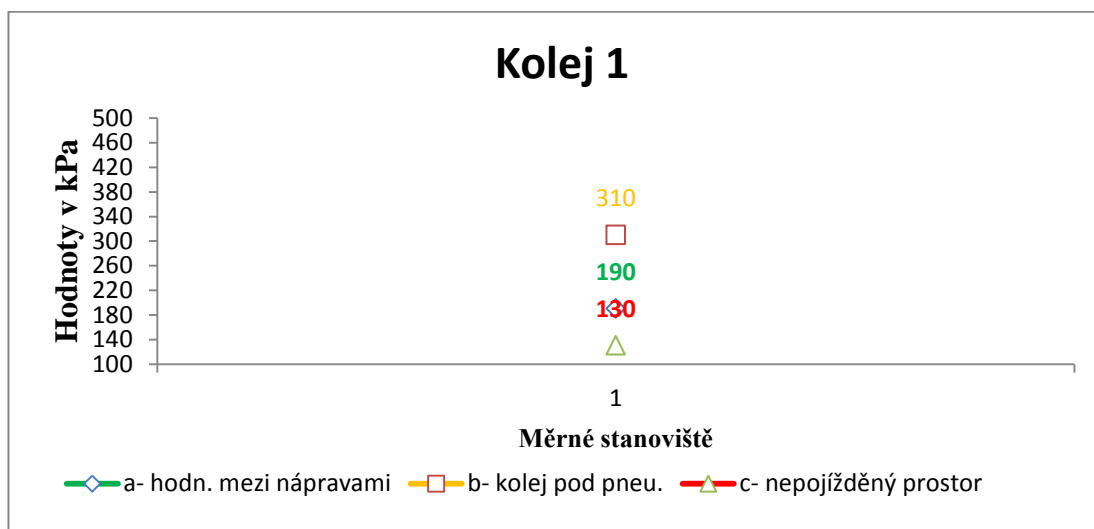
## Kolej 1

Délka první koleje: 26 m

Zde jsem provedla pouze jedno měření přímo uprostřed koleje. Zde zatím výrazný rozdíl mezi měrnými body nebyl. Tato část pozemku se zároveň vyznačovala sypkou strukturou půdy.

Měrné body	Měrná stanoviště
	1
<i>a</i>	190
<i>b</i>	310
<i>c</i>	130

Tabulka 10. Hodnoty z měření koleje 1 v kPa



Obrázek 6. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 1

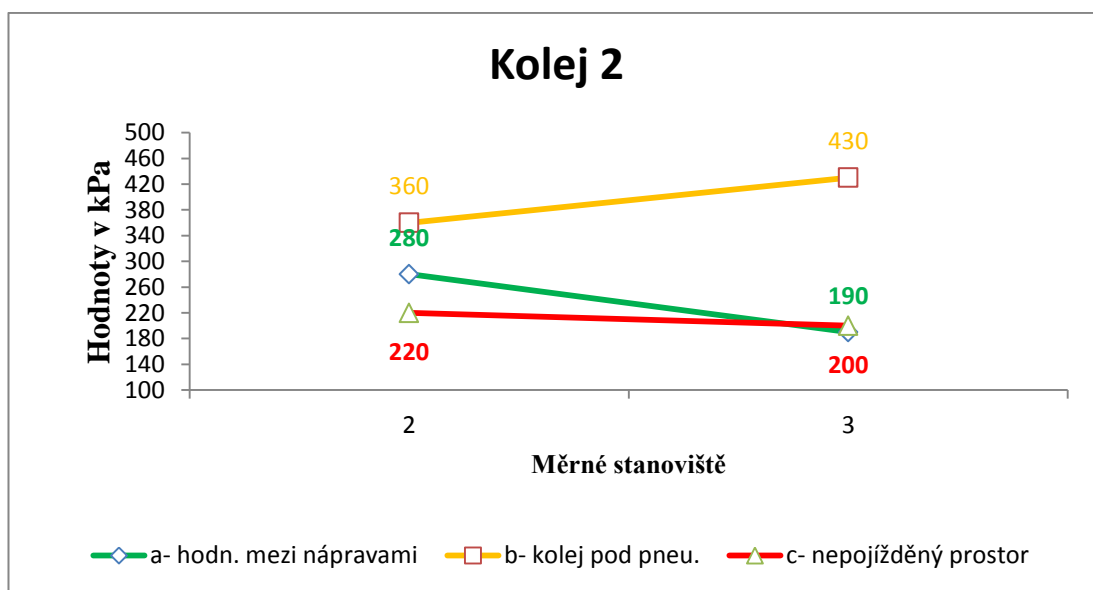
## Kolej 2

Délka druhé koleje: 50 m

Druhou kolej jsem rozdělila po šestnácti metrech a provedla na ní dvě měření. Měrné stanoviště 2 v bodě b vykazuje hodnotu odporu nižší než 400 kPa stejně jako v měrném stanovišti 1. Na měrném stanovišti 3 už hodnota odporu překročila 400 kPa a projevil se rozdíl mezi utužením vlastní koleje a neuježděné plochy.

Měrné body	Měrná stanoviště	
	2	3
<i>a</i>	280	190
<i>b</i>	360	430
<i>c</i>	220	200

Tabulka 11. Hodnoty z měření koleje 2 v kPa



Obrázek 7. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 2

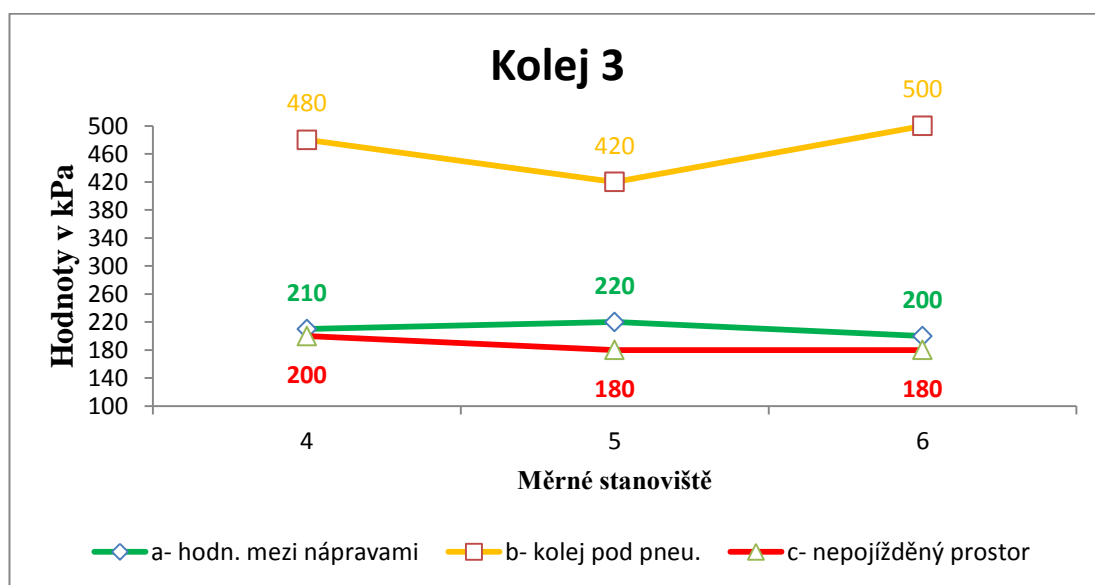
## Kolej 3

Délka třetí koleje: 69 m

Kolej je rozdělena po sedmnácti metrech. Zde nejsou přítomny žádné výrazné výkyvy. Odpor u měrných bodů a. a c. se pohybuje shodně okolo 200 kPa, u měrného bodu b. vzrostl na 420 až 500 kPa.

Měrné body	Měrná stanoviště		
	4	5	6
<i>a</i>	210	220	200
<i>b</i>	480	420	500
<i>c</i>	200	180	180

Tabulka 12. Hodnoty měření koleje 3 v kPa



Obrázek 8. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 3

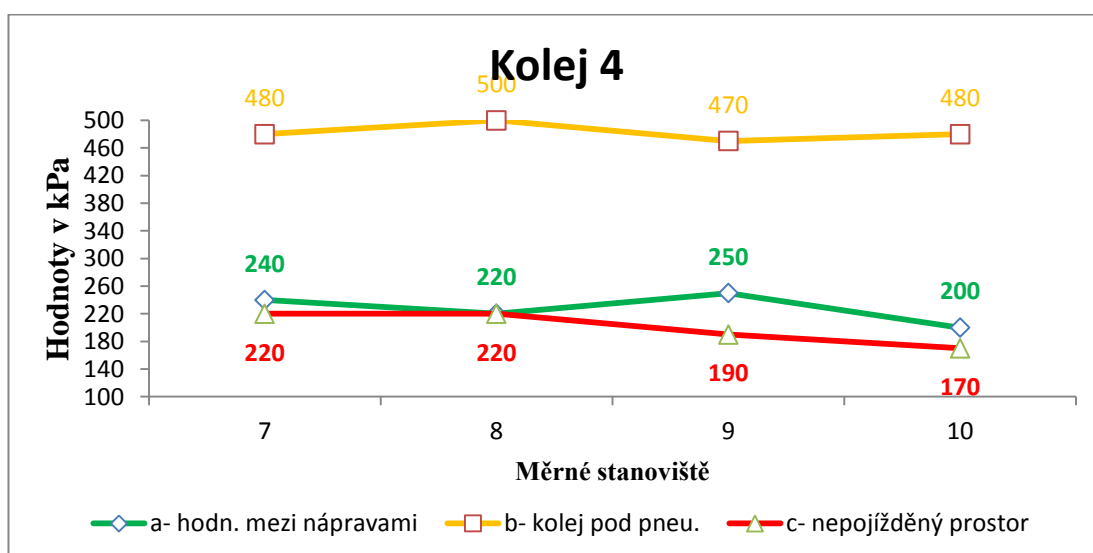
## Kolej 4

Délka čtvrté koleje: 91 m

Kolej je rozdělena po osmnácti metrech. Zde je vidět mírně klesavý trend u měrných bodů a. a c. kdy se konkrétně měrný bod c dostal pod 200 kPa.

Měrné body	Měrná stanoviště			
	7	8	9	10
<i>a</i>	240	220	250	200
<i>b</i>	480	500	470	480
<i>c</i>	220	220	190	170

Tabulka 13. Hodnoty měření koleje 4 v kPa



Obrázek 9. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 4

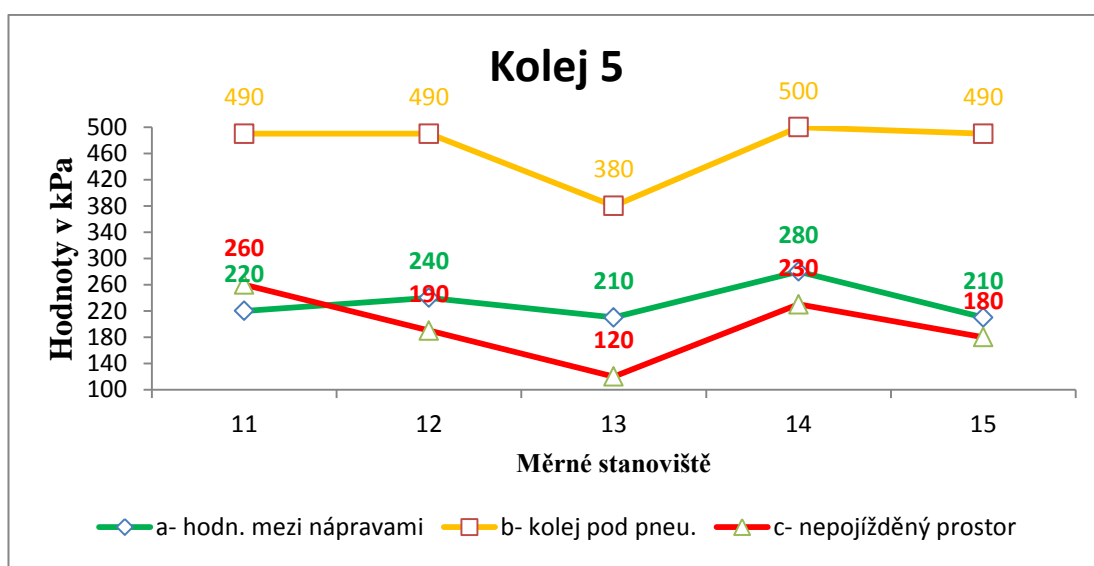
## Kolej 5

Délka páté koleje: 117 m

Kolej je rozdělena po devatenácti metrech. U páté koleje si můžeme všimnout výrazného propadu hodnot na třináctém měrném stanovišti u všech třech měrných bodů. Znatelná změna je hlavně v bodě b, tedy v koleji pod pneumatikou, kdy se odpor dostal pod 400 kPa.

Měrné body	Měrná stanoviště				
	11	12	13	14	15
<i>a</i>	220	240	210	280	210
<i>b</i>	490	490	380	500	490
<i>c</i>	260	190	120	230	180

Tabulka 14. Hodnoty měření koleje 5 v kPa



Obrázek 10. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 5



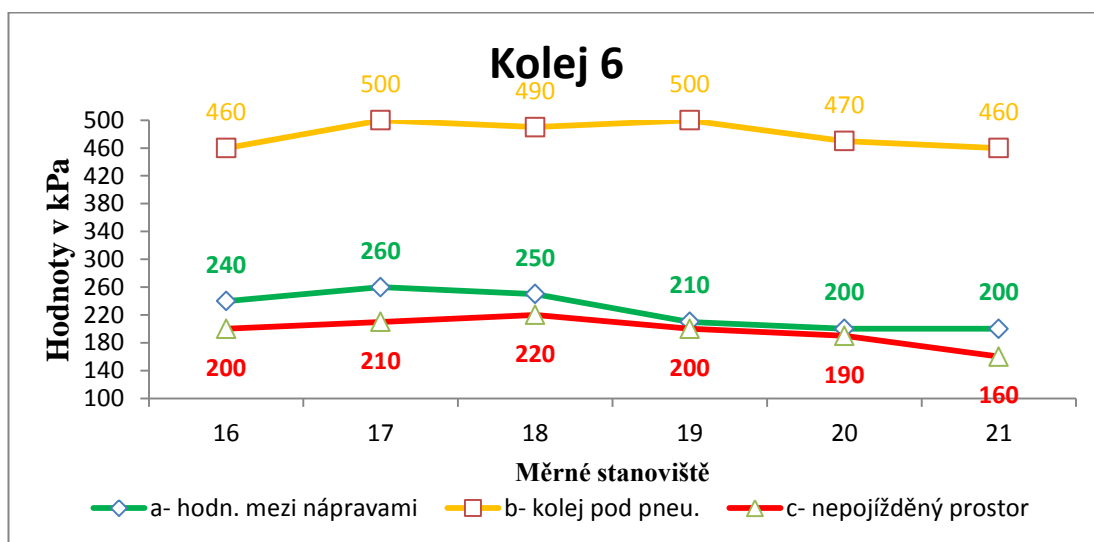
## Kolej 6

Délka šesté koleje: 142 m

Kolej je rozdělena po dvaceti metrech. Na koleji 6 nejsou znát žádné výrazné změny, pouze mírný pokles odporu v západní části koleje.

Měrné body	Měrná stanoviště					
	16	17	18	19	20	21
<b>a</b>	240	260	250	210	200	200
<b>b</b>	460	500	490	500	470	460
<b>c</b>	200	210	220	200	190	160

Tabulka 15. Hodnoty měření koleje 6 v kPa



Obrázek 11. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 6

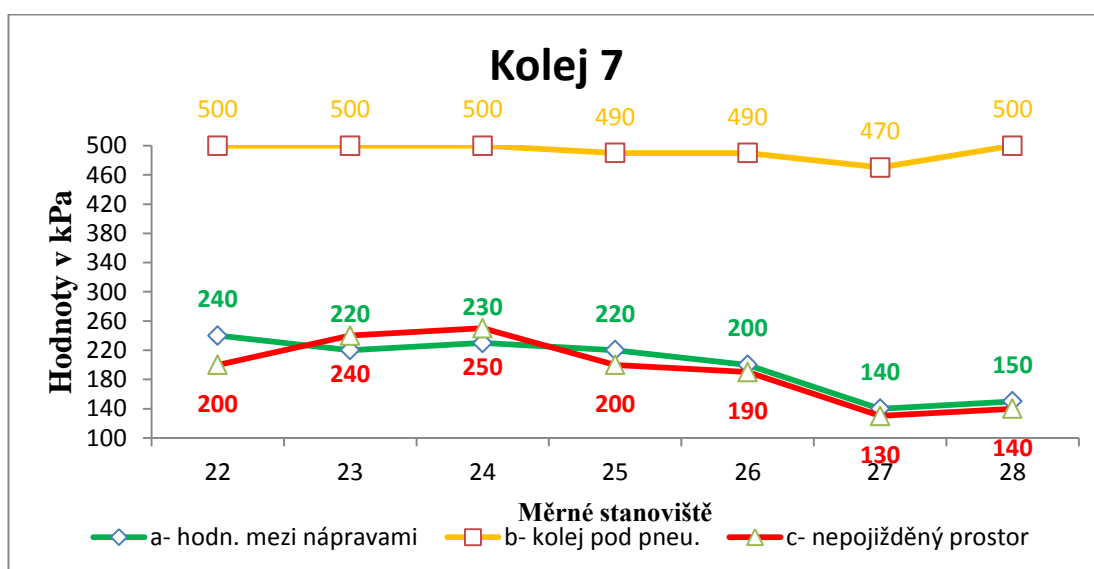
## Kolej 7

Délka sedmé koleje: 166 m

Kolej je rozdělena po dvaceti metrech. Na koleji sedm je výrazně znát snížení hodnot bodů a. a c. v západní části koleje.

Měrné body	Měrná stanoviště						
	22	23	24	25	26	27	28
<i>a</i>	240	220	230	220	200	140	150
<i>b</i>	500	500	500	490	490	470	500
<i>c</i>	200	240	250	200	190	130	140

Tabulka 16. Hodnoty měření koleje 7 v kPa



Obrázek 12. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 7

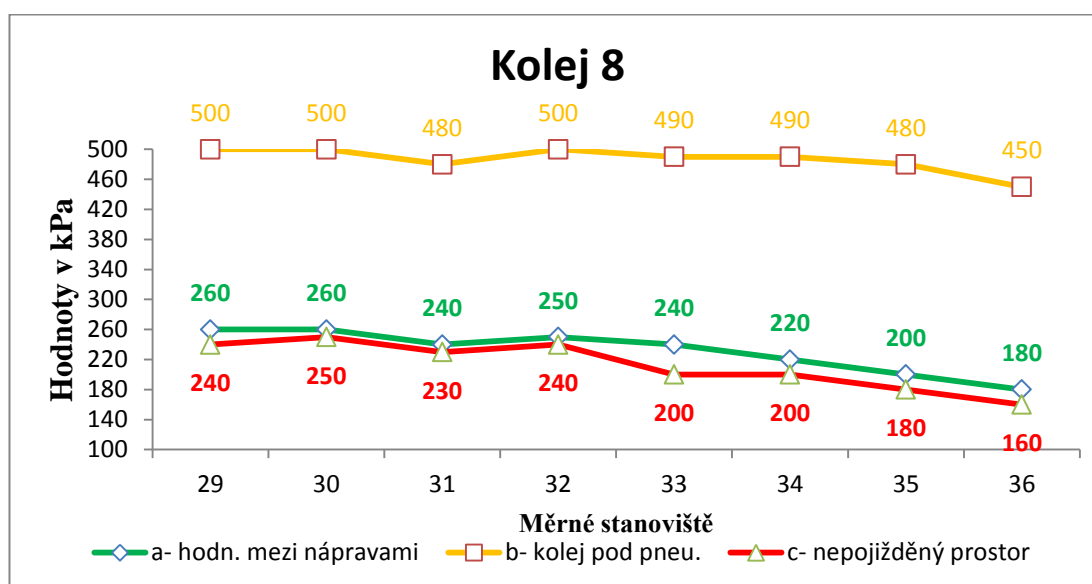
## Kolej 8

Délka osmé koleje: 194 m

Kolej je rozdělena po dvaceti jedna metrech. Na koleji osm pokračuje klesání hodnot v její západní části.

Měrné body	Měrná stanoviště							
	29	30	31	32	33	34	35	36
<i>a</i>	260	260	240	250	240	220	200	180
<i>b</i>	500	500	480	500	490	490	480	450
<i>c</i>	240	250	230	240	200	200	180	160

Tabulka 17. Hodnoty měření koleje 8 v kPa



Obrázek 13. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 8

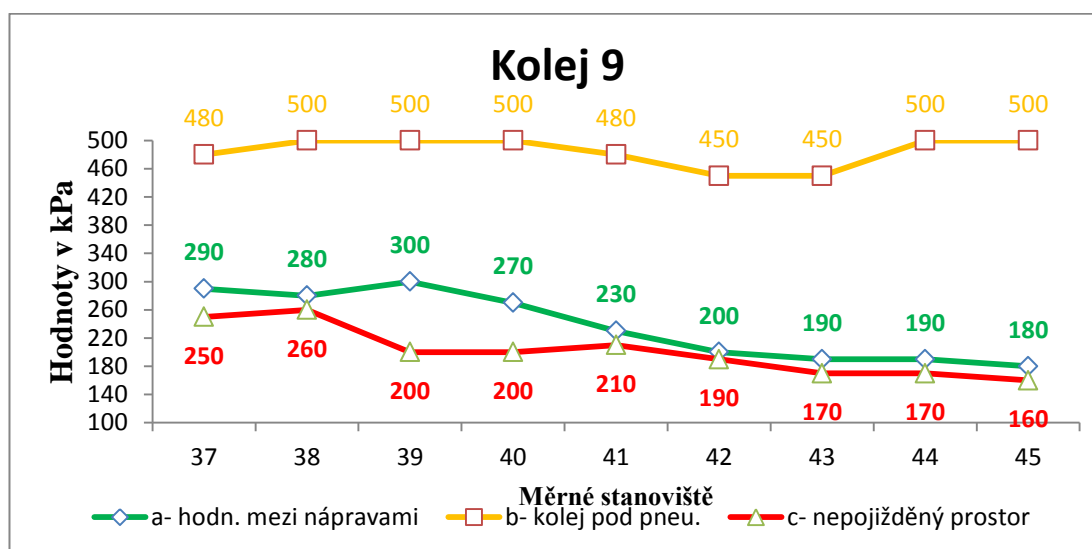
## Kolej 9

Délka deváté koleje: 223 m

Kolej je rozdělena po dvaceti dvou metrech. Na koleji devět je zajímavý rozdíl mezi měrnými body a. a c. Nejnápadnější je to na měrném stanovišti 39, kde rozdíl činí celých 100 kPa.

Měrné body	Měrná stanoviště								
	37	38	39	40	41	42	43	44	45
<b>a</b>	290	280	300	270	230	200	190	190	180
<b>b</b>	480	500	500	500	480	450	450	500	500
<b>c</b>	250	260	200	200	210	190	170	170	160

Tabulka 18. Hodnoty měření koleje 9 v kPa



Obrázek 14. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 9

## Kolej 10

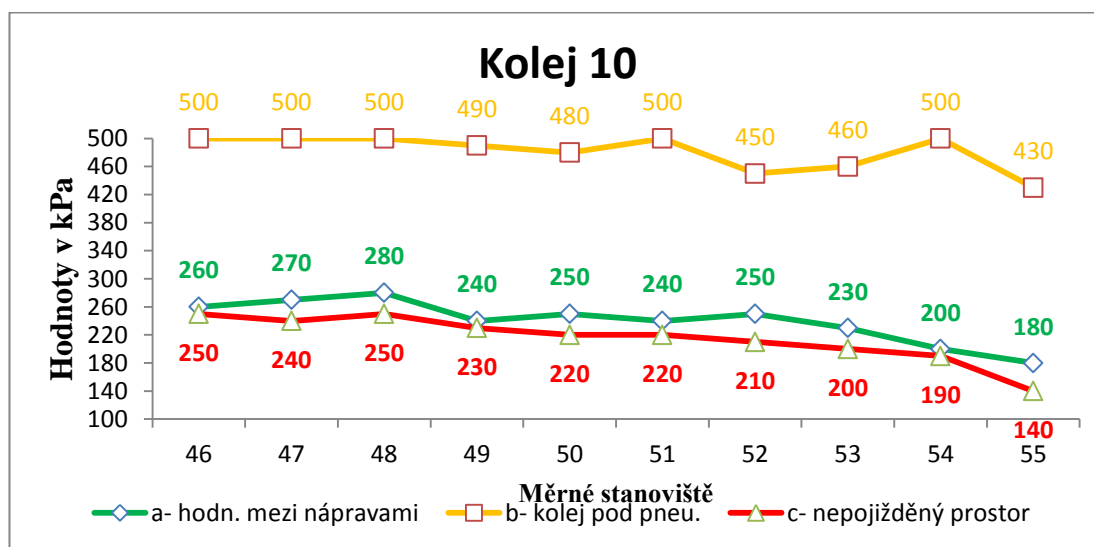
Délka desáté koleje: 247 m

Kolej je rozdělena po dvaceti dvou metrech. I zde platí pozvolné klesání hodnot.

V posledním měrném stanovišti v měrném bodě c. se odpor dostal pod 150 kPa.

Měrné body	Měrná stanoviště									
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
<b>a</b>	260	270	280	240	250	240	250	230	200	180
<b>b</b>	500	500	500	490	480	500	450	460	500	430
<b>c</b>	250	240	250	230	220	220	210	200	190	140

Tabulka 19. Hodnoty měření koleje 10 v kPa



Obrázek 15. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 10

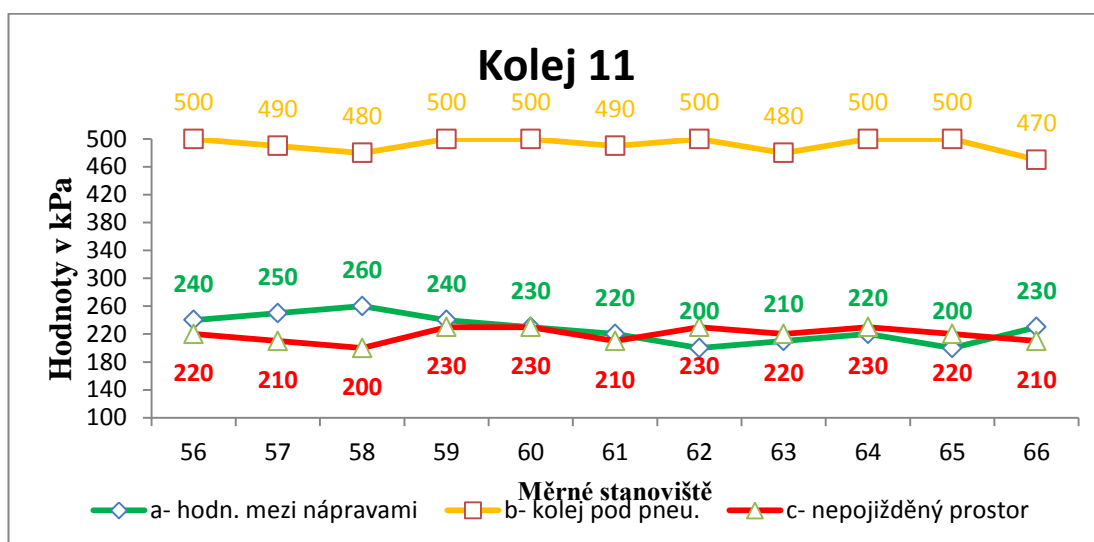
## Kolej 11

Délka jedenácté koleje: 275 m

Kolej je rozdělena po dvaceti třech metrech. V průběhu celého měření se jednalo o nejvyrovnanější kolej. Její hodnoty si byly v celé délce velmi podobné a nedošlo k žádnému výraznému vychýlení.

Měrné body	Měrná stanoviště											
	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
<b>a</b>	240	250	260	240	230	220	200	210	220	200	230	
<b>b</b>	500	490	480	500	500	490	500	480	500	500	470	
<b>c</b>	220	210	200	230	230	210	230	220	230	220	210	

Tabulka 20. Hodnoty měření koleje 11 v kPa



Obrázek 16. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 11

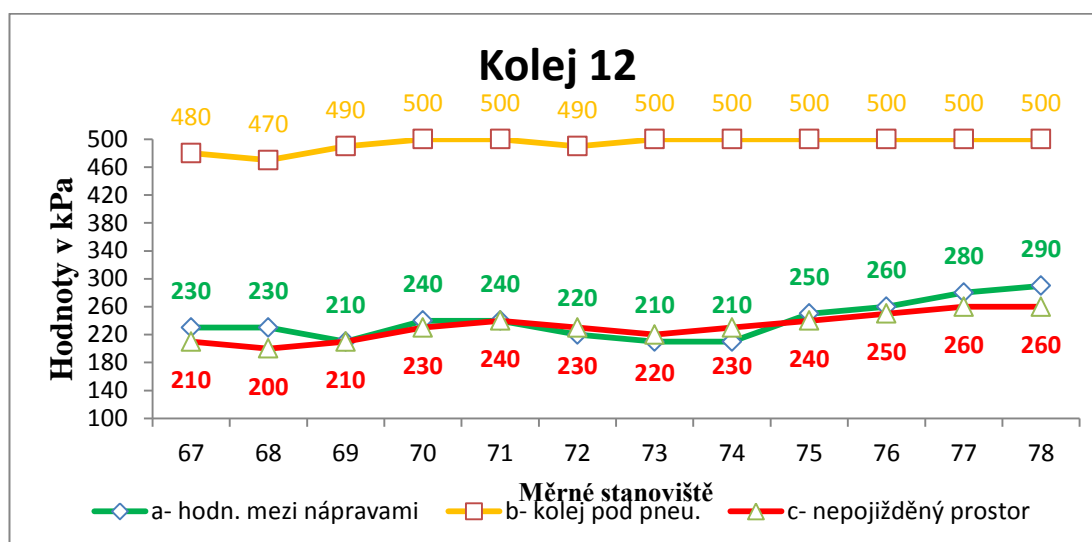
## Kolej 12

Délka dvanácté koleje: 300 m

Kolej je rozdělena po dvaceti třech metrech. Od dvanácté koleje je znát nárůst penetrického odporu v západní části pozemku. Zde konkrétně začaly hodnoty narůstat od měrného stanoviště 75.

Měrné body	Měrná stanoviště											
	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
<i>a</i>	230	230	210	240	240	220	210	210	250	260	280	290
<i>b</i>	480	470	490	500	500	490	500	500	500	500	500	500
<i>c</i>	210	200	210	230	240	230	220	230	240	250	260	260

Tabulka 21. Hodnoty měření koleje 12 v kPa



Obrázek 17. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 12

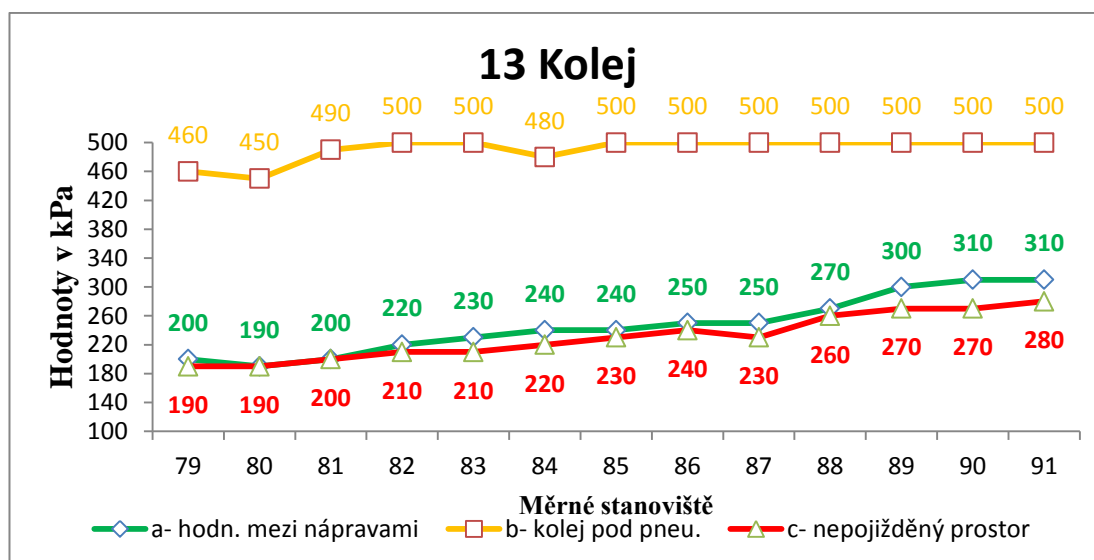
## Kolej 13

Délka třinácté koleje: 330 m

Kolej je rozdělena po dvaceti třech metrech. Zde vidíme výrazný nárůst hodnot v celé délce koleje. Rozdíl mezi východní a západní stranou koleje v měrných bodech a. a c. je 100 kPa. Hodnoty měrného bodu b. na měrných stanovištích 85 až 91 dosahovaly 500 kPa i více. Stupnice penetrometru nebyla dostačující.

Měrné body	Měrná stanoviště												
	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
<b>a</b>	200	190	200	220	230	240	240	250	250	270	300	310	310
<b>b</b>	460	450	490	500	500	480	500	500	500	500	500	500	500
<b>c</b>	190	190	200	210	210	220	230	240	230	260	270	270	280

Tabulka 22. Hodnoty měření koleje 13 v kPa



Obrázek 18. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 13



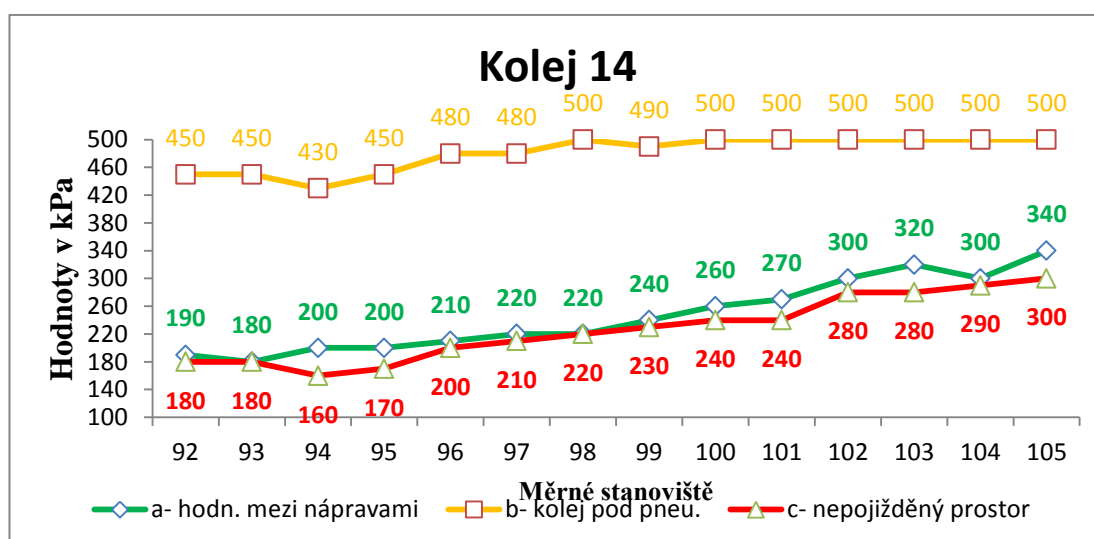
## Kolej 14

Délka čtrnácté koleje: 355 m

Kolej je rozdělena po dvaceti třech metrech. Na koleji 14 jsou hodnoty odporu v západní části ještě vyšší, než na předchozí koleji. Opět platí, že v měrných bodech b. od měrného stanoviště 100 až po měrné stanoviště 105 nebyla dostačující stupnice penetrometru pro změření utužení.

Měrné body	Měrná stanoviště													
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
<b>a</b>	190	180	200	200	210	220	220	240	260	270	300	320	300	340
<b>b</b>	450	450	430	450	480	480	500	490	500	500	500	500	500	500
<b>c</b>	180	180	160	170	200	210	220	230	240	240	280	280	290	300

Tabulka 23. Hodnoty měření koleje 14 v kPa



Obrázek 19. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 14

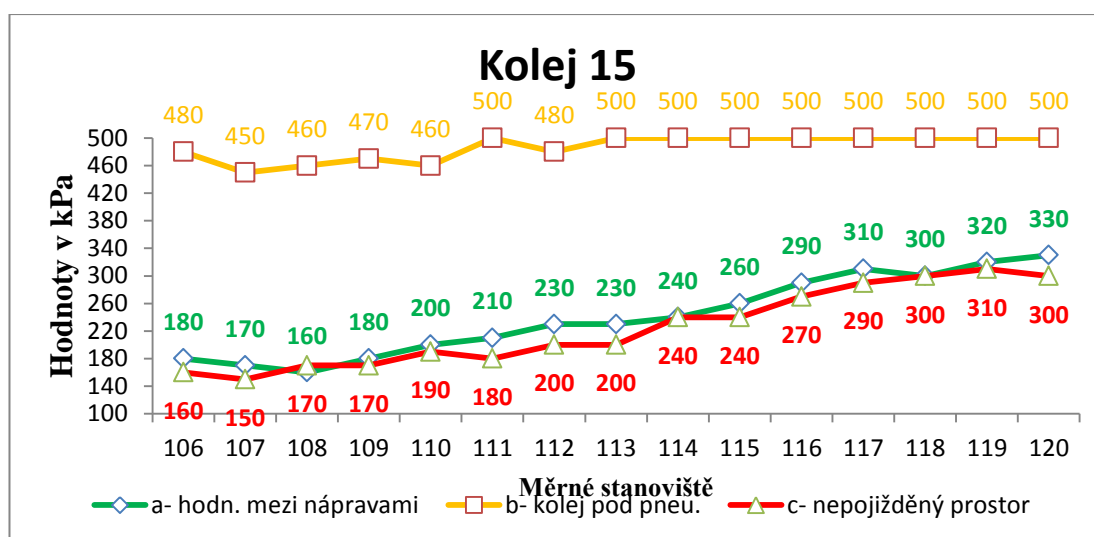
## Kolej 15

Délka patnácté koleje: 387 m

Kolej je rozdělena po dvaceti čtyřech metrech. V měrných bodech a, b a c je od měrného stanoviště 116 vidět výrazný nárůst utužení okolo 300 kPa.

Měrné body	Měrná stanoviště														
	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
<b>a</b>	180	170	160	180	200	210	230	230	240	260	290	310	300	320	330
<b>b</b>	480	450	460	470	460	500	480	500	500	500	500	500	500	500	500
<b>c</b>	160	150	170	170	190	180	200	200	240	240	270	290	300	310	300

Tabulka 24. Hodnoty měření koleje 15 v kPa



Obrázek 20. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 15

## 10.5 Shrnutí výsledků

Z daných výsledků nelze popřít markantní rozdíly mezi vlastními kolejovými brázdami vytvořenými koly zemědělského stroje a zbytkem plochy pole. Zatímco hodnoty měrných bodů a. a c. se pohybovaly nejčastěji od 200 do 300 kPa, hodnoty v měrném bodě b přesahovaly i 500 kPa. Daná stupnice penetrometru nebyla dostačující.

Výraznější rozdíly v utužení povrchové vrstvy půdy jsou znát od koleje dvanáct po kolej patnáct. Zde se projevil rozdíl mezi východní a západní stranou kolejí. Východní strany se vyznačovaly měkčí ornici s nižším odporem a naopak západní strany těchto čtyř kolejí byly o poznání tvrdší, s na první pohled odlišnou, strukturou zeminy. Další znatelný rozdíl jsem zaznamenala na kolejích sedm až deset, kde byla naopak měkčí ornice na západní straně, namísto východní. Kolej jedenáct zde tvoří dělicí čáru mezi dvěma ložisky odlišného utužení. Celkově ale platilo, že měrné body a. a c. se ne jedné koleji pohybovaly po celou dobu ve stejných hodnotách.

## Diskuse

Základní informace o problémech spojených s utužováním půdy jsem věděla už ze střední školy, kde byla jedna hodina předmětu pěstování rostlin, věnována právě tomuto druhu degradace. Ale až po vypracování této bakalářské práce jsem si v plné míře uvědomila, jak závažný je to problém. Utužování půdy je proces, ve kterém jedna složka ovlivňuje druhou, díky čemuž se celá problematika dostává do uzavřeného kruhu, ze kterého se těžko uniká. Čím horší je jeden problém, tím závažnější je i ten další. Vzhledem k dnešní potřebě vysoké produkce zemědělských plodin, je v celé této věci důležitá především prevence před vznikem utužení, která zabraňuje vzniku následků spojených s poškozenou strukturou půdy. Dle mého by měl být každý zemědělec, podrobně seznámen s problémy vzniklými v důsledku špatných agrotechnických procesů a je jedno, zda se jedná o velké zemědělské družstvo nebo jen o malého soukromníka.

Praktické polní měření penetrometrem mi pomohlo uvědomit si, jak velký rozdíl v utužení může být mezi vlastní kolejovou stopou a zbytkem plochy. A že stejné rozdíly panují i v rámci plochy pozemku.

Z mého pohledu by bylo přínosem, kdyby byla penetrometrická zkouška prováděna každým zemědělcem, jako běžné informativní zhodnocení stavu jeho pozemků. Díky tomu by zemědělec mohl přizpůsobit své hospodaření a pohotověji reagovat na nastalé změny.

## Závěr

Utužení je fyzikální degradace půdy způsobená přílišným tlakem kol zemědělských strojů na povrch půdy. To má za následek vyvolání spousty změn v půdní struktuře. Z hlediska zemědělské výroby se tím negativně ovlivní úživnost půdy pro pěstování zemědělských plodin, což se následně promítne ve snížených výnosech a zároveň vlivem soudržnější zeminy se zvýší náklady díky zvýšené spotřebě pohonných hmot. Velkým nebezpečím je zhoršená schopnost půdy pojmout srážkovou vodu, která při odtékání z pozemku zintenzivňuje vodní erozi a navyšuje množství vody ve vodních korytech a nádržích.

Ve své práci popisuji jednotlivé změny vyvolané utužením půdy a jejich negativní dopady. Krátce se věnuji i předcházení vzniku utužení půdy. V praktické části je zpracováno polní měření povrchového utužení, provedené pomocí penetrometru. Naměřené výsledky jsou uvedeny v tabulkách, které jsem rozdělila podle jednotlivých kolejí. Hodnoty z tabulek jsem následně použila k vytvoření grafů, ve kterých je grafické znázornění rozdílů v utužení půdy.

Znalost dopadů vyvolaných utužením půdy by měla být základem informovanosti každého člověka hospodařícího na poli za pomoci těžké zemědělské techniky.

## Seznam použité literatury

### Tuzemské zdroje:

BUKOVSKÝ J., ČERMÁK P., FIALA P., HRUŠKA M., JELÍNEK L., JÍLEK P., KLEMENT V., KUČERA J., MEDONOS T., NĚMEC S., NOVÁK P., NOVOTNÝ I., PAPAJ V., PÍRKOVÁ I., POLÁKOVÁ Š., ŠTOLBOVÁ M., VÁCHA R., VÁLOVÁ M., VILHELM V., VOLRT V., VOPRAVIL J., VRABCOVÁ T., VRBOVÁ E., 2012: Situační výhledová zpráva půda. Ministerstvo zemědělství, Praha, 100s.

ČERVINKA J., POSPÍŠIL J., BADALÍKOVÁ B., 2011: Vliv způsobu zpracování půdy na její zhutnění. Mechanizace zemědělství, roč. 61, č Zvláštní vydání, 136-140.

HABERLE J., BLÁHA L., 1990: Kořenový systém zemědělských plodin – šlechtitelské a agrotechnické cíle. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha, 70s.

HONSOVÁ D., 2007: Teplota půdy, online: <http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=877>, cit. 15.2.2015

HŮLA J., 2001: Technogenní zhutňování půdy – nežádoucí jev. Online: <http://uroda.cz/technogenni-zhutnovani-pudy-nezadouci-jev/>, cit. 15.2.2015

HŮLA J., BADALÍKOVÁ B., KOVAŘÍČEK P., VLÁŠKOVÁ M., BARTLOVÁ J., 2011: Úprava fyzikálních vlastností půdy a retenční schopnosti půdy zapravením kompostů z odpadní biomasy. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha, 27s.

CHALOUPSKÝ R. et al., 2001: Vlivy rozdílného utužení půdy na výnosové parametry porostu. Online: <http://www.agris.cz/clanek/116894>, cit. 12.2.2015

JANEČEK M. et al., 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 180s.

JANEČEK M. et al., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 113s.

JAVŮREK M., VACH M., 2008: Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, 24s.

KOVAŘÍČEK P., HŮLA J., ABRHÁM Z., VLÁŠKOVÁ M., 2014: Systém hospodaření s cílem omezit nežádoucí zhutnění půdy a zvýšit propustnost půdy pro vodu. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha, 40s.

KŮST F., POTMĚŠILOVÁ J., 2014: Situační výhledová zpráva obiloviny, Ministerstvo zemědělství, Praha, 113s.

LHOTSKÝ J., VÁCHAL J., EHRLICH P., 1984: Soustava opatření k zúrodnění zhutněných půd. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha, 35s.

LHOTSKÝ J. et al., 1994: Kultivace a rekultivace půd. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, Praha, 198s.

PULKRÁBEK J., URBAN J., BEČKOVÁ L., VALENTA J., 2007: Řepa cukrová pěstitelský rádce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 64s.

STANĚK L., NOVÁK P., PROCHÁZKA P., JIRÁNKOVÁ K., 2011: Vyhodnocení ukazatelů stavu půdy v závislosti na zhutnění půdy přejezdy zemědělskou technikou. Mechanizace zemědělství, roč. 61, č Zvláštní vydání, 102-107.

TEKSL M. et al., 1999: Pěstování rostlin 1. Credit, Praha, 300s.

TUF H. I., 2013: Praktika z půdní zoologie, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 90s.

### **Zahraniční zdroje:**

DUIKER S., 2004: Avoiding Soil Compaction, College of Agricultural Sciences, <http://extension.psu.edu/plants/crops/soil-management/soil-compaction/avoiding-soil-compaction>, cit. 13.1.2015, a.

DUIKER S., 2004: Effects of Soil Compaction, College of Agricultural Sciences, <http://extension.psu.edu/plants/crops/soil-management/soil-compaction/effects-of-soil-compaction>, cit. 13.1.2015, b.

DUIKER S., 2002: Diagnosing Soil Compaction Using a Penetrometer (soil compaction tester), College of Agricultural Sciences,  
<http://extension.psu.edu/plants/crops/soil-management/soil-compaction/diagnosing-soil-compaction-using-a-penetrometer>, cit. 13.1.2015.



## Seznam tabulek:

- Tabulka 1. Dělení půd podle obsahu jílu v % dle Nováka a dle zpracovatelnosti; str. 13
- Tabulka 2. Dělení půdních typů dle KPP a MKS; str. 14
- Tabulka 3. Kritické hodnoty objemové hmotnosti v  $\text{g.cm}^{-3}$ ; str. 17
- Tabulka 4. Kritické hodnoty pórovitosti v % objemu.; str. 17
- Tabulka 5. Přípustné a rizikové hodnoty objemové hmotnosti půdy ( $\text{g.cm}^{-3}$ ); str. 25
- Tabulka 6. Výnos obilovin v t/ha; str. 26
- Tabulka 7. Snížení výnosů plodin v procentech; str. 26
- Tabulka 8. Hloubka orby v metrech; str. 27
- Tabulka 9. Hodnoty penetrometrického odporu v Mpa; str. 31
- Tabulka 10. Hodnoty z měření koleje 1 v kPa; str. 36
- Tabulka 11. Hodnoty z měření koleje 2 v kPa; str. 37
- Tabulka 12. Hodnoty z měření koleje 3 v kPa; str. 38
- Tabulka 13. Hodnoty z měření koleje 4 v kPa; str. 39
- Tabulka 14. Hodnoty z měření koleje 5 v kPa; str. 40
- Tabulka 15. Hodnoty z měření koleje 6 v kPa; str. 41
- Tabulka 16. Hodnoty z měření koleje 7 v kPa; str. 42
- Tabulka 17. Hodnoty z měření koleje 8 v kPa; str. 43
- Tabulka 18. Hodnoty z měření koleje 9 v kPa; str. 44
- Tabulka 19. Hodnoty z měření koleje 10 v kPa; str. 45
- Tabulka 20. Hodnoty z měření koleje 11 v kPa; str. 46
- Tabulka 21. Hodnoty z měření koleje 12 v kPa; str. 47
- Tabulka 22. Hodnoty z měření koleje 13 v kPa; str. 48
- Tabulka 23. Hodnoty z měření koleje 14 v kPa; str. 49
- Tabulka 24. Hodnoty z měření koleje 15 v kPa; str. 50

## **Seznam obrázků:**

Obrázek 1. Rozložení půdních pórů; str. 18

Obrázek 2. Mapa České republiky s označením lokace katastrálního území obce Močovice; str. 32

Obrázek 3. Mapa s vyznačeným katastrálním územím a měřeným pozemkem; str. 33

Obrázek 4. Kapesní penetrometr; str. 34

Obrázek 5. Náčrt měřeného pozemku; str. 35

Obrázek 6. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 1; str. 36

Obrázek 7. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 2; str. 37

Obrázek 8. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 3; str. 38

Obrázek 9. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 4; str. 39

Obrázek 10. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 5; str. 40

Obrázek 11. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 6; str. 41

Obrázek 12. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 7; str. 42

Obrázek 13. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 8; str. 43

Obrázek 14. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 9; str. 44

Obrázek 15. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 10; str. 45

Obrázek 16. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 11; str. 46

Obrázek 17. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 12; str. 47

Obrázek 18. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 13; str. 48

Obrázek 19. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 14; str. 49

Obrázek 20. Porovnání hodnot měrných bodů a, b, c v koleji 15; str. 50



