

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



Diplomová práce

Vliv technologie zpracování půdy na riziko vodní eroze

Bc. Jan Štěpánovský

© 2023 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Štěpánovský

Zemědělská technika

Název práce

Vliv technologie zpracování půdy na riziko vodní eroze

Název anglicky

Impact of soil tillage technologies on water erosion risk

Cíle práce

Cílem práce je hodnocení kvality práce vybrané skupiny strojů pro zpracování půdy s ohledem na zmírnění rizika vzniku vodní eroze a ovlivnění vlastností půdy.

Metodika

Práce bude obsahovat hodnocení technologií zpracování půdy využívající nepoháněné pracovní nástroje a jejich vliv na eliminaci vzniku vodní eroze. Experimentální měření proběhne na polním maloparcelovém pokusu.

Osnova práce:

1. Úvod
2. Současný stav zpracování půdy
3. Cíl práce
4. Metodika práce
5. Naměřené výsledky
6. Diskuse k výsledkům
7. Závěr

Doporučený rozsah práce

45 – 50 stran textu

Klíčová slova

radlička, kypření, eroze, minimalizace, mulč

Doporučené zdroje informací

HŮLA, J. – ABRHAM, Z. – BAUER, F. *Zpracování půdy*. Praha: Brázda, 1997. ISBN 80-209-0265-1.

HŮLA, J. – HŮLA, J. – PROCHÁZKOVÁ, B. *Minimalizace zpracování půdy*. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 978-80-86726-28-1.

HŮLA, J. – MAYER, V. *Technologické systémy a stroje pro zpracování půdy*. V Praze: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1999. ISBN 80-7105-187-.

HŮLA, J. – PROCHÁZKOVÁ, B. – KOVAŘÍČEK, P. *Minimalizační a půdoochranné technologie*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2004. ISBN 80-86884-01-5.

HŮLA, J. – ZELENÁ, L. *Technika v postupech ochranného zpracování půdy k širokořádkovým plodinám : (metodika)*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1995. ISBN 80-86153-70-3.

KUMHÁLA, F. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ. *Zemědělská technika : stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1701-7.

MAŠEK, J. *Technika v postupech úsporného zpracování půdy*. Praha: ČZU-TF, 2007.

PROCHÁZKA, P. – KUMHÁLA, F. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA. *Metody měření tahových sil moderních strojů na zpracování půdy : doktorská disertační práce*. Disertační práce. Praha: 2016.

1906

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2023

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv technologie zpracování půdy na riziko vodní eroze" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28.3.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou chtěl velice poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Maškovi, Ph.D. za čas, ochotu, vstřícnost a odborné rady při řešení a zpracování diplomové práce.

Vliv technologie zpracování půdy na riziko vodní eroze

Abstrakt

Účelem této práce je porovnání vybraných minimalizačních technologií zpracování půdy s konvenční technologií zpracování půdy s orbou se zaměřením na hodnocení rizika vzniku vodní eroze půdy. Součástí je i souhrn využití radličkových pracovních nástrojů v rámci zpracování půdy.

Hlavní část práce spočívá v polním pokusu čítajícího 5 variant, které se mezi sebou liší technologií zpracování půdy nebo zvolenou plodinou. Na těchto variantách byl hodnocen povrchový odtok a smyv zeminy způsobený dešťovými srážkami. Měřena byla i infiltrační schopnost půdy jednotlivých variant pomocí 3 různých metod.

Z naměřených výsledků je patrné snížení povrchového odtoku a smyvu zeminy v případě variant založených minimalizačními technologiemi zpracování půdy. Ty rovněž vykazovaly i lepší infiltrační schopnost půdy.

Klíčová slova: radlička, kypření, eroze, minimalizace, mulč, dešťové srážky, povrchový odtok

Impact of soil tillage technologies on water erosion risk

Abstract

The purpose of this work is to compare selected minimization technologies of tillage with conventional technologies of tillage with plowing, with a focus on evaluating the risk of soil water erosion. A summary of the use of tine tools in soil cultivation is also included.

The main part of the work consists of a field trial consisting of 5 variants, which differ from each other in type of tillage or the selected crop. Surface runoff and soil erosion caused by rainfall were evaluated on these variants. The soil infiltration capacity of individual variants was also measured using 3 different methods.

The measured results show a reduction in surface runoff and soil erosion in the case of variants based on minimization technologies of tillage. They also showed better infiltration capacity of the soil.

Keywords: tine, loosening, erosion, minimization, mulch, rainfall, surface runoff

Obsah

1. Úvod	1
2. Technologie zpracování půdy.....	2
2.1. Konvenční zpracování půdy	2
2.2. Minimalizační a půdoochranné zpracování půdy.....	4
2.2.1. Pásové zpracování půdy	5
2.2.2. Přímé setí	6
3. Radličkové pracovní nástroje	7
3.1. Využití radličkových pracovních nástrojů.....	8
3.1.1. Podmítače	8
3.1.2. Radličkové kypřiče	10
3.1.3. Hloubkové kypřiče	12
3.1.4. Předset'ové kombinátory.....	13
3.1.5. Secí stroje s radličkovými botkami	14
3.1.6. Meziřádkové kultivátory.....	16
3.2. Vliv konstrukce a rozmístění radliček na práci stroje	17
3.2.1. Tvar radliček.....	17
3.2.2. Konstrukce rámu stroje a rozmístění radliček	20
4. Vodní eroze půdy	22
4.1. Vznik a důsledky vodní eroze půdy	22
4.2. Omezení vodní eroze půdy	24
5. Cíl práce.....	26
6. Metodika práce	27
7. Výsledky měření.....	31
7.1. Výsledky měření půdních vlastností	31
7.2. Výsledky měření eroze půdy	32

7.3. Výsledky měření metodami SFH a Mini Disků	42
7.4. Výsledky infiltrace kontrastního roztoku	44
8. Diskuze	47
9. Závěr	49
10. Seznam zdrojů	50
11. Seznam obrázků.....	54
12. Seznam tabulek.....	55
13. Seznam grafů	56

1. Úvod

Počet obyvatel na planetě Zemi překročil v roce 2022 hranici 8 miliard a neustále se navyšuje. Tím je způsoben neustálý tlak na světové zemědělství v podobě rostoucí poptávky po potravinách a tlaku na nízké ceny produkce. Je tedy nutné klást důraz na rozvoj efektivity zemědělské prvovýroby a zamezení plýtvání zdrojů.

Základním produkčním prvkem v zemědělství je půda, která je nezbytná nejen pro rostlinou výrobu, ale rovněž pro fungování celého ekosystému. V současné době neexistuje způsob, kterým by mohla být z hlediska produkce potravin půda nahrazena v plném rozsahu. Problémem ale je, že dochází k neustálému úbytku úrodné půdy vlivem různých lidských činností. Počínaje výstavbou na orné půdě a konče nevhodným způsobem obhospodařování půdy, které je mnohdy umocněno přírodními podmínkami. Tvorba nové půdy je přitom velmi zdoluhavá. Uvádí se, že 1 cm půdy vzniká přibližně 100 let. Je tedy nutné půdu chránit všemi možnými prostředky.

Jedním z rizik ztráty úrodné půdy je vodní eroze, kdy dochází k narušení nechráněné půdy dešťovými srážkami a následným smyvem uvolněných částic, který způsobuje odtékající voda. Toto riziko se zvyšuje při nesprávném hospodaření jako je například nevhodně zvolená nebo špatně provedená technologie zpracování půdy, pěstování širokořádkových plodin na svažitéch pozemcích či ponechání půdy delší dobu bez vegetace. Proto je nutné implementovat různá protierozní opatření, která způsobí snížení rizika vzniku vodní eroze. Současně je nutné hledat nová řešení v podobě výzkumu a rozvoje nových technologií a způsobu hospodaření s půdou.

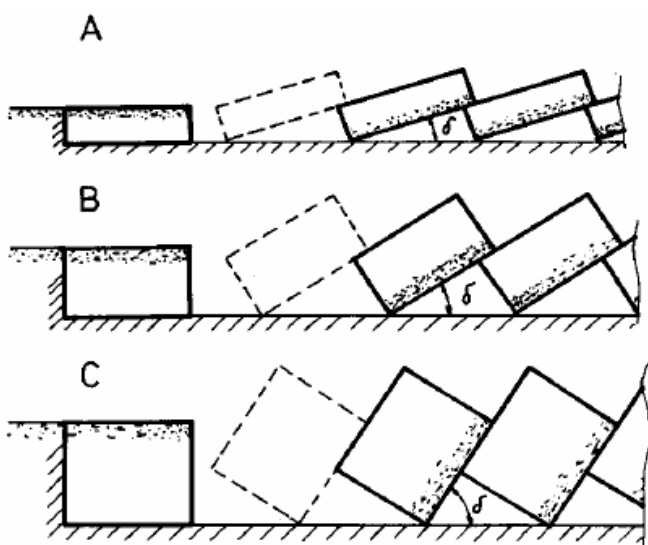
2. Technologie zpracování půdy

2.1. Konvenční zpracování půdy

Konvenční zpracování půdy je spojeno s každoročním zpracováním půdy, které se zakládá zejména na orbě (Křen, Neuder et al., 2015). Orba se provádí nejčastěji pomocí radličných pluhů. Radličné pluhu se skládají z jednotlivých těles, která se vždy skládají z čepele, odhrnovací desky a patky. Princip práce pluhu spočívá v odříznutí skývy obdélníkového profilu pomocí čepele každého orebního tělesa zvlášť. Vlivem pohybu a zakřivenému tvaru odhrnovací desky dochází k překlopení skývy na již zpracovanou půdu předchozí brázdy spolu s jejím rozdrobením. Patka orebního tělesa má za úkol opírat se o stěnu brázdy, čímž dochází k vyrovnání sil působících na radličný pluh a je tak docílena přímočarost pracovního pohybu.

U této technologie zpracování půdy je pro požadované překlopení nezbytné dodržovat orební poměr k . Ten lze vypočítat jako poměr šířky záběru orebního tělesa b a hloubky zpracování a . Jako minimální hodnota orebního poměru se udává 1,27. Pakliže je orební poměr menší než tato hodnota, skýva nebude dostatečně zaklopena a zůstane v labilní poloze (obr. 1 C), což způsobuje riziko, že skýva přepadne zpět do brázdy. Toto riziko však lze snížit implementací předradliček. Jako optimální hodnota orebního poměru se uvádí hodnota 1,43.

Obrázek 1 Poloha překlopených skýv v závislosti na hloubce zpracování



Zdroj: <http://kubota-aste.4fan.cz/index.php?a=agrotechnika/nastaveni-pluhu>

Mezi výhody orby řadí Hejdová (2011) universálnost práce na širokém spektru druhů půdy a půdních vlhkostí. V případě správného zaklopení posklizňových zbytků nedochází k jejich negativnímu vlivu na další pracovní operace a rovněž je snížena životaschopnost plevelů, chorob a škůdců, jež nejsou schopni se ve velké míře opět dostat na povrch. Docíleno je také rozrušení půdních agregátů a vnesení splavených živin. Tato technologie je rovněž vhodná pro zapravení organických hnojiv do půdy.

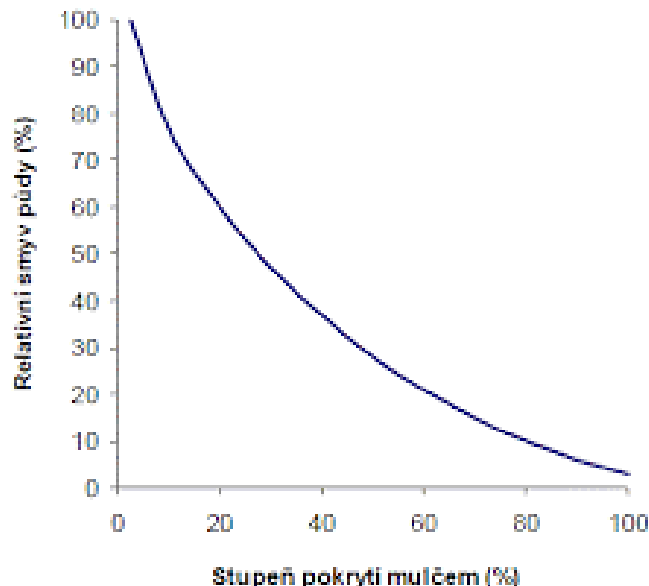
Mezi zásadní nevýhody orby lze zařadit její velkou energetickou náročnost, která se projevuje zejména ve vyšší spotřebě pohonných hmot. Problémem je rovněž malá plošná výkonnost, která může způsobovat nedodržení agrotechnických termínů. Jako negativní důsledek orební technologie lze uvést riziko vzniku zhutnělé vrstvy pod hloubkou zpracování půdy, která se označuje jako plužní dno. V důsledku orby může také docházet k vynášení kamenů či hlušiny na povrch, což se může negativně projevit při zakládání porostu. V případě nevhodných podmínek při provedení orby hrozí riziko ztráty půdní vláhy.

2.2. Minimalizační a půdoochranné zpracování půdy

Minimalizační a půdoochranné technologie se vyznačují sníženou intenzitou zpracování půdy bez využití orby (Halenka, 2015). V případě minimalizačních technologií je půda zpracována podmínkou a případně mělkým kypřením. Přitom je snížen počet přejezdů po pozemku, což vede k snížení spotřeby paliva a zhutňování půdy. Mezi další důvody pro uplatnění minimalizačních technologií je snadnější dodržování agrotechnických lhůt díky vysoké výkonnosti práce a lepší schopnost pracovat s půdní vláhou.

Půdoochranné technologie se vyznačují ponecháním rostlinných zbytků nebo mulče na povrchu půdy, která by měla být pokryta minimálně z 30 % celkové plochy pozemku. Cílem této technologie je ochrana půdy před vodní a větrnou erozí, díky snížení pohybu částic a zpomalení rychlosti odtoku vody, která se na pozemku i ve větší míře zadrží. To je také patrné z grafu 1, který znázorňuje pokles relativního smyvu půdy v závislosti na zvětšení pokryté plochy. V případě sucha chrání rostlinné zbytky povrch půdy před nadměrným vysycháním. Mezi nejčastěji využívané půdoochranné technologie se řadí například pásové zpracování půdy nebo technologie s přímým setím.

Graf 1 Závislost relativní ztráty půdy na pokrytí povrchu půdy mulčem



Zdroj: Hůla 2010; <http://www.vuzt.cz/publikace/2010/079.pdf>

2.2.1. Pásové zpracování půdy

Pásové zpracování půdy, jinak také označováno jako strip tillage, je technologie, která spočívá ve zpracování úzkých pásů mezi kterými zůstává nezpracovaná půda s posklizňovými zbytky na povrchu (Brant, Bečka et al., 2016). Uplatnění nalézá tato technologie zejména při pěstování širokořádkových plodin jako je například kukuřice, slunečnice nebo ozimé řepky. V závislosti na meziřádkové rozteči pěstované plodiny se může měnit i šířka zpracovaných pásů. Ta bývá zpravidla 0,15 až 0,4 m.

Stroje pro pásové zpracování půdy nejprve proříznou, nejčastěji pomocí disku. Následuje odstranění rostlinných zbytků. Poté je půda prokypřena radlicí, která může být doplněna aplikátorem kapalných nebo tuhých hnojiv. Dále je půda prokypřena pomocí disků, které současně slouží k zamezení rozptylu půdy na nezpracované pásy. Stroj je pak obvykle zakončen válcem sloužícím k urovnání povrchu a zpětnému utužení. Výsledný stav po provedení pásového zpracování lze vidět na obrázku 2.

Obrázek 2 Stroj pro pásové zpracování půdy Eco Tiller 600



Zdroj: <https://www.bvv.cz/techagro/grand-prix-techagro/2018/prihlasene-exponaty/30-eco-tiller-600-stroj-pro-pasove-zpracovani-pudy/>

Výhodou této technologie je snížení rizika vodní a větrné eroze spolu se zlepšením infiltrace vody. Ve zpracovaných řádcích jsou rovněž vytvořeny ideální podmínky pro růst rostliny a správný rozvoj jejího kořenového systému. V pozdějších fázích růstu rovněž kořeny rostlin využívají kapilárního vztlínání vody v nezpracovaných pásech. Oproti tomu jistou nevýhodou může být potřeba přesného navádění strojů při setí, které je nezbytné pro založení porostu do zpracovaných pásů. Rovněž hrozí zvýšené riziko výskytu chorob a škůdců v případě nadměrného opakování plodin.

2.2.2. Přímé setí

Technologie přímého setí, která se také označuje jako No-Till, spočívá v zakládání porostu do nezpracované půdy s velkým množstvím rostlinných částí na povrchu (Hejdová, 2011). Důležitým faktorem pro dosažení efektů plynoucích z technologie přímého setí je dostatečné pokrytí povrchu půdy. Halenka (2015) uvádí, že zdrojem rostlinného pokryvu půdy mohou být posklizňové zbytky předplodiny, meziplodina nebo mulč.

Secí stroje pro přímé setí (Obr. 3) jsou nejčastěji vybaveny kotoučovými secími botkami, ale běžně se lze setkat i se secími botkami radličkovými nebo dlátovými (Křen, Neuder et al., 2015). Na tyto stroje je kladen velký důraz zejména v kvalitě práce na suchých i vlhčích půdách. Nejzásadnější však je správné uložení semen i v případě velkého množství posklizňových zbytků na povrchu půdy, kdy může dojít k zatlačení těchto zbytků do míst uložení semen namísto jejich proříznutí, což může vést ke špatné klíčivosti semen.

Obrázek 3 Přímé setí strojem AUROCK 6000 R/RC značky KUHN



Zdroj: <https://mechanizaceweb.cz/prime-seti-budoucnost-v-ochrane-pudy/>

Cílem technologie přímého setí je zejména zabránit vodní a větrné erozi, stabilizovat půdní strukturu a zachovat kapilaritu (KWS Osiva s.r.o.). Vedlejšími výhodami je snížení rizika zhutnění půdy a zvýšení její únosnosti. Rovněž se sníží počet přejezdů po pozemku. Naopak nebezpečím je přežívání chorob a škůdců na pozemku. S tím také souvisí větší využití pesticidů, zvláště pak neselektivních herbicidů.

3. Radličkové pracovní nástroje

Radličkové pracovní nástroje díky své univerzálnosti a rozmanitosti konstrukčního řešení nabízejí široké spektrum uplatnění (Javorek, 2022). Konstrukce slupic se odvíjí zejména od požadované pracovní hloubky a půdních podmínek. Méně namáhané slupice lze použít pružný materiál bez jištění. Pro práci ve větších hloubkách nebo kamenitých půdách jsou slupice jištěny. Jištění je řešeno mechanicky, kde jsou využity střížné šrouby, listové nebo vinuté pružiny, či hydraulicky. Agregací radličkových nástrojů s doplňkovými pracovními nástroji lze docílit komplexního zpracování půdy.

Hůla, Procházková et al. (2008) ve své publikaci uvádějí, že klíčovými faktory pro dosažení nejlepších výsledků hospodaření s půdou jsou pracovní zásahy při optimálním půdním stavu. Závislý je na konkrétních půdních vlastnostech a aktuálním počasí. Takovýto stav půdy se během agrotechnického termínu pro vykonání požadované pracovní operace může nastat jen na krátkou dobu, která obvykle není delší než několik dnů. Včasným pracovním zásahem lze docílit vhodného nakládání s půdní vláhou., která je nezbytná pro správnou výživu a růst pěstovaných plodin. Je tedy nezbytné využívat stroje s velkou plošnou výkoností. A právě tuto nezbytnou vlastnost nabízejí radličkové pracovní nástroje, neboť s nimi lze dosáhnout pracovní rychlosti 10 km/h či více a současně je lze užít na strojích s velkým pracovním záběrem.

Mezi další výhody radličkových pracovních nástrojů patří urovnávání povrchu pozemku, čímž je usnadněno například zakládání porostu nebo jeho sklizeň (Kovaříček, Hůla et al., 2017). Oproti orebnímu zpracování dochází ke kvalitnějšímu a rovnoměrnějšímu promísení zeminy a rostlinných zbytků, které usnadňuje a urychluje rozkládání organické hmoty. Dalším plusem je malá náročnost na obsluhu stroje a problém nenastává ani v případech opětovného přejezdu již zpracovaných míst. Díky dobrému vnikání radličkových nástrojů do půdy jsou vhodné i pro zpracování utužených nebo přeschlých zemin a odolávají i pracím v kamenitých půdách. Oproti tomu mezi nevýhody lze zahrnout horší zapravení slámy v případě, že jí na pozemku po sklizni zůstalo nadměrné množství. Oproti orbě je pro účinnou likvidaci plevelů nutné teplé slunečné počasí, které způsobí zaschnutí nežádoucích rostlin nacházejících se na povrchu půdy či těsně pod ním. Plevelé rovněž nesmějí být přerostlé.

3.1. Využití radličkových pracovních nástrojů

3.1.1. Podmítače

Radličkové podmítače vynikají dobrou schopností zapravit posklizňové zbytky do půdy a současně odříznout nadzemní část rostoucích plevelů od jejich kořenového systému (Růžička, 2009). Běžná pracovní rychlost se pohybuje v rozmezí 8 až 12 km/h, některé stroje však umožňují práci až 15 km/h.

Radličky pro podmítku jsou vyráběny v různých tvarech a šířkách záběru, přičemž jejich odlišnosti se projeví na finálním stavu půdy po zpracování. Jednou z variant pro podmítku je šípová podřezávací radlička, která je uzpůsobena ke správnému proříznutí půdou a mělké zpracování v hloubce 6 až 8 cm.

Obecně se pro záměry podmítky uvažuje pracovní zásah do 15 cm. Volba pro konkrétní pozemek se odvíjí od půdních vlastností. Na těžších nebo sušších půdách se doporučuje hlubší podmítka. V případě lehčích či vlhčích půd je tomu naopak. Z hlediska této problematiky naskýtají radličkové podmítače výhodu v podobě snadnějšího zachování konstantní pracovní hloubky v porovnání s talířovými podmítači.

Radličkové podmítače jsou konstruovány v nesené nebo tažené formě. Nejčastěji jsou jednotlivé radličky rovnoměrně rozmístěny do 3 nebo 4 řad za sebou. Obvykle platí, že s větším počtem řad se zmenšuje rozteč mezi nimi a současně se navýší počet radliček, čímž je docíleno zvýšení intenzity zpracování, nebo se zvětší vzdálenost mezi radličkami ve stejné řadě, a tudíž se zlepší průchodnost půdou.

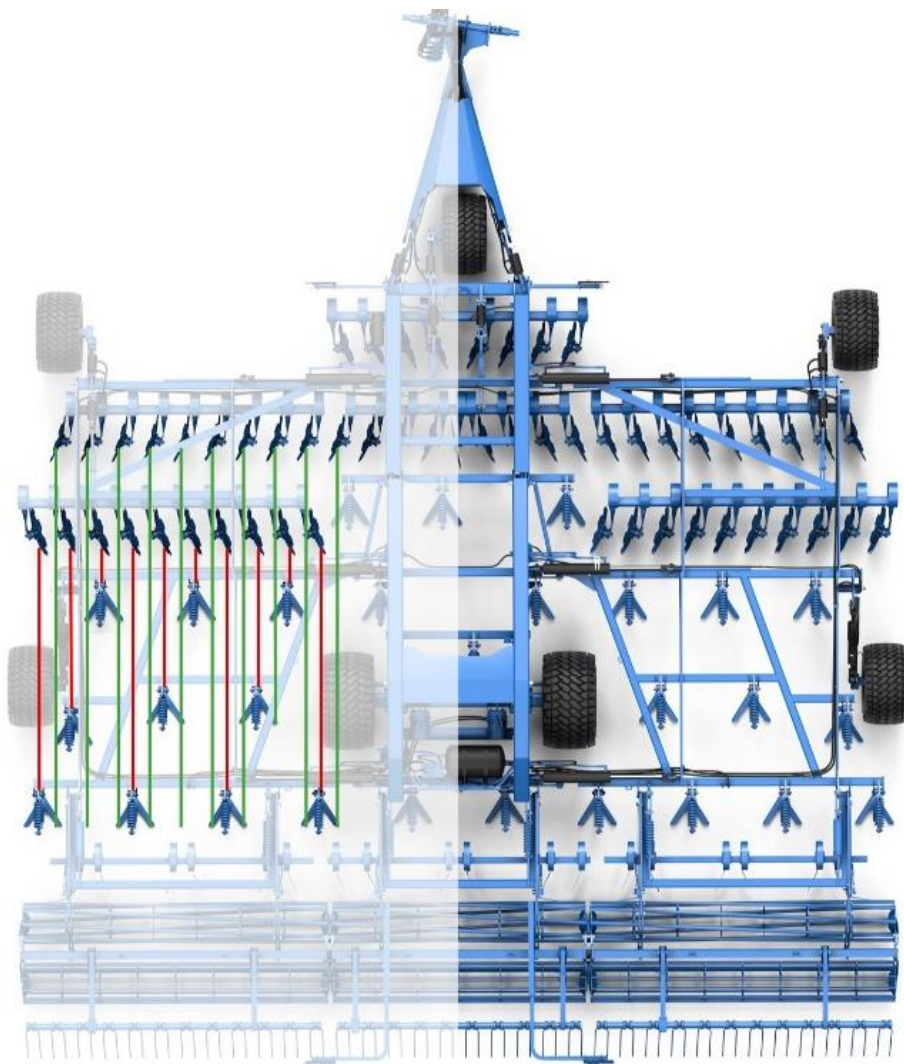
Radličkové pracovní nástroje jsou běžně využívány i u kombinovaných podmítačů, které využívají vícero odlišných pracovních prvků pro docílení optimálního zpracování půdy. Kombinované podmítače mohou být dále osazeny dlátovými a talířovými nástroji, různými druhy válců pro zpětné utužení a rozdrcení hrud či dalšími komponenty pro urovnání povrchu.

Příkladem kombinovaného podmítače je na obrázku 4 LEMKEN Koralin 9. Beneš (2022) ve svém článku uvádí, že tento stroj je schopen pracovat již od 3 cm hloubky a je tak vhodný pro ultramělké zpracování půdy. Tento fakt je umožněn díky radličkám DeltaCut s výrazně zploštělou konstrukcí.

Stroj se skládá ze 2 vůči sobě přesazených řad talířů následovaných 3 řadami DeltaCut radliček. Jak je znázorněno na obrázku 1 jsou talíře a radličky uspořádány tak, aby před každou radličkou byla půda již zpracována 3 talíři. Díky tomu je docílena lepší průchodnost radliček a současně sníženo jejich opotřebení až čtyřnásobně ve srovnání s klasickým radličkovým podmítačem. Po radličkách pak následují nivelátory, 2 řady prutových válců a prutové zavlačovače pro urovnání povrchu a zpětné utužení.

Součástí stroje je 6 opěrných kol, které slouží pro přesné nastavení pracovní hloubky pomocí hydraulického systému. Nastavit lze každou sekci zvlášť z pohodlí kabiny traktoru i během jízdy.

Obrázek 4 LEMKEN Koralin 9



Zdroj: <https://koralin.lemken.com>

3.1.2. Radličkové kypřiče

Hlavní odlišností radličkových kypřičů od podmítačů je možnost zpracování půdy do větší hloubky (Hůla, Procházková et al., 2008). Jsou vhodné jak pro podmínku, avšak minimální pracovní hloubka je zpravidla o několik cm větší než u podmítačů, pro středně hluboké prokypření, ale i pro intenzivní zpracování v hloubkách totožných jako při zpracování orbou. Na rozdíl od orby však nedochází k obrácení zpracovávaného půdního profilu, ale jen k jeho prokypření a promísení s rostlinnými zbytky. Takovýto pracovní zásah je vhodný například na pozemcích po kukuřici či řepce, protože tyto kypřiče zanechávají zanedbatelné množství zbytků rostlin, které by mohl způsobovat potíže při následných pracovních operacích.

Kovaříček, Hůla et al. (2017) pojednávají o rozdělení kypřičů dle způsobu práce na jednostupňové, kdy pracovní nástroje pracují ve stejné hloubce, a postupné vícešupňové. V případě postupných vícešupňových kypřičů je půda zpracována první řadou nástrojů na menší hloubku, za nimiž následuje další řada, která má za úkol prokypřit půdu hlouběji. Díky tomu je možné snížit počet nutných přejezdů pro dosažení požadované úrovně zpracování bez rizika nadměrného namáhání pracovních nástrojů.

Stejně jako podmítače jsou radličky rozmístěny do dvou a více řad, ale jsou obvykle z důvodu většího namáhání konstruovány robustněji. Rovněž jsou konstruovány jako nesené nebo tažené. Radličkové kypřiče také bývají doplněny o další komponenty.

Zařadit sem lze radličkový kypřič Köckerling Trio, který je na obrázku 5 zachycen při práci. Karásková (2022) v článku uvádí, že se jedná o univerzální stroj s robustní konstrukcí pracovních nástrojů, jejichž geometrie a uspořádání podmiňují nízké nároky na výkon traktoru. Radličky jsou na rámu se světloú výškou 85 cm rozmístěny do 3 řad s roztečí 90 cm v rámci řady a na každou vychází 30 cm pracovního záběru. V případě modelu Trio 300 na obrázku 2 se jedná o 10 radliček s celkovým záběrem 3 m.

Rozsah pracovní hloubky stroje je od 5 do 30 cm v závislosti na typu použitých radliček, kterých výrobce nabízí celou řadu a možná je i jejich výměna za dláta. Radličky jsou jištěny nejčastěji zdvojenými vinutými pružinami, které umožňují i práci v kamenitých půdách bez rizika častých závad oproti jištění střížnými šrouby.

Za radličkami se nachází řada nivelátorů pro urovnění vzniklých nežádoucích hrůbků, které jsou následovány STS válcem. Ten má za úkol nastavení pracovní a zpětné utužení půdy. Skládá se z kruhu s profilem do tvaru U s principem naplnění tohoto profilu půdou, aby ve výsledku pracovala půda na půdě. Za válcem se jako poslední segment nachází řada prutových zavlačovačů.

Obrázek 5 Köckering Trio 300



Zdroj: <https://mechanizaceweb.cz/technika-pro-rodinnou-farmu/>

3.1.3. Hloubkové kypřiče

Hloubkové kypřiče jsou určeny pro práci v hloubkách od 45 cm a obvykle do 65 cm (Javůrek a Vach, 2008). Někteří výrobci však nabízejí i stroje pro zpracování půdy i v hloubkách přesahujících 70 cm. Důležitou charakteristikou těchto strojů je, že při jejich práci nesmí docházet k promísení jednotlivých půdních vrstev, aby nedocházelo k vynášení neúrodných půd a kamenů. Zajišťuje to správná geometrie pracovních nástrojů.

Úkolem hloubkových kypřičů je především nápravné kypření zhutnělých půd. Dle Tomišky (2009) je nežádoucí zhutnění charakterizováno stlačením půdního profilu. Důsledkem toho klesá pórovitost spolu s provzdušněním půdy a narůstá objemová hmotnost. S tím pak přímo souvisí schopnost infiltrace, prostup a zadržení vody v půdě. Dále jsou negativně ovlivněny nitrifikační vlastnosti půdy.

Javůrek a Vach (2008) uvádějí, že vlivem nežádoucího zhutnění dochází ke zpomalení růstu a větvení kořenového systému rostlin. V závislosti na rozsahu půdního zhutnění pak dochází k poklesu výnosů, přičemž více se projevuje u plodin, jejichž výnos je tvořen zejména v podzemní části. Jako příklad lze uvést brambor hlíznatý nebo cukrovou řepu, které vykazují pokles výnosů až 30 % oproti vhodnému půdnímu stavu. U zrnin je snížení výnosu uváděno v rozmezí 10 až 20 %.

Při provádění hloubkového kypření je rovněž brát ohled na stav půdy. Z důvodu vysoké náročnosti na tahovou sílu, a tudíž i náklady s tím spojené, je před provedením pracovní operace výhodné zjistit rozsah půdního zhutnění a nápravné opatření provádět jen na nezbytných místech, obvykle souvratích. Rovněž půda v době hloubkového kypření nesmí být nadměrně vlhká. Nejen že při vyšší vlhkosti klesá výkonnost soupravy, ale především se snižuje účinek samotného zásahu. V případech, kdy vlhkost půdy přesáhne mez plasticity, začne docházet k plastickým deformacím a může tak nastat i zhoršení půdního stavu.

Příkladem mechanizace určené pro hloubkové kypření je nesený stroj Krtek od výrobce Farnet (Farnet, c2023). Vyznačuje se jednoduchou, ale robustní konstrukcí. Určen je pro práci v hloubkách od 50 do 60 cm pro odstranění nežádoucího zhutnění bez rizika promísení půdních vrstev. Vyráběn je v provedení se 3, 5 či 7 radlicemi o šířce 18 cm, které jsou proti přetížení jištěny hydraulickým systémem. Radlice jsou rozmístěny v jedné řadě s roztečí 70 cm a světlou výškou rámu 90 cm. Pro přesné hloubkové vedení je možné stroj vybavit opěrnými koly nebo zadním diskovým válcem, který navíc rozmělní vzniklé hroudy a hrůbky.

3.1.4. Předset'ové kombinátory

Stejskal (2013) ve své práci popisuje, že předset'ové kombinátory, jinak také označovány jako kompaktory, se užívají pro vytvoření optimálních podmínek pro zakládání porostů. Předset'ová příprava navazuje na předchozí zpracování půdy jako je podmítka, hlubší kypření nebo orba a hlavním cílem je srovnání pozemku, rozdrobení hrud, prokypření vrchní vrstvy půdy a zpětné utužení pod budoucím set'ovým lůžkem.

Jedná se především o stroje s několika sekcemi různých pasivních pracovních nástrojů, které jsou připojeny k pevnému rámu. Jednotlivé sekce mají obvykle možnost nastavení hloubky samostatně a celkovou pracovní hloubku stroje zajišťují různé druhy válců. Kombinátory jsou dále často vybaveny rovnacími smyky a různými typy radliček.

Zástupcem této kategorie strojů je například na obrázku 6 SWIFTER SN od firmy BEDNAR (BEDNAR, 2023). Jedná se o nesený kompaktor, který je v přední části vybaven smykovou lištou následovanou drobicím válcem. Dále je stroj opatřen sekcí radliček, které jsou rozmístěny do dvou řad, za kterými se opět nachází smyková lišta. V zadní části se pak nachází crosskill válec. Pracovní hloubku lze nastavit od 2 do 12 cm v závislosti na půdních podmínkách.

Obrázek 6 Předset'ový kompaktor BEDNAR SWIFTER SN



Zdroj: <https://danhel.cz/technika/bednar-fmt/zpracovani-pudy/predsetovy-kompaktor/>

3.1.5. Secí stroje s radličkovými botkami

Radličkové secí stroje využívají nejčastěji šípové řezné radličky, které jsou nejčastěji rozmístěny do 3 řad (Hůla, Procházková et al., 2008). Řad může být případně i více s účelem zlepšení průchodnosti půdou a rostlinnými zbytky bez rizika ucpání. K radličkovým secím botkám je osivo nejčastěji dopravováno proudem vzduchu a následně dochází k jeho rozptýlení a uložení pod odřezávanou zeminu na rovné lůžko.

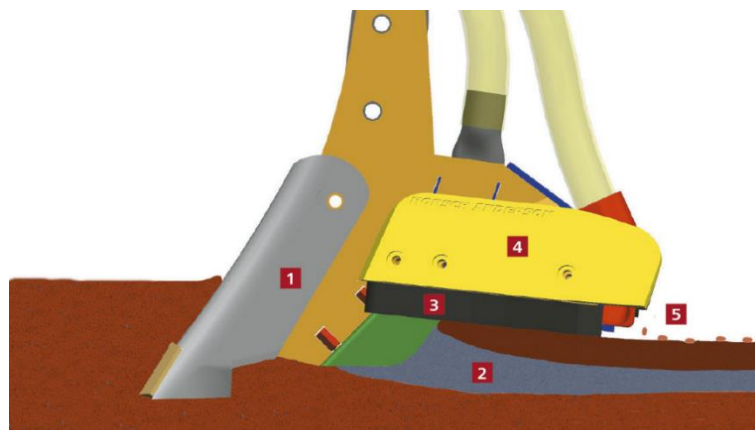
Výhodou práce radličkových botek je charakteristika průchodu půdou, kdy jsou slupice obtékány rostlinnými zbytky, aniž by docházelo k jejich vniknutí do míst uložení osiva a s tím spojené problémy při jeho vzházení.

Konkrétním tvarovým řešením radliček lze docílit optimálního nakypření a promísení půdy. V porovnání s kotoučovým secím ústrojím je půda zpracovávána intenzivněji. Dále díky snadnějšímu zahlubování radliček mohou být stroje lehčí. Secí stroje s radličkovými secími botkami lze doporučit pro práci v náročnějších podmínkách, zvláště pak na vlhčích půdách, protože půdu více nakypří, provzdušní a umožní rychlejší prohřívání. Naopak rizikem je zvýšené riziko nadměrné ztráty půdní vláhly na sušších pozemcích.

Radličkové secí botky využívá například secí stroj HORSCH Sprinter ST, který je schopen v rámci jediného přejezdu uskutečnit přípravu, výsev i uložení pevných nebo kapalných hnojiv pod patu (HORSCH, c2023). Radličkové botky jsou na tomto stroji rozmístěny do tří řad s roztečí od 25 cm a ukládají osivo do pásů. Poté následuje dvouřadý zavlačovač pro zakrytí semen a tandemový půdní pěch pro požadované utužení půdy. Zadní pěch má spolu s předními vodíci koly nebo pěchem rovněž za úkol nastavení požadované hloubky výsevu.

Konstrukce botek (Obr. 7) má za úkol v části 1 vytvořit rýhu a prokypřit půdu. Číslo 2 zobrazuje přesné uložení hnojiva pod osivo pro maximalizaci jeho využití při následném vzházení a růstu. V tomto provedení botky se jedná o hnojiva granulovaná. Číslem 3 je pak označen spodní štít, který slouží k zahrnutí hnojiva a vytvoření dostatečné vrstvy půdy pro setové lůžko. Číslo 4 je plastová bočnice a 5 označuje místo plošného výpadu osiva ze semenovodu.

Obrázek 7 Radličková sečí botka HORSCH Duett pro ukládání hnojiva pod osivo



Zdroj: <https://www.horsch.com/cs/produkty/vysev/radlickove-seci-stroje/sprinter-st>

3.1.6. Meziřádkové kultivátory

Meziřádkové kultivátory jsou využívány u pěstování širokořádkových plodin, mezi které se s roztečí řádků 45 cm řadí například cukrová řepa (Pišl, 2018). Dále pak uplatnění najde i ovoce a zeleniny. Meziřádková kultivace, jinak také označovaná jako plečkování, má za cíl mechanicky zlikvidovat plevele, narušit povrchový škrálop a půdu prokypřit. Po provedení kultivace by se měly zlepšit retenční schopnosti půdy spolu s jejím provzdušněním. Nespornou výhodou je také efektivnější využití hnojiv, která se snadněji a rychleji dostanou do půdy, a rovněž umožňuje omezit či zcela nahradit chemickou ochranu rostlin. Mechanické kultivátory lze rozdělit na pasivní a aktivní. Pasivní využívají pro práci nejčastěji různé druhy radliček nebo dlát.

Beneš ve svém článku uvádí, že v současné době je kladen velký důraz na přesné navádění těchto strojů v řádcích, aby nedocházelo k poškození pěstovaných plodin. Ovládání stroje je možné pomocí hydraulického systému traktoru, případně pomocí 2D kamery. Další možností je ovládání kultivátoru elektrohydraulickým systémem přes software. Ten vyhodnocuje záběry z kamer, které mají za úkol snímat řádky plodin, a automaticky pohybovat rámem do stran.

Příkladem je na obrázku 8 radličková plečka Pöttinger FLEXCARE (Pöttinger, 2023). Stroj se skládá z integrovaného hydraulického rámu, který se posouvá na základě vyhodnocení kamerových snímků porostu. V každém meziřádku se nachází 2 radličky a opěrné kolo. Po stranách se pak nachází hvězdicovité talíře, které mají ochránit pěstované rostliny před hroudami.

Obrázek 8 Radličková plečka FLEXCARE od firmy Pöttinger



Zdroj: www.pottinger.at/cs_cz/produkte/detail/flexv/flexcare-v-sklopne-radlickove-plecky

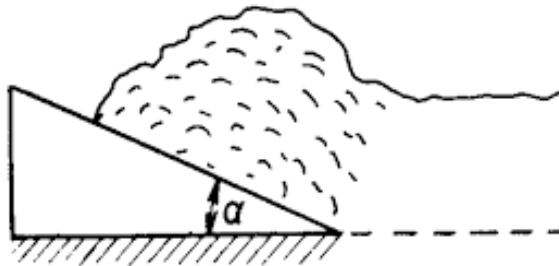
3.2. Vliv konstrukce a rozmístění radliček na práci stroje

3.2.1. Tvar radliček

Radličkové pracovní nástroje lze pro zjednodušení popisu jejich tvaru a účinku na půdu nahradit klínem dvoustranným, v případě rovné pracovní plochy radličky nebo její části, či klínem třístranným, pakliže je povrch nástroje zakřivený (Dolan, 2019).

Dvoustranný klín, který je zobrazen na obrázku 9, je z hlediska působení na půdu charakterizován úhlem α . Tento úhel se označuje také jako elevační nebo drobicí a nachází se mezi pracovní plochou radličky a horizontální rovinou ve směru působení na půdu. Hlavním úkolem tohoto klínu je odříznutí skývy a její následné nadzvednutí. Jedná se o zásadní konstrukční parametr radliček, který spolu se stavem půdy nejvýrazněji ovlivňuje výsledek zpracování půdy.

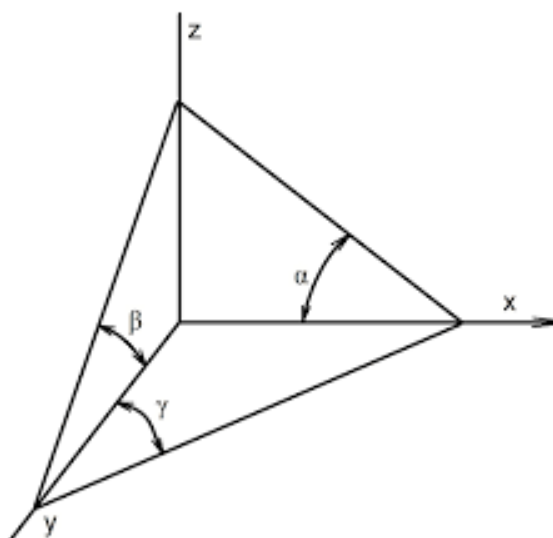
Obrázek 9 Dolan: Dvoustranný klín v nesoudržné půdě



Zdroj: <http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2019/09/szp-2019.pdf>

Třístranný klín koná práci ve směru osy x a je charakterizován úhly α , β a γ (Obr. 10), které je možné pro usnadnění popsat 3 nezávislými dvoustrannými klíny. Jedním z nich je již uvedený elevační úhel α . Úhel β je označován jako úhel obrácení a nalézá se mezi plochou nástroje a vertikální rovinou kolmou na směr jízdy. Důsledkem působení úhlu obrácení se půda natáčí a zvedá. Úhel γ vzniká mezi plochou nástroje a vertikální rovinou, která je rovnoběžná se směrem pohybu. Označuje se také jako úhel radličný a vlivem jeho působení dochází k posunu skývy do strany.

Obrázek 10 Dolan: Třístranný klín



Zdroj: <http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2019/09/szp-2019.pdf>

Godwin (2007) uvádí, že spolu s pracovní hloubkou a šířkou pracovních nástrojů jsou tyto úhly základním aspektem pro kvalitu prokypření půdy. K tomu se následně připojuje i působení horizontálních a vertikálních sil, které jsou do značné míry ovlivněny právě konstrukcí pracovních nástrojů. Horizontální tažná síla uvádí pracovní nástroj do pohybu a žádoucí je, aby její velikost byla minimální. Vertikální síla oproti tomu má vliv na zahlubování radliček, přičemž může samotnému zahlubování napomáhat či mu naopak bránit. Vertikální síla se odvíjí zejména od úhlu α a je požadováno aby tento úhel byl menší než je úhel kritický, který lze vypočítat odečtením třetího úhlu od 90° . Pokud bude úhel α větší než kritický, bude výsledná síla působit vzhůru a stroj tak bude nutné dotížit závažím nebo silovým působením traktoru.

Godwin (2007) dále hodnotil vztah horizontálních a vertikálních sil na vybrané parametry zpracování půdy. Uvedl například, že horizontální síly výrazně narůstají v závislosti na hloubce zpracování oproti vertikálním silám. Dále s narůstajícím úhlem α pak narůstají oba druhy sil přibližně stejně rychle, přičemž horizontální síla je vždy větší. Věnoval se také vlivu pracovní rychlosti, kdy horizontální i vertikální síly rostou téměř lineárně s rychlostí a jejich počátečky při rychlostech blízkých se 0 km/h jsou výrazně posunuty na ose síly F . Pro efektivní práci tak doporučuje pojezdovou rychlost při zpracování půdy větší než 10,7 km/h.

Spoor (2006) ve své práci rozebírá, jakým způsobem při zpracování půdy dochází ke strukturním změnám. Uvádí, že pohyb a deformace půdy lze rozdělit do tří kategorií. První označuje jako křehké poruchy, kdy dochází k lámání kompaktních částí půdy na drobnější celky, které se navzájem pohybují. Celkově pak klesá objemová hmotnost půdy, ale v rámci jednotlivých celků ke strukturním změnám téměř nedochází. Druhým typem je kompresní rozrušení půdy, které vzniká působením tlaku. Dochází ke stlačení půdy a zvýšení objemové hmotnosti spolu s rozrušením makropórů. Poslední typ označuje jako poruchy tahové a projevy mají podobné jako poruchy křehké. Jejich základní odlišností jsou tak zejména síly, které je způsobují, kdy při tahových poruchách dochází k napnutí půdy a křehké poruchy jsou způsobovány tlakem.

Při křehkých i tahových poruchách je nezbytný pohyb půdy vzhůru, který je nezbytný pro dilataci. Je tedy nutné překonat odpor plynoucí z tíhy a pevnosti skývy nad pracovními nástroji. V případě, že je tento odpor příliš velký, dochází k pohybu půdy do stran a vznikají převážně poruchy tlakem.

Spoor (2006) dále pokračuje, že křídla radliček výrazně ovlivňují boční rozsah křehkých poruch v půdě a za určitých okolností mohou zapříčinit i poruchy tahové. Křídla mohou svírat různý úhel α a výšku zdvihu, čímž je ovlivněno proudění půdy. Výška zdvihu podmiňuje stupeň kypření a přeskupení půdy, kdy půda přepadává přes konec křídla a láme se. Rozsah výšky zdvihu se nejčastěji pohybuje v rozmezí 2,5 až 10 cm v závislosti na požadované hloubce a stupni nakypření. Některé radličky umožňují změnu výšky zdvihu náklonem křídel nebo jejich výměnou. Častější jsou však radličky s pevnými křídly, u kterých je možné změnit stupeň narušení půdy pouze změnou pracovní hloubky.

3.2.2. Konstrukce rámu stroje a rozmístění radliček

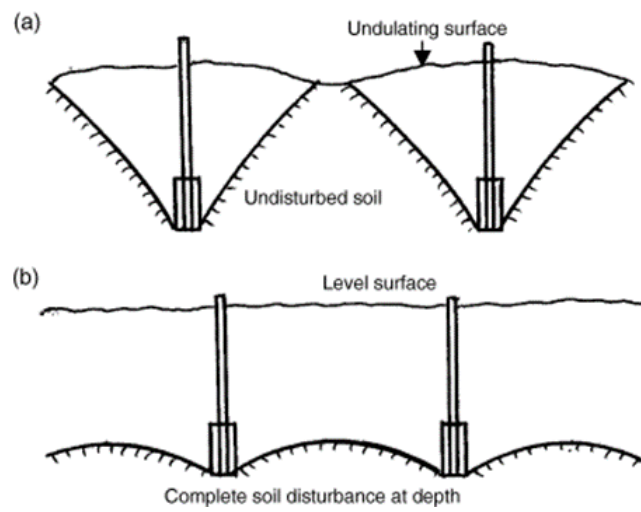
Konstrukce radličkových strojů je podřízena jejich hlavnímu účelu. Obvykle se hlavní část rámu skládá ze 2, 3 nebo 4 řad kolmých na směr jízdy. Tyto řady jsou osazeny radličkovými pracovními nástroji, které jsou k rámem připojeny trvalou vazbou v konkrétním místě nebo jsou připevněny pomocí různého typu svorek, které umožňují změnu jejich pozice či jejich odebrání. Součástí upevnění nástrojů k rámu je obvykle i jejich jištění proti přetížení. Může být provedeno mnoha způsoby jako například střížným šroubem, vinutou či listovou pružinou, hydraulickým systémem nebo díky pružné slupici.

Kovaříček, Hůla et al. (2017) rozdělují dle způsobu kypření radličkové stroje na jednostupňové a vícestupňové. V případě vícestupňových strojů je rám osazen 2 či více druhy radliček, které seliší zejména v pracovní hloubce. Jejich princip je takový, že se radličky sdílí stejnou trajektorii, přičemž první zpracovává půdu nejměleji a každá další ve stejné stopě pracuje hlouběji. Díky tomu dochází ke snížení tahového odporu na radličky, které procházejí již v předzpracované půdě předchozí řadou (Spor, 2006). Díky tomu je možné v rámci jednoho přejezdu zpracovat půdu do větší hloubky spolu s větší intenzitou oproti jednostupňovému zpracování. Jednostupňové stroje zpracovávají všemi řadami radliček půdu na stejnou pracovní hloubku, přičemž radličky jsou rozloženy rovnoměrně v rámci celého záběru stroje (Kovaříček, Hůla et al., 2017).

Spor (2006) popisuje, že zásadní faktor pro práci radličkových nástrojů je jejich rozteč, která spolu s konstrukcí samotných radliček určuje výsledek prokypření. Důležitou hodnotou při zpracování půdy je mezní rozteč, která tvoří předěl mezi zonálním a celoplošným kypřením. Mezní rozteč je závislá na půdních podmínkách, ale v zásadě se u okřídlených pracovních nástrojů stanovuje jako 2 násobek hloubky zpracování.

V případě, že skutečná rozteč překročí rozteč mezní, dojde pouze k lokálnímu prokypření půdy v okolí radliček a zbytek půdy zůstane nezpracován (Obr. 11 a). Výhodou v tomto případě je, že v nezpracované části půdy nedojde k přerušení kapilárního vztlínání vody, což může mít pozitivní vliv na vzcházení semen v sušších půdách. Lokální prokypření využívají například půdoochranné technologie jako je pásové zpracování půdy. Pakliže nedojde k překročení mezní rozteče, je zpracování půdy zřetelné v celém svém profilu, jak je vidět na obrázku 11 b.

Obrázek 11 Spoor: Narušení půdy na základě rozteče pracovních těles



Zdroj: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2006.00015.x>

4. Vodní eroze půdy

4.1. Vznik a důsledky vodní eroze půdy

Vodní eroze je proces, při kterém je povrch půdy mechanicky rozrušován dešťovými kapkami (Hábová, 2016). Uvolněné částice půdy jsou následně odnášeny proudem odtékající vody. Intenzita vodní eroze závisí na množství a intenzitě dešťových srážek, struktuře půdy, svahovitost terénu a druhu i stavu porostu. Z dlouhodobého hlediska se jedná o zásadní ekologický a ekonomický problém, který omezuje potenciál produkce a zhoršuje vlastnosti půd. Nejzranitelnější částí půdy je ornice, jejíž nahrazení se pohybuje v řádech stovek let. Erozně ohroženy jsou především pozemky oseté širokořádkovými plodinami.

Dalšími projevy vodní eroze jsou ztráty živin a humusu v půdě. Rovněž může docházet k odplavení osiva a málo zakořeněných rostlin. Negativně se také mění fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy. Všechny tyto aspekty se následně mohou projevit poklesem výnosů pěstovaných plodin, který na výrazně erodovaných pozemcích může klesnout až o 75 %.

Kromě negativních dopadů na samotnou půdu může docházet i ke kontaminaci vodních zdrojů a usazování odplavených částic ve vodních nádržích a tocích, což se negativně projevuje především na vodní fauně.

Druhy vodní eroze můžeme rozlišit na plošnou, výmolovou a proudovou. Plošná eroze se vyznačuje narušením a smyvem půdních částic v rámci celého pozemku. Vyskytuje se především na mírnějších svazích a její projevy jsou nepatrné, ale v dlouhodobém horizontu může způsobovat enormní škody. Oproti tomu v případě výmolové eroze, jejíž výsledek je zaznamenán na obrázku 12, jsou škody patrné na první pohled. V tomto případě dochází k stékání vody do několika málo silných proudů, které vytváří relativně hluboké koridory s tendencí stále více se prohlubovat a rozšiřovat. Běžně výmolová eroze vzniká například ve stopách po zemědělských strojích. Posledním druhem je eroze proudová, která se vyskytuje především ve vodních tocích působením proudu na dno nebo boky toku především v jeho záhybech.

Obrázek 12 Eroze půdy způsobená vydatnými srážkami v porostu kukuřice



Zdroj: www.agrojournal.cz/clanky/vodni-eroze-a-zpracovani-pudy-v-podminkach-cr-248

Křen, Neudert et al. (2015) uvádějí, že značný vliv na vznik a rozsah vodní eroze má infiltrační schopnost půdy. V případě dobré schopnosti půdy infiltrovat srážky dochází ke snížení povrchového odtoku, což přímo souvisí s hrozbou eroze. Schopnost půdy infiltrovat vodu je ve většině případů větší u technologií s redukováním zpracováním půdy díky stabilnější půdní struktuře a výskytu makropórů vznikajících především působením edafonu v půdě, který lze u bezorebných technologií nalézt ve větší míře.

Naopak výrazný negativní účinek na infiltrační schopnosti půdy má její zhutnění (Hejdová, 2011). Zhutnění půdy se totiž vyznačuje zvýšenou objemovou hmotností, která je způsobena stlačením půdy na úkor pórovitosti. Zhutnělé půdy tak nejsou schopny efektivně vsakovat a zadržet větší objem vody, která buď zůstane na povrchu v podobě louží nebo začne odtékat a způsobí tak erozi půdy.

Panagos, Ballabio et al. (2021) ve své publikaci uvádějí, že do roku 2050 hrozí nárůst průměrné ztráty půdy způsobené vodní erozí v Evropské unii o 13 až 22,5 % ve srovnání s rokem 2016. K těmto hodnotám se dopracovali na základě modelů vyplívajících ze způsobu obdělávání půdy a změny klimatu.

4.2. Omezení vodní eroze půdy

Hejdová (2011) ve své práci zmiňuje, že pro omezení hrozby eroze půdy je nezbytné implementovat zásady protierozní ochrany, která se skládá z komplexních řešení vedoucích ke zmírnění či úplnému předejití eroze půdy. Protierozní opatření můžeme rozdělit do tří kategorií na organizační, agrotechnické a technické, které na se navzájem doplňují a zároveň reflektují možnosti zemědělství.

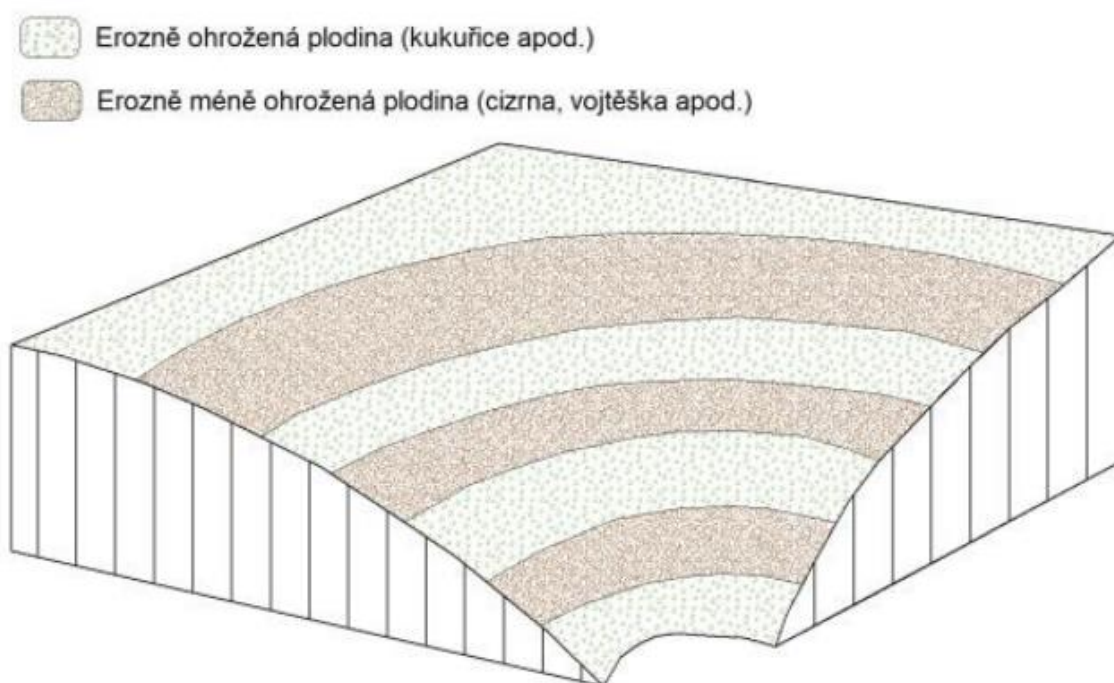
Organizační opatření protierozní ochrany lze využít bez výrazných finančních výdajů či velkými nároky na jejich uplatnění (Hábová, 2016). Zakládají se především na členitosti a tvaru povrchu pozemku. Nejdůležitějším aspektem jsou pak vrstevnice, podle kterých by měl být daný pozemek obděláván. Současně se také může jednat o rozdělení pozemku na více částí v závislosti na míru ohrožení vodní erozí.

Na organizační opatření pak plyně navazují opatření agrotechnická, která jsou již nákladnější, hlavně co se týče pořízení potřebné mechanizace. Různá agrotechnická opatření se odvíjejí od sklonu pozemku. Například běžné pěstování širokořádkových plodin, jako je kukuřice nebo slunečnice, se doporučuje do 3°. V rozmezí 3° až 7° sklonu je pro širokořádkové plodiny nutné implementovat minimálně organizační opatření a v případě pozemků se sklonitostí do 12° je již nutné aplikovat speciální osevnické postupy s protierozními zásadami a vhodné plodiny jsou například obilniny nebo víceleté pícniny. V případě míst přesahujících sklon 12° je nezbytné zajistit ochranu půdy pomocí vegetace po většinu roku a jsou tak vhodné spíše k pěstování trvale travních porostů.

Jednou z nejdůležitějších agrotechnických opatření pro ochranu půdy před vodní i větrnou erozí je ponechání rostlinných zbytků na povrchu (Hejdová, 2011). Rostlinné zbytky vytvářejí na povrchu ochrannou vrstvu půdy. Intenzivní srážky tak nedopadají přímo na půdu a současně je utlumena i kinetická energie vodních kapek. Následně je díky rostlinným zbytkům snížena rychlost odtoku vody a zlepšena infiltrace do půdy. V závislosti na množství rostlinných zbytků se snižuje riziko eroze, které se v rámci vývoje rostlin mění a nejvýraznější je při zakládání porostu. Uvádí se, že v případě pokrytí 30 % povrchu se důsledky vodní eroze mohou snížit až o 90 % ve srovnání s holým pozemkem. Mezi technologie využívající rostlinných zbytků při zakládání porostu se řadí například pásové zpracování půdy nebo přímé setí.

Dalším agrotechnickým opatřením je pásové střídání plodin (Kvítek a Tipl, 2003). Jde o technologii, kdy jsou porosty zakládány ve směru vrstevnic a současně se střídají v pásích dvě plodiny (Obr. 13). Jedna z plodin je vždy náchylná k erozi půdy a druhá naopak půdu před erozí chrání. Jako příklad lze uvést kukuřici a jetel. Šířka pásů se určuje v závislosti na sklonitost pozemku, přičemž s rostoucím úhlem svahu by pásy měly být užší. Obecně se doporučuje šířka pásů v rozmezí 20 až 40 metru s ohledem na záběry mechanizace a střídající se pásy mohou mít stejnou šířku nebo může být pás s erozně ohroženou plodinou širší.

Obrázek 13 Schématické znázornění pásového střídání plodin



Zdroj: https://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/2.1_organizacni_opatreni.pdf

Technická opatření proti erozi bývají obvykle využita až jako poslední možnost (Hábová, 2016). Jsou značně nákladná a náročná na realizaci. Spočívají v terénních úpravách pozemku s cílem zpomalit povrchový odtok vody a maximalizovat množství infiltrované vody do půdy. Řadí se sem například tvorba protierozních průlehů, záchytných a svodných příkopů, teras nebo nádrže.

5. Cíl práce

Cílem práce je potvrdit nebo vyvrátit hypotézu, že minimalizační technologie zpracování půdy oproti konvenčním technologiím s orbou zajišťují snížení rizika eroze půdy a současně zlepšují půdní vlastnosti.

6. Metodika práce

Pokusné měření probíhalo v lokalitě Nesperská Lhota. Pokus byl založen na hlinitopísčité, lehké půdě v nadmořské výšce 450 m. Na pozemku převažuje hlinitá půda s podílem 32,3 % částic o rozměrech menších než 0,01 mm a obsaženým Ct (spalitelný uhlík) v množství 3,8 % - Pro polní pokus byly vybrány plodiny, které se v dané lokalitě běžně pěstují. Hodnocení bylo zaměřeno na erozní parametry v závislosti k hloubce a intenzitě zpracování. Kromě základních půdních vlastností se zjišťovali i další půdní parametry z neporušených půdních vzorků odebraných pomocí Kopeckého válečků s objemem 100 cm³, které byly analyzovány v laboratoři ČZU.

Polní pokus se skládal ze 4 základních variant a 1 varianty kontrolní. Všechny varianty byly provedeny jako ohraničené parcely s plochou 40 m² o rozměrech 2 x 20 m, přičemž delší strana byla orientována po spádnici. Jako typické plodiny pro danou lokalitu byly vybrány pšenice ozimá (*Triticum aestivum*) a oves setý (*Avena sativa*). Varianty byly odlišné i v technologiích založení porostu, kde dvě varianty byly založeny konvenčním způsobem zpracování a dvě minimalizací. Poslední pátá varianta byl černý úhor, který byl udržován bez vegetace díky aplikaci neselektivních herbicidů.

Každá z variant byla ohraničena dřevěnými deskami s rozměry 0,15 x 4 m. Zapuštěny byly 0,1 m hluboko v zemi včetně zajištění pomocí ocelových háků. Horní stěna byla navíc zdvojena pro eliminaci případného rizika přetečení vody stékající po spádnici nad pokusnými parcelami, což by způsobilo znehodnocení naměřených dat. Rozmístění variant bylo koncipováno s ohledem na to, aby spolu sousedili ozimé varianty a rovněž i jarní varianty.

Varianta číslo 1 byla založena konvenční technologií a jednalo se o ozimou pšenici odrůdy Bagou. Na pozemku byla nejprve provedena orba do hloubky 0,2 m, po které následovala předset'ová příprava kombinátorem. Samotné setí bylo uskutečněno 28.9. výsevkem 190 kg/ha. Během jara byl porost ošetřen proti plevelům pomocí herbicidu na bázi MPCA (Dicopur M 750). Dále byl porost přihnojen dusíkem LAV 27 v měrné dávce 200 kg/ha. Také bylo provedeno ošetření fungicidním přípravkem (Sportak HF) proti chorobám pat stébel.

Varianta číslo 2 byla rovněž oseta pšenící ozimou odrůdy Bagous výsevkem 190 kg/ha. Využitá byla však redukována technologie zpracování půdy, kdy před samotným setím, které proběhlo 29.9., byl pozemek pouze prokypřen do hloubky 0,1 m radličkovým kypřičem. Během jara byl porost ošetřen proti plevelům pomocí herbicidu na bázi MPCA (Dicopur M 750). Dále byl porost přihnojen dusíkem LAV 27 v měrné dávce 200 kg/ha. Také bylo provedeno ošetřeno fungicidním přípravkem (Sportak HF) proti chorobám pat stébel.

Varianta číslo 3 byla opět založena konvenční technologií zpracování půdy. Na podzim byla na pozemku provedena orba, po které se na pozemku až do jara ponechala hrubá brázda. Na jaře pak proběhla předset'ová příprava kombinátorem. Následně byl 27.3. na pozemku zaset oves setý odrůdy Zlat'ák s výsevkem 200 kg/ha.

Varianta číslo 4 byla založena technologií přímého setí do předem nezpracované půdy. Setí bylo provedeno 27.3. výsevkem 200 kg/ha odrůdy Zlat'ák ovsa setého.

Poslední varianta číslo 5 byl černý úhor, který byl zpracován konvenční technologií s orbou, po které vzešel na pozemku výdrol. Ten byl v polovině listopadu zlikvidován neselektivním herbicidem, jehož aplikace byla provedena ještě několikrát během jarního období. Stejně jako u varianty číslo 3 byla na jaře také provedena úprava pozemku kombinátorem.

V blízkosti pokusných parcel byla pro potřeby měření umístěna meteostanice Vantage Vue. V případě dešťových srážek, které mohli způsobit povrchový odtok a tudíž i potenciální smyv půdy, proběhla bezprostřední kontrola plastových nádob na zachytávání vody a sedimentů z pozemku. Hmotnost zeminy zachycené v nádobách byla určena z přefiltrovaných sedimentů, které byly podrobeny sušení při teplotě 105 °C v laboratorní peci ČZU. Získaná data byla následně zpracována v programu STATISTICA a MS Excel.

Během polního pokusu proběhlo měření schopnosti půdy infiltrovat vodu třemi dalšími způsoby. První z nich bylo pomocí kruhového infiltrometru na obrázku 14 s průměrem 0,15 m metodou „simplified falling-head“ (SFH). Tato metoda spočívá v převedení infiltrace na nasycenou hydraulickou vodivost, kdy se do infiltrometru nalije předem dané množství vody, v případě tohoto měření to bylo 0,5 dm³, a měří se vlhkost povrchové vrstvy půdy a čas potřebný pro zasáknutí vody. Toto měření bylo provedeno na každé z variant s 10 opakováními.

U druhé metody bylo měření provedeno na základě infiltrometru Mini Disk, který se vyznačuje snadným použitím a nenáročností na obsluhu. Infiltrometr se skládá z dvoudílné polykarbonátové trubky o průměru 3,1 cm, která je vysoká 32,7 cm. Obě části jsou naplněny vodou, přičemž spodní část má na spodní straně polopropustnou nerezovou membránu s plochou 15,2 cm², která umožňuje pronikání vody do půdy. Na spodní části je rovněž měřítko v mililitrech, na kterém se odečítá objem vody. Infiltrometry naplněné vodou byly rozmístěny v rámci experimentálních pozemků. Hodnoty měření byly zaznamenávány průběžně každé 2 minuty do tabulek. Měření trvalo 30 minut pro každý pozemek a rovněž bylo opakováno 10x.

Obrázek 14 Měření Mini Disky a SFH metodou



Třetí metodou bylo využití Brilantní modří pro zvýraznění vody, které byla následně infiltrována do půdy, jako je tomu na obrázku 15. Díky tomu bylo možné pozorovat pohyb vody půdním profilem. Aplikace obarvené vody probíhala pomocí simulátoru deště po dobu 1 hodiny. Použitý simulátor deště byl vyvinut na TF ČZU a je složen ze stavebnicových dílů na přívěsném vozíku za auto. Samotné zadešťování je zajištěno tryskou s kuželovým rozptylem, která je upevněna na rámu. Pomocí čerpadla s regulačním ventilem je zajištěna doprava vody k trysce, přičemž regulační ventil má za úkol nastavení intenzity simulovaného deště a kinetickou energii dopadajících kapek.

Po dokončení aplikace bylo ponecháno 5 hodin k dostatečnému rozmístění kontrastní kapaliny v rámci půdního profilu. Následovalo odkrytí půdy do hloubky přibližně 0,35 m. U každé z variant byl půdní profil odkryt na 3 místech. Poté byly půdní profily zaměřeny a zdokumentovány fotografiemi ve formátu JPEG pomocí digitálního fotoaparátu.

Obrázek 15 Povrch po aplikaci roztoku Brilantní modři.



Pořízené obrázky byly následně upraveny v počítači pomocí programu Gwyddion 2.30. Pomocí funkce vyznačení zrn podle prahu program označí hranice pro barevné zóny. Dále dle funkce se odstraní zrna podle prahu, kdy se nastaví hodnota nejmenších zrn, se kterými se nebude počítat, pro eliminaci chyby způsobené odleskem malých půdních částic. Následně využitím funkce maska, se obrázek transformuje na černobílý, kde černou barvou je označena půda a bílá barva znázorňuje půdu s infiltrovanou vodou s barvivem.

Takto vzniklý obrázek se vloží do programu ImageJ a pomocí funkce se určí celková plocha obrázku. Poté se v tomto programu obrázek převede na binární soustavu, která je další funkcí programu vyhodnocena, přičemž výsledkem je plocha a procentuální podíl půdy s infiltrovanou vodou z celkové plochy obrázku.

7. Výsledky měření

7.1. Výsledky měření půdních vlastností

V rámci polního pokusu bylo odebráno u každé varianty 5 neporušených vzorků ve 3 různých hloubkách. Aritmetický průměr jednotlivých výsledků byl zanesen do tabulky 1. Z naměřených hodnot jsou patrné jen malé rozdíly mezi jednotlivými variantami. Naměřené půdní vlastnosti odpovídají běžným hodnotám tohoto typu půdy a v žádné z variant nebyl nalezen závažný strukturní problém. Rovněž přirozeným faktem je, že pórovitost půdy s rostoucí hloubkou klesá. Významné rozdíly nejsou patrné ani u redukované objemové hmotnosti, přičemž mírně nižší hodnoty vykazovalo redukované zpracování půdy, avšak nepřekročily statistickou významnost.

Tabulka 1 Základní fyzikální vlastnosti půdy

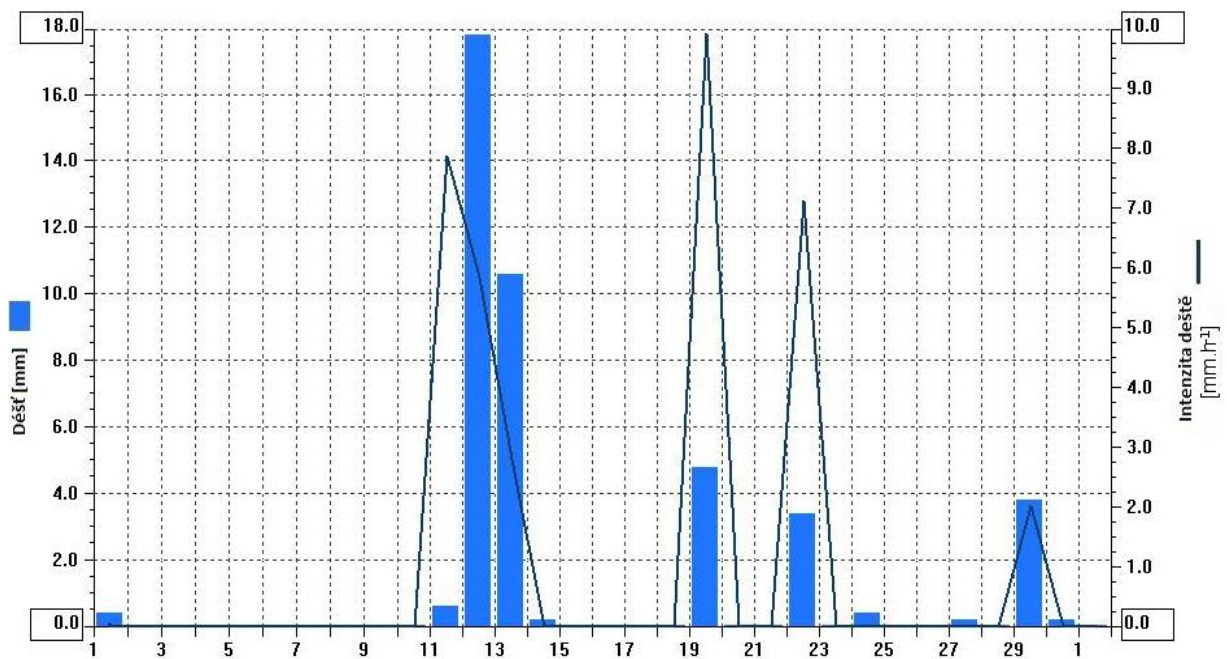
Varianta	Hloubka (m)	Obj. hm. red. (g.cm ⁻³)	Porozita (%)
1 Pšenice konvenční technologií	0.05-0.10	1.49	43.8
	0.10-0.15	1.52	37.6
	0.15-0.20	1.51	37.2
2 Pšenice redukovanou technologií	0.05-0.10	1.41	44,2
	0.10-0.15	1.48	41.0
	0.15-0.20	1.50	39.2
3 Oves konvenční technologií	0.05-0.10	1.44	44.6
	0.10-0.15	1.47	40.3
	0.15-0.20	1.52	35.9
4 Oves no-till technologií	0.05-0.10	1.40	45.4
	0.10-0.15	1.41	42.6
	0.15-0.20	1.46	40.2
5 Černý úhor	0.05-0.10	1.46	44.1
	0.10-0.15	1.46	43.3
	0.15-0.20	1.47	42.1

7.2. Výsledky měření eroze půdy

Z meteorologické stanice Vantage Vue nacházející se nedaleko pozemků byla získána data, která byla zpracována v podobě grafů. Ty znázorňují úhrn dešťových srážek v mm a intenzitu dešťových srážek v mm/h. Záznamy jsou rozděleny na jednotlivé měsíce od května do srpna a u každé erozně významné události byl samostatně vyhodnocen povrchový odtok a smyv půdy na jednotlivých parcelách. Tyto hodnoty pak byly znázorněny v podobě jednoduchých sloupcových grafů.

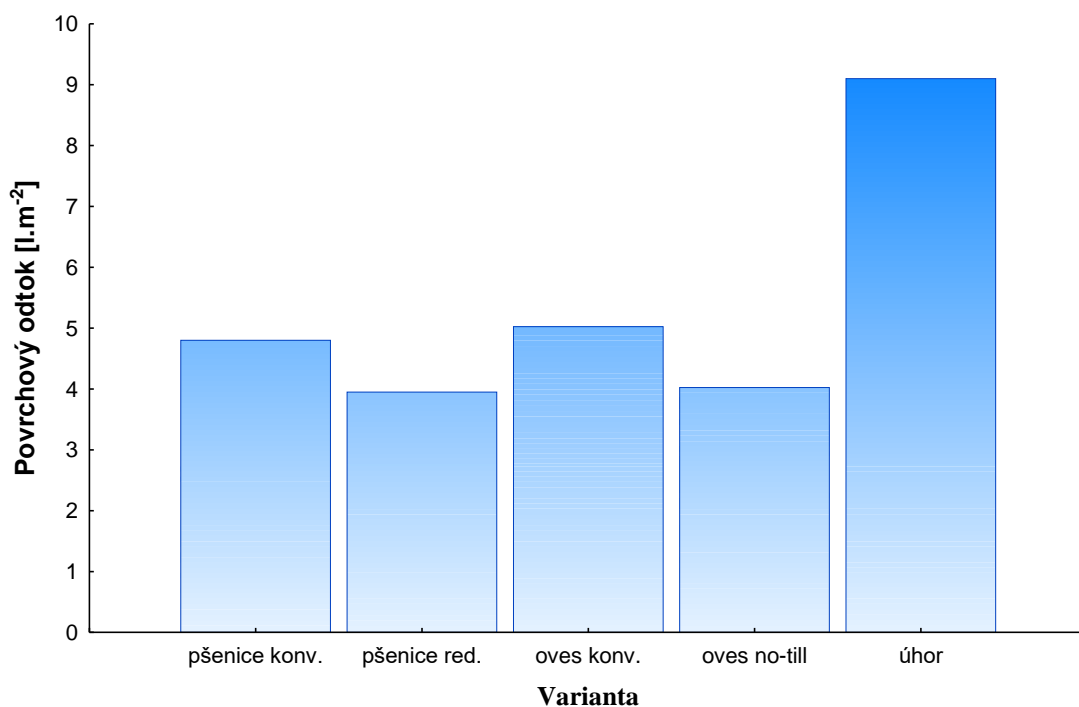
První výrazný úhrn srážek nastal od 11. do 14. května, během kterých spadlo 29 mm. Jak je patrné z grafu 2 nebyla intenzita těchto dešťových srážek nikterak vysoká. V průběhu května nastaly ještě další dešťové srážky, které však nebyly nikterak významné, a tak nebyly samostatně hodnoceny.

Graf 2 Úhrn a intenzita srážek v měsíci květen

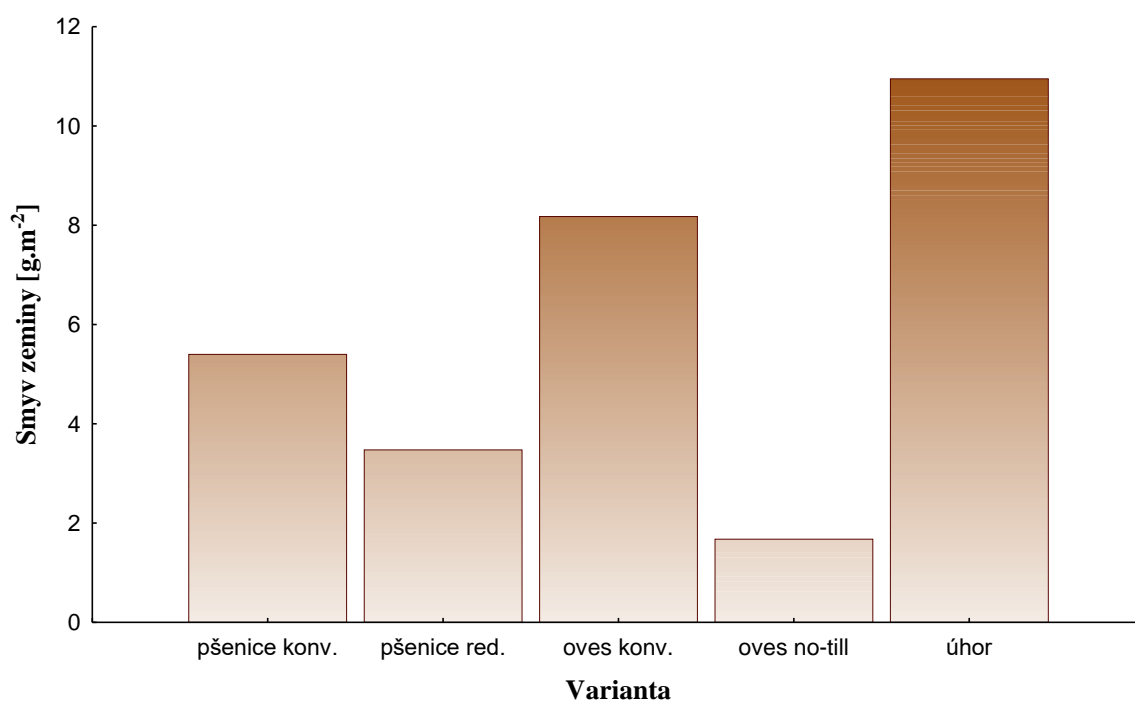


Z grafu 3 a 4 je patrné, že nejnižší povrchový odtok nastal v případě variant s minimalizačním zpracováním půdy. V případě smyvu zeminy byla nejmenší hodnota naměřena u varianty číslo 4, která byla založena technologií přímého setí, díky většímu pokryvu povrchu rostlinnými zbytky. Naopak nejvýraznější povrchový odtok a smyv byl zaznamenán u 5 kontrolní varianty s černým úhorem. To bylo způsobeno faktem, že povrch půdy nebyl chráněn a v případě větší intenzity srážek by se rozdíl mezi variantami ještě prohloubil. Stejný efekt jako varianty s černým úhorem lze běžně pozorovat u porostů v raných fázích vývoje.

Graf 3 Povrchový odtok po deštích v polovině května

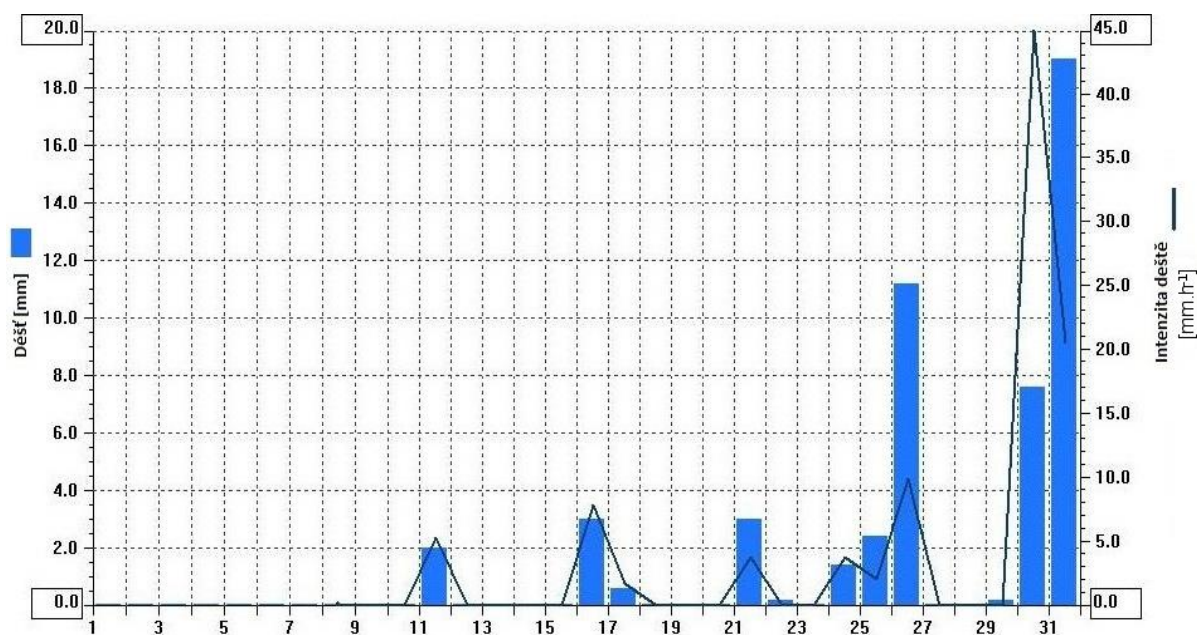


Graf 4 Smyv zeminy po deštích v polovině května



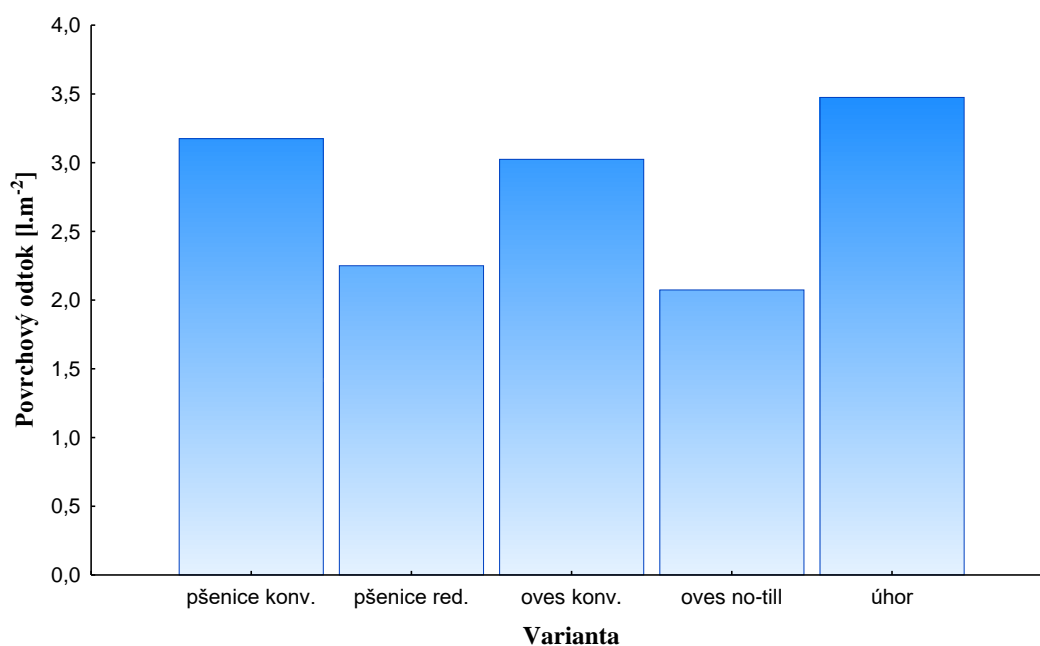
Během června proběhly dvě erozně významné události zaznamenané v grafu 5. První z nich nastala od 24. do 26. června, kdy déšť a krátká bouřka způsobily srážkový úhrn 15 mm. Intenzita těchto srážek byla mírná. Druhý případ nastal na konci června, kdy během 2 bouřek byl naměřen srážkový úhrn 26 mm a intenzita srážek dosahovala hodnoty 45 mm/h.

Graf 5 Úhrn a intenzita srážek v měsíci červen

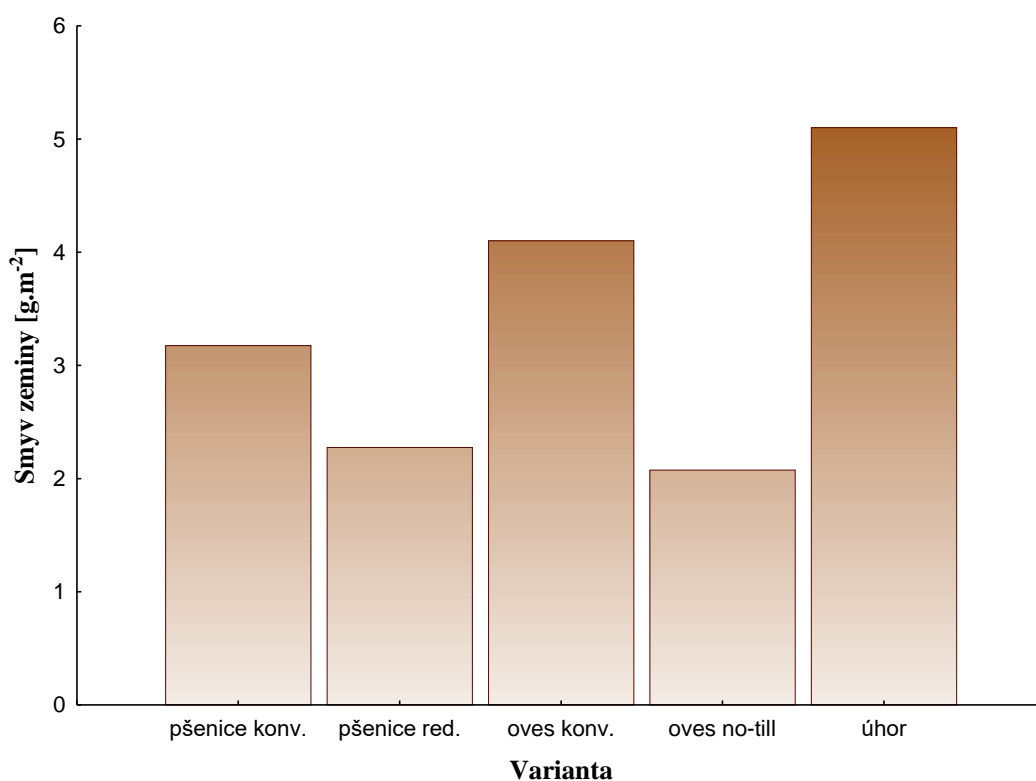


Z grafů 6 a 7 je zřejmé, že nejnižší povrchový odtok a smyv zeminy nastal opět u varianty číslo 4 s technologií přímého setí. Nutné je ale poznamenat, že varianta číslo 2 s redukováným zpracováním měla výsledky jen nepatrně horší. Jednoznačně nejhorší variantou byl pozemek s černým úhorem, ačkoliv varianty s konvenčním zpracováním půdy rovněž nedopadly nejlépe. Zajímavé je také porovnání smyvu zeminy u variant 3 a 4 s ovšem setým, kdy v případě konvenčního zpracování byla ztráta zeminy více než dvojnásobná oproti technologii přímého setí.

Graf 6 Povrchový odtok po dešti a krátké bouřce v období 26. – 27. června

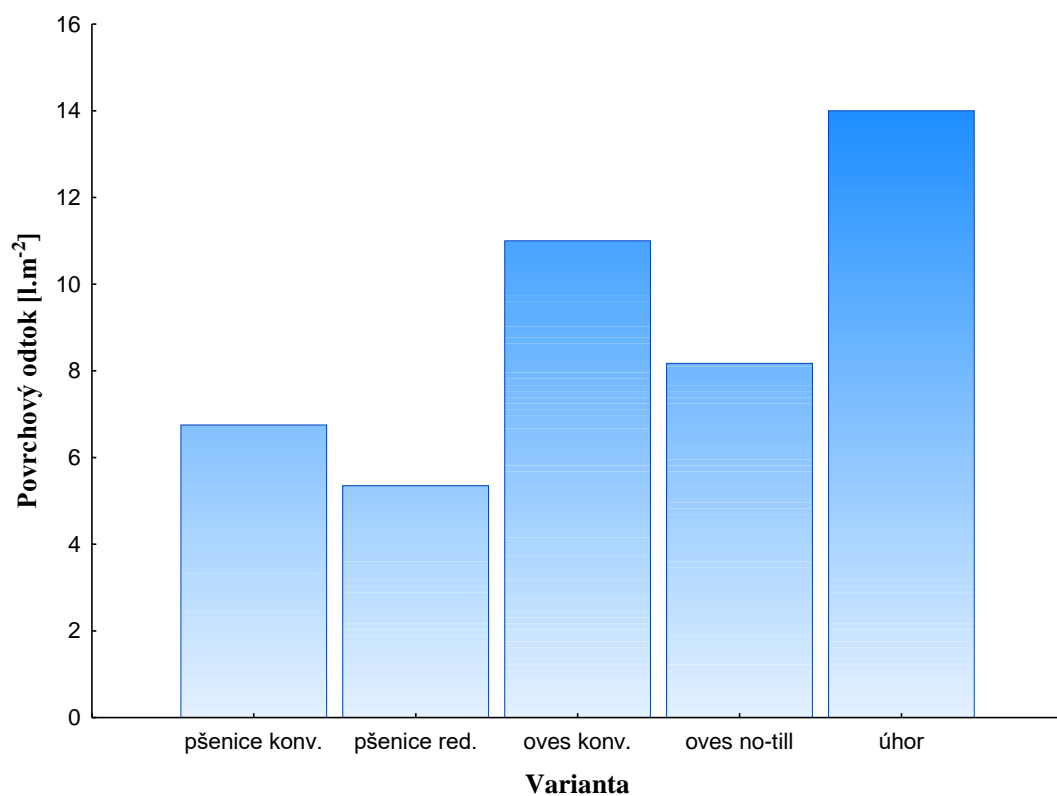


Graf 7 Smyv zeminy po dešti a krátké bouřce v období 24. – 26. června

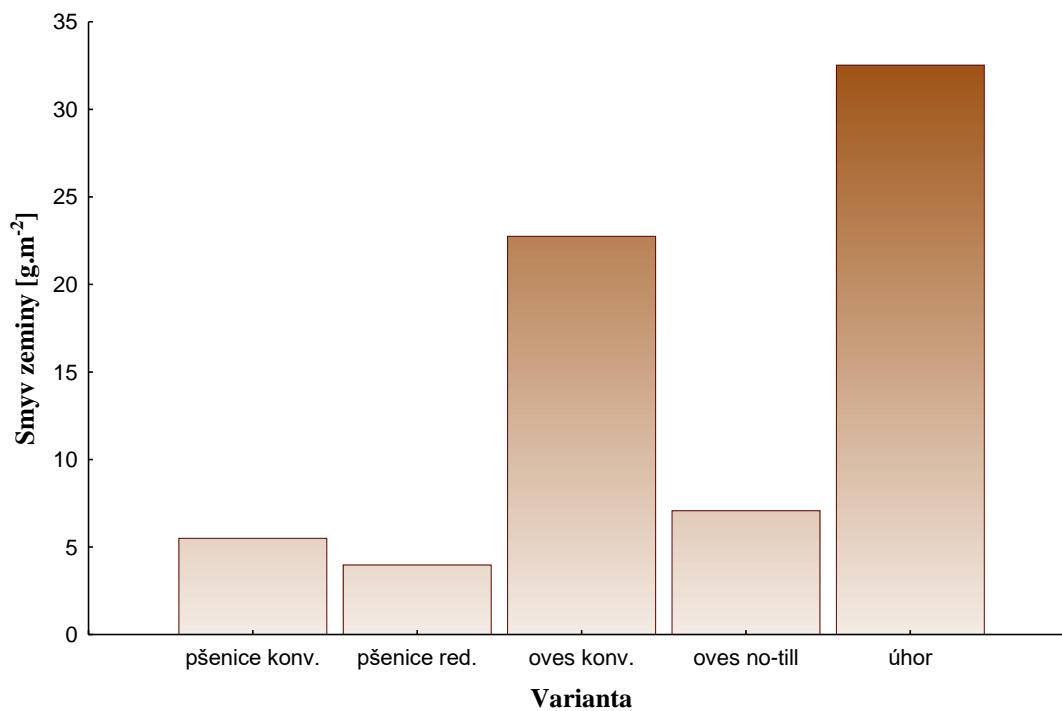


Druhá erozně významná událost nastala na přelomu června a července. Z grafů 8 a 9 je patrné, že nejlépe v tomto případě dopadla varianta číslo 2 s technologií redukováného založení porostu pšenice ozimé. To bylo způsobeno zejména plně vyvinutým porostem, který byl schopen povrch půdy dostatečně chránit před velmi prudkým deštěm s velkými kapkami. Takto silné srážky umocněné velikostí kapek totiž v případě, že dopadly na nechráněnou půdu způsobily rozrušení povrchu, rychlý odtok vody a výrazný smyv půdy. Díky těmto faktorům opět nejhůře dopadla varianta číslo 5. Díky méně vyspělým porostům ovsa setého dopadla varianta číslo 4 s technologií přímého setí hůře než konvenčně založený porost ozimé pšenice varianty číslo 1.

Graf 8 Povrchový odtok po dvou bouřkách v období konce června

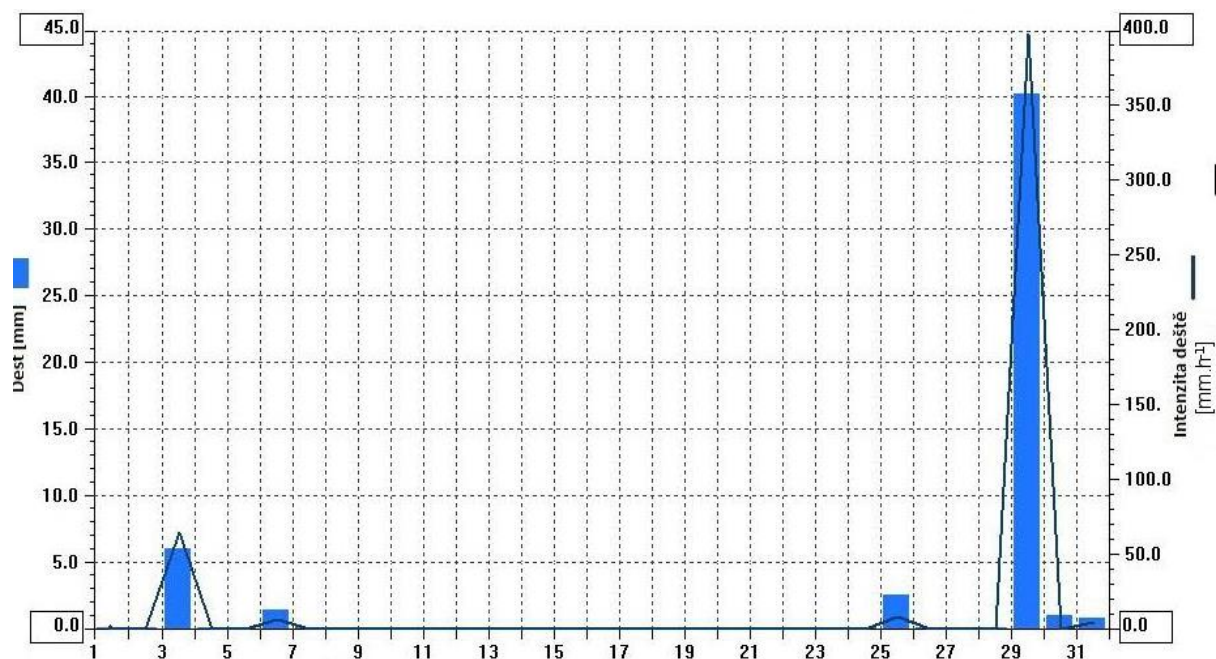


Graf 9 Smyv zeminy po dvou bouřkách v období konce června



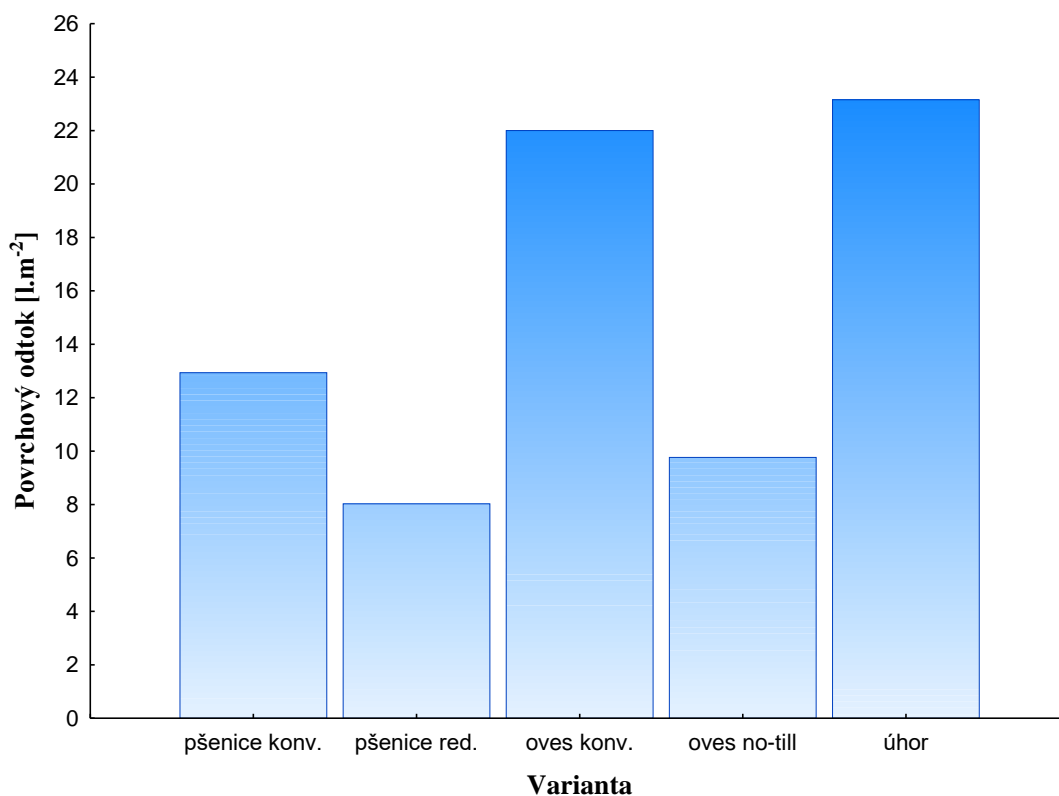
Následující erozní událost nastala až na konci července, který byl z hlediska srážek jinak výrazně chudý. Úhrn srážek v tomto případě dosáhl hodnoty 41 mm a intenzita krátkodobě dosahovala extrémní intenzity.

Graf 10 Úhrn a intenzita srážek v měsíci červenec

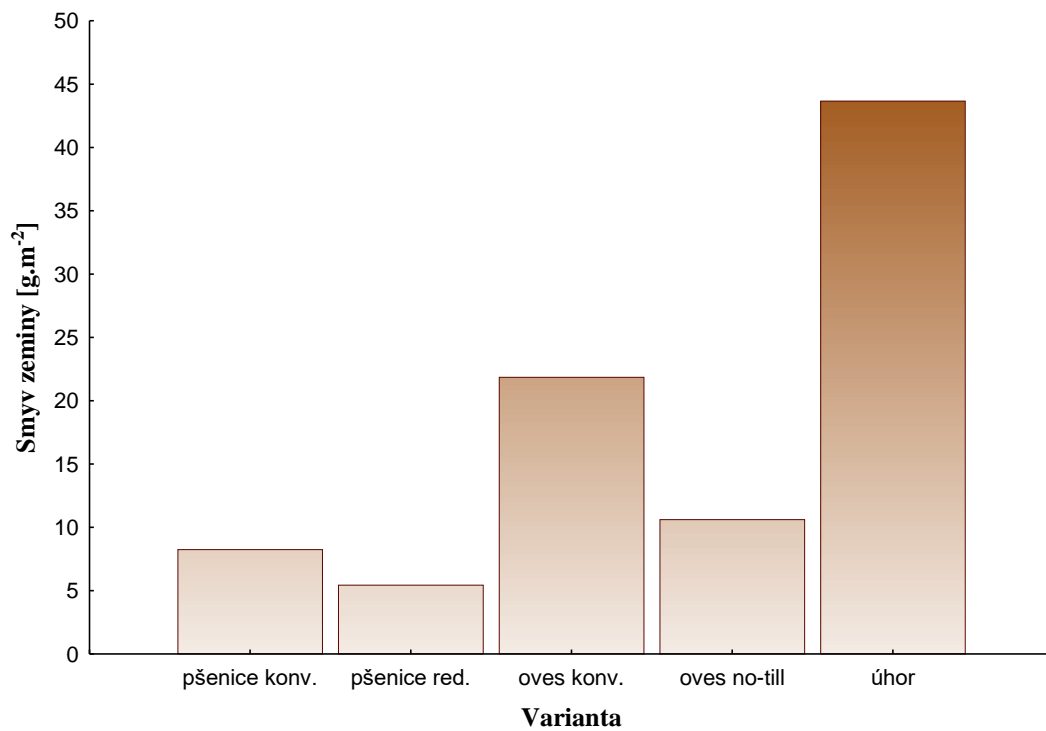


Na grafu 11 je patrné, že během intenzivního deště koncem července došlo u variant 3 a 5 k nejvýraznějšímu povrchovému odtoku, avšak povrchový odtok se ve velké míře projevil i u zbylých variant. Příčinou toho mohla být přeschlá půda, na které se po předchozí bouřce vytvořil škraloup zabraňující dostatečně efektivní infiltraci srážek do půdy. Na grafu 12 je opět patrná největší ztráta zeminy v případě varianty 5 a nečekaně velká ztráta u varianty číslo 3 s ovšem setým založeným konvenční technologií. U této varianty nejspíš byla eroze z velké části způsobena rychlým průtokem vody v mezirádcích, přestože byly široké jen 0,15 m.

Graf 11 Povrchový odtok při prudké bouřce koncem července

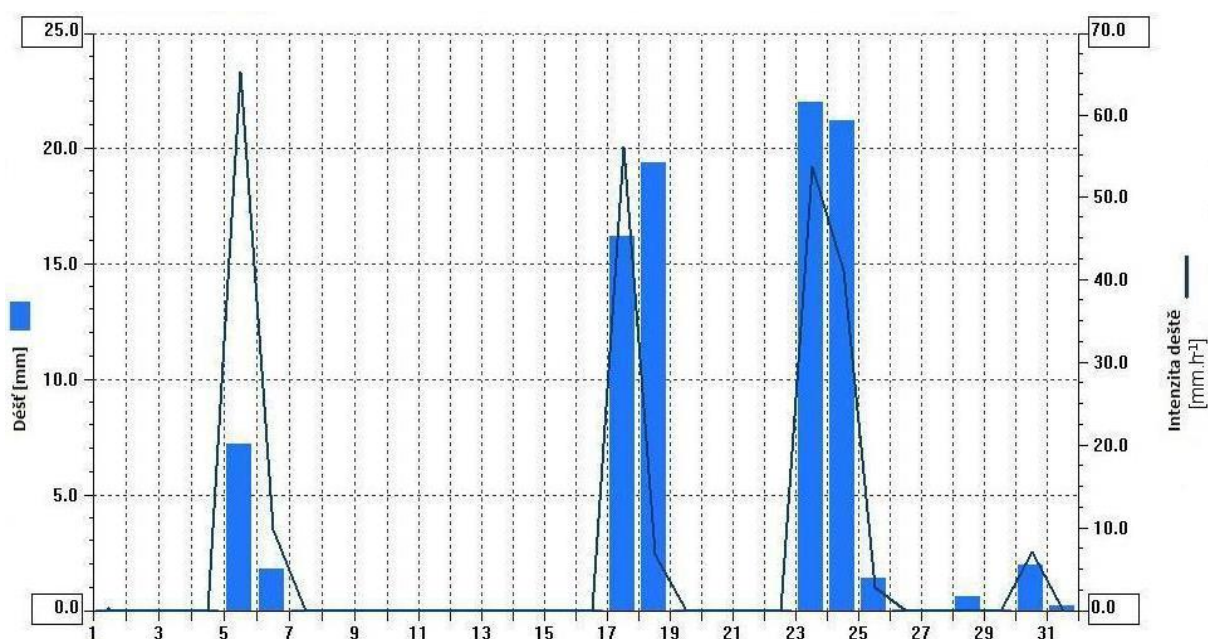


Graf 12 Smyv zeminy při prudké bouřce koncem července



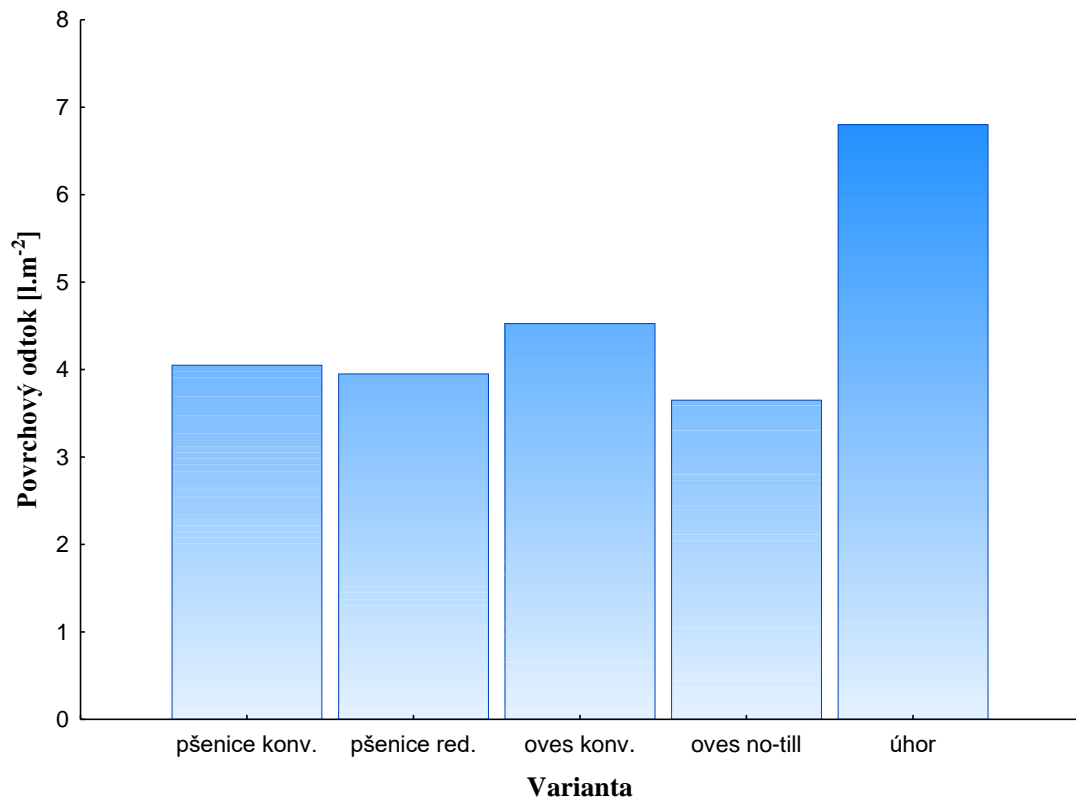
Posledním měsícem, kdy probíhalo měření, byl srpen, během kterého došlo ke dvěma erozně významným případům. Oba nastaly na základě bouřky spojené se silnými dešťovými srážkami. První případ nastal ve dnech 17. a 18. srpna, kdy během prudkého deště spadlo 35 mm srážek. Druhá událost proběhla v noci z 23. na 24. srpna. Při tomto dešti mírně přesahoval naměřený úhrn srážek 44 mm. V obou případech se dešť vyznačoval poměrně výraznou intenzitou.

Graf 13 Úhrn a intenzita srážek v měsíci srpen

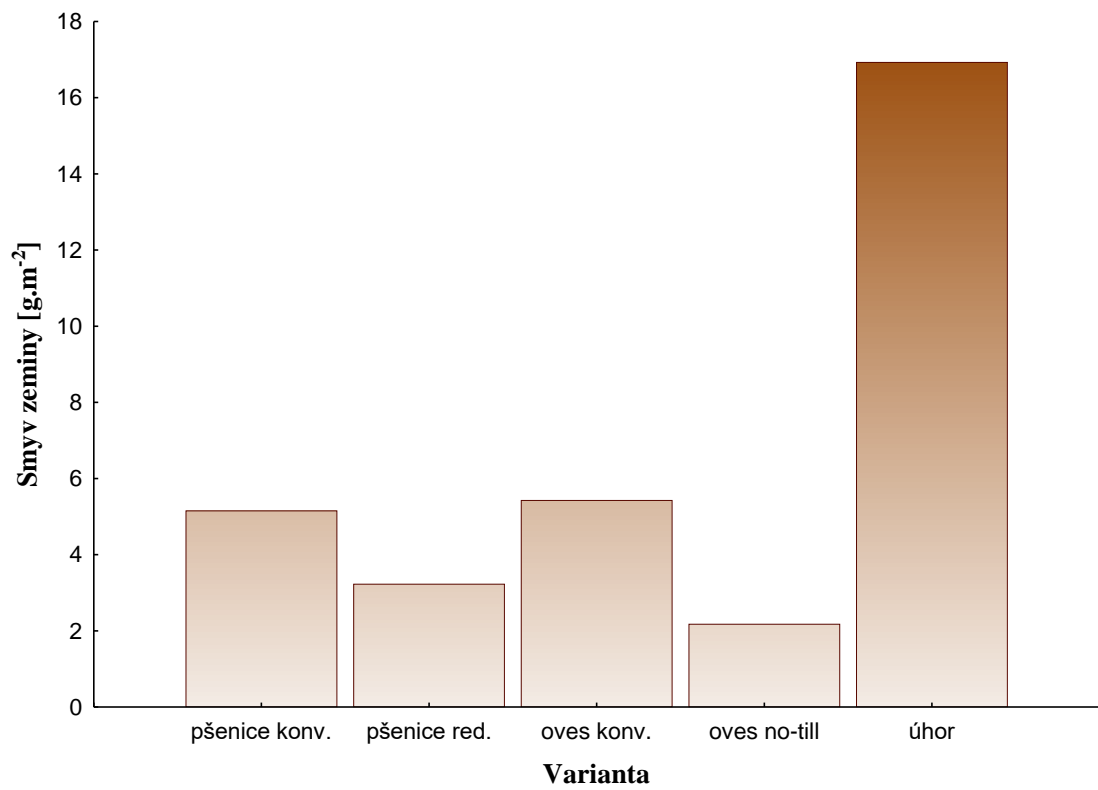


Z grafu 14 je patrné, že stále nejmenší povrchový odtok nastává u varianty číslo 4. Rozdíly se mezi jednotlivými variantami postupem času snižují. Výjimkou je pouze kontrolní varianta číslo 5 bez vegetace, která má stále mnohem výraznější povrchový odtok než ostatní varianty. Lze ale konstatovat, že s plynoucím časem se vliv technologie založení porostů na povrchový odtok začíná stírat. S tím koresponduje i graf 15 znázorňující smyv zeminy, kde opět nejlépe vycházela varianta s technologií přímého setí, ale až na variantu s černým úhorem se k ní svými výsledky ostatní varianty značně přibližují. Nutné je také podotknout, že v této době se na pokusných variantách nacházelo pouze strniště.

Graf 14 Povrchový odtok při prudkém dešti v polovině srpna

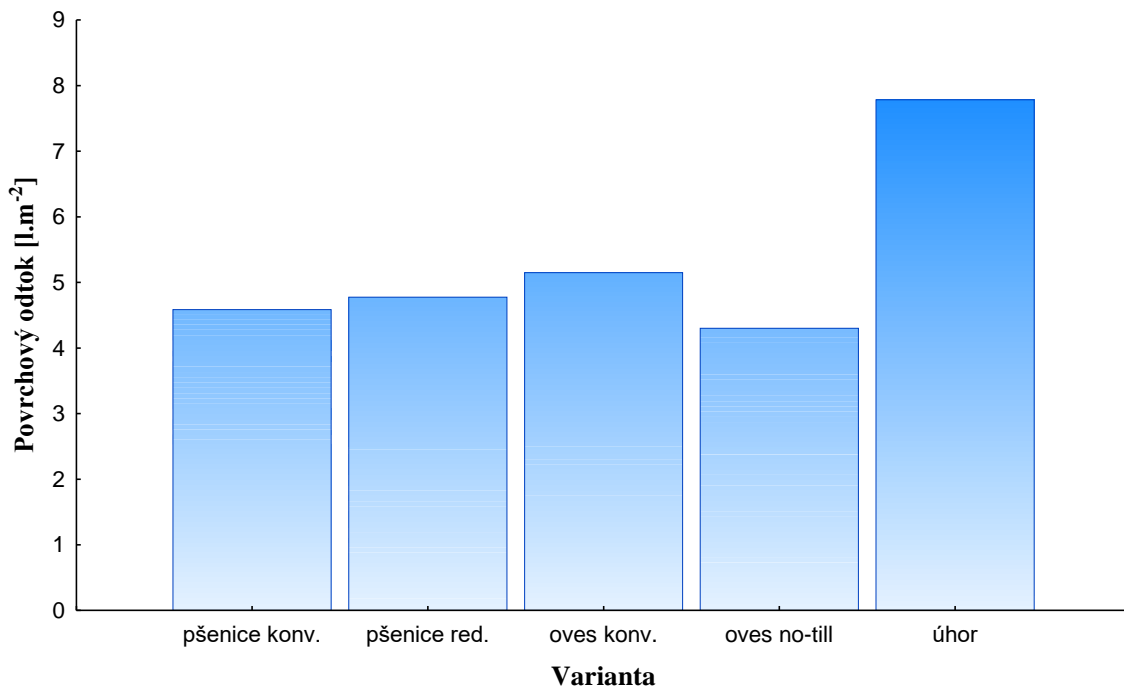


Graf 15 Smyv zeminy při prudkém dešti v polovině srpna

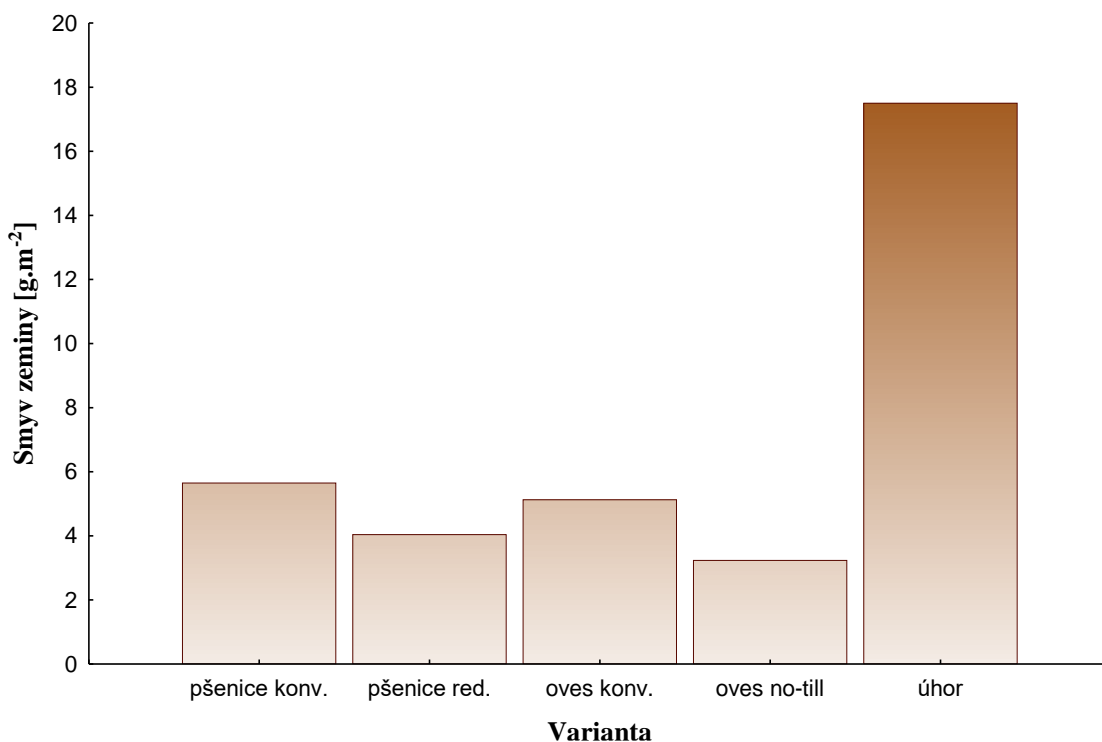


Grafy 16 a 17 popisují poslední měřenou erozní událost. V nich se opět projevilo snížení rozdílů mezi jednotlivými variantami s vegetací v případě povrchového odtoku i smyvu zeminy, což opět dokazuje postupně se snižující účinky technologie založení porostu. Výrazně nejhorší výsledky v obou sledovaných aspektech byly znovu naměřeny na variantě číslo 5.

Graf 16 Povrchový odtok při prudkém dešti na konci srpna



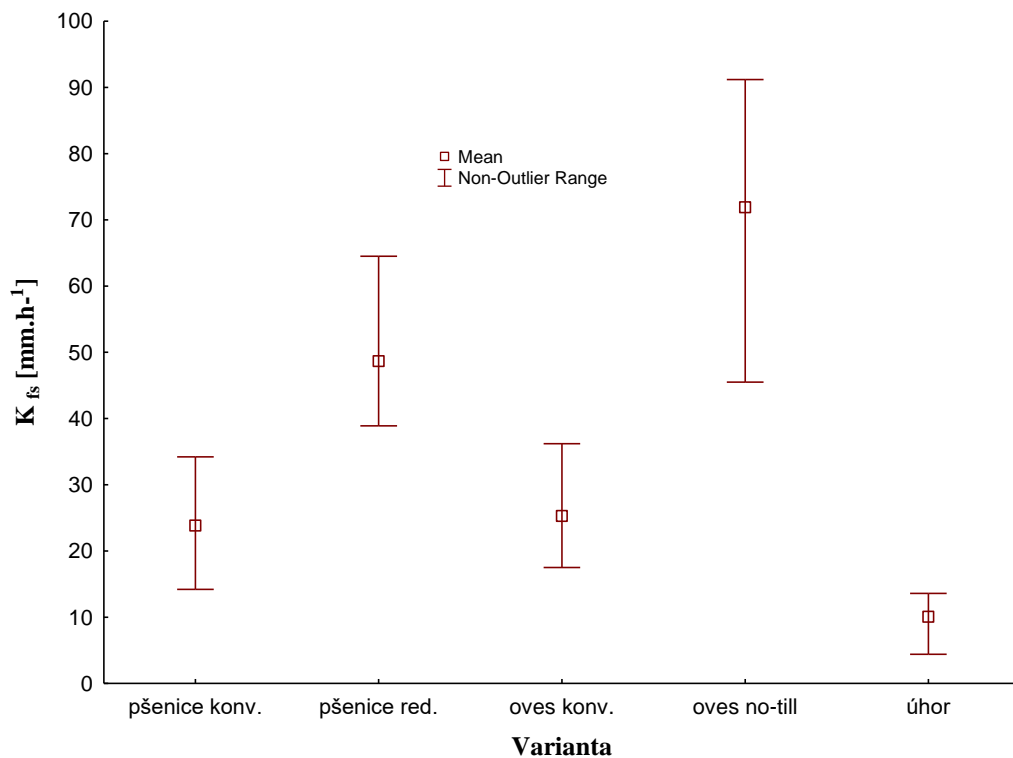
Graf 17 Smyv zeminy při prudkém dešti na konci srpna



7.3. Výsledky měření metodami SFH a Mini Disků

Výsledky měření nasycené hydraulické vodivosti metodou SFH jsou zaneseny do grafu 18. Jednotlivé varianty se mezi sebou značně liší a lepších výsledků dosahovali varianty číslo 2 a číslo 4. Varianty založené konvenční technologií pak byly výrazně horší, avšak nejhorší výsledky byly zaznamenány v případě varianty číslo 5 s černým úhorem. Toto měření tak koresponduje s výsledky naměřenými při dešťových srážkách. V tabulce 2 je pak uvedeno statistické zhodnocení s významnými statistickými rozdíly u jednotlivých variant, přičemž nejlepších hodnot dosáhla varianta číslo 4, která byla založena technologií přímého setí.

Graf 18 Nasycená hydraulická vodivost metodou SFH červen

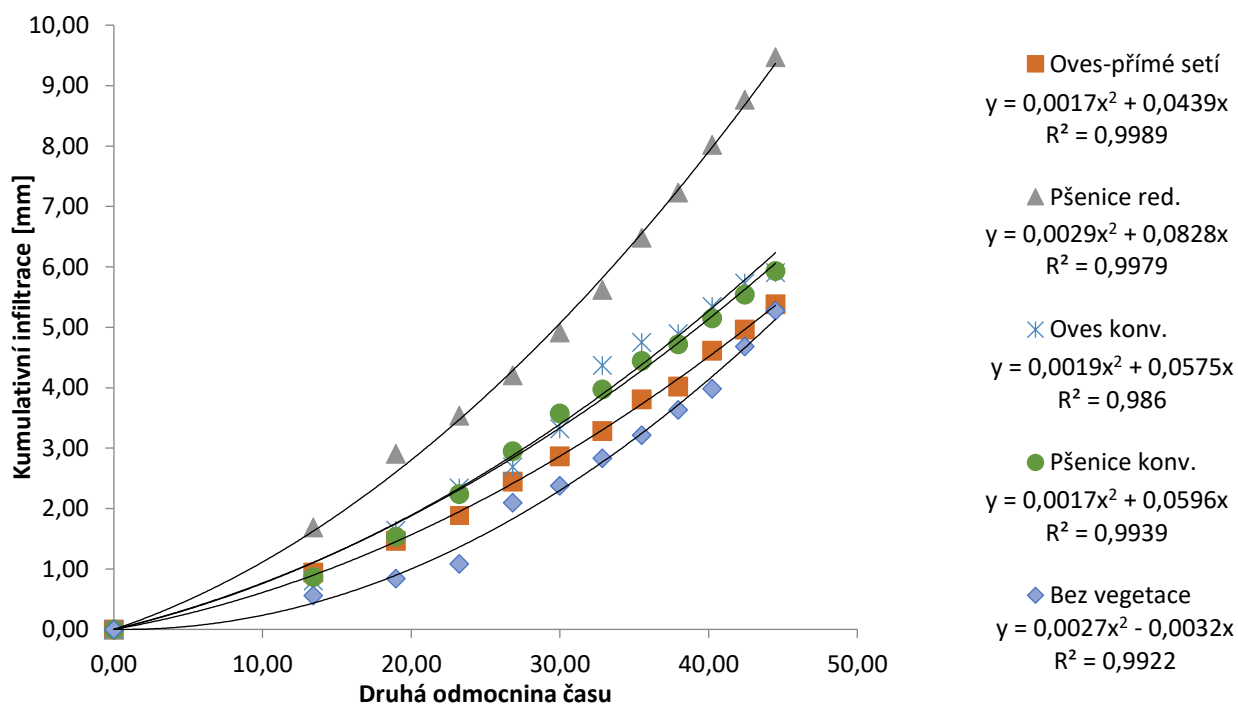


Tabulka 2 Homogenní skupiny pro hodnocení metodou SFH

Tukeyův HSD test; proměnná K _{fs} [mm.h ⁻¹]				
Varianta	K _{fs} [mm.h ⁻¹] Průměr	1	2	3
úhor	10.06667	****		
pšenice konv.	23.83333	****	****	
oves konv.	25.26667	****	****	
pšenice red.	48.63333		****	****
oves no-till	71.86667			****

Další metoda spočívala v hodnocení pomocí kruhových infiltrometrů Mini Disk. Z grafu 19 je zřejmé, že nejlepší hodnoty kumulativní infiltrace dosahovala varianta číslo 2 s redukovanou technologií založení porostu pšenice ozimé. Zbylé varianty vykazovaly navzájem podobné hodnoty, přičemž nejhorší kumulativní infiltrace se projevila u varianty číslo 5 bez vegetace. Tato metoda ve výsledných hodnotách zjevně silně odráží stav povrchu půdy.

Graf 19 Kumulativní infiltrace při měření v červnu



7.4. Výsledky infiltrace kontrastního roztoku

Výsledky měření infiltrace roztoku Brillantní modři byly zpracovány jako černobílé snímky odpovídající přibližně profilu hlubokém 0,35 m a širokém 0,5 m, kde bílá barva označuje infiltrovaný roztok v půdě. Na obrázku 16 je výsledný snímek varianty 1, kde je patrné, že kontrastní roztok prostoupil do půdy zejména v horní vrstvě půdy a hlouběji se dostal jen sporadicky. To bylo pravděpodobně způsobeno přirozeným sesedáním půdy a výrazným odstupem od posledního kypření. Výrazný předěl mezi množstvím infiltrovaného roztoku odpovídá přibližně hloubce předseťové přípravy, která způsobila utužení pod seťové lůžko. Větší infiltrace pod tímto předělem je patrná jen několika místech a jen do hloubky odpovídající orbě. Významné rozrušení půdní struktury patrně nezpůsobily kořeny pšenice ozimé, což se u způsobu a hloubce zakořenění obilnin nedalo reálně předpokládat.

Obrázek 16 Snímek infiltrace barviva varianty číslo 1 po převedení



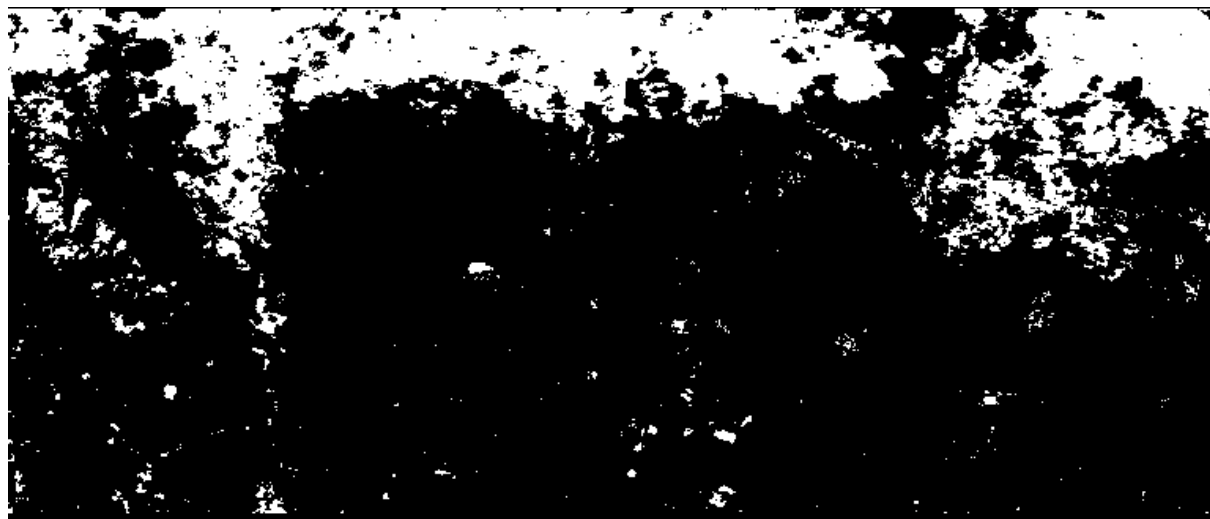
Z obrázku 17 je evidentní, že v případě varianty číslo 2 probíhala infiltrace téměř rovnoměrně v rámci celého profilu. Tento příznivý stav lze nepochybně přisoudit faktu, že redukované zpracování v tomto případě nezpůsobilo půdní zhutnění, které by bránilo prostupu vody do větších hloubek. Pozitivním aspektem tohoto způsobu zpracování půdy je rovněž zachování přirozené struktury půdy vedoucí například k ideální kapilaritě.

Obrázek 17 Snímek infiltrace barviva varianty 2 po převedení



Na obrázku 18 je vidět výsledek infiltrace v případě varianty číslo 3. Tato varianta je velmi podobná variantě číslo 1, avšak výsledek je mírně horší zejména v rozsahu a rychlosti infiltrace. Podobnost lze spatřit v jasném rozhraní infiltrace roztoku v hloubce odpovídající sekundárnímu zpracování půdy, které zřejmě bylo provedeno v době, kdy půda vykazovala vyšší vlhkost a půda tak byla náchylnější k negativním strukturním změnám.

Obrázek 18 Snímek infiltrace barviva varianty číslo 3 po převedení



Varianta číslo 3 na obrázku 19 prokázala prostup roztoku v rámci celého půdního profilu, avšak jeho rychlost byla pomalejší než v případě varianty číslo 2. Přestože půda nebyla v případě této varianty před setím nijak zpracována, probíhalo zasakování roztoku i do hlubších vrstev. Jelikož tento jev nelze přičítat kořenovému systému ovsa pro jeho strukturu a hloubku, lze usuzovat, že hlavní příčinou byla přirozená struktura půdy. Na základě tohoto faktu je možné využívat minimalizační technologie v případech potřeby zlepšení infiltračních vlastností půdy a snížení rizika eroze.

Obrázek 19 Snímek infiltrace barviva varianty 4 po převedení



Infiltrace roztoku na obrázku 20 byla provedena na variantě číslo 5 s černým úhorem. Infiltrace na této variantě probíhala lépe, než se očekávalo, a roztok se poměrně rychle dostával do povrchové vrstvy. Hluběji však infiltrovaný roztok téměř nezasáhl. Příčinou mohou být praskliny v půdě způsobené suchem, které se v rámci této varianty vyskytovaly ve větší míře než u variant s vegetací.

Obrázek 20 Snímek infiltrace barviva varianty číslo 5 po převedení



8. Diskuze

Základní myšlenkou pokusu bylo, že varianty s větším zakrytím povrchu půdy rostlinnými zbytky budou vykazovat zpomalení a celkové snížení povrchového odtoku spolu s nižšími hodnotami smyvu půdy. Naopak v případě variant založených konvenčními technologiemi zpracování půdy byl předpokládán povrchový odtok a smyv zeminy ve větší míře. Tyto predikce byly následně polním pokusem potvrzeny.

V případě variant, které byly založeny technologiemi spočívajícími v redukci zpracování půdy, byly na povrchu půdy ponechány rostlinné zbytky. To způsobilo optimální podmínky pro zpomalení odtékajících srážek, které tak měly menší energii pro odnos zeminy a současně se byly schopny infiltrovat do půdy větší množství. Rostlinné zbytky rovněž účinně ochránily povrch půdy před vlivem kinetické energie dopadajících kapek dešťových srážek na půdní strukturu, která tak nebyla náchylná k odnosu půdních částic. Tyto výsledky přímo korespondují s prací, kterou publikovali Hůla, Procházková et al. (2010). Ti navíc dodávají, že výše zmíněné pozitivní účinky rostlinných zbytků na povrchu půdy rovněž snižují šanci na vzniknutí povrchové krusty, která snižuje infiltraci vody do půdy a zvyšuje riziko eroze.

Oproti tomu nejvýraznější povrchový odtok a smyv zeminy byl předpokládán v případě kontrolní varianty bez vegetace. To se rovněž během polního pokusu potvrdilo. Hůla, Novák et al. (2010) obdobným pokusem naměřili rovněž nejvyšší hodnoty smyvu půdy v případě varianty bez vegetace, avšak povrchový odtok u této varianty zaznamenali nejnižší. Obecně celý jejich výzkum je v rámci smyvu zeminy přibližně shodný s výše naměřenými hodnotami. Při měření povrchového odtoku došli ovšem k opačným výsledkům, kdy nejvyšší povrchový odtok zaznamenali u variant s redukovaným zpracováním půdy.

Z naměřených hodnot je rovněž patrné postupné přibližování se jednotlivých variant k sobě s plynoucím časem od založení polního pokusu. Lze tak tvrdit, že použitá technologie zpracování půdy má nejvýznamnější účinek zejména v počátečních fázích vývoje vegetace, kdy není povrch půdy dostatečně zakryt a chráněn. S tím souvisí výzkum, který prováděla Horáková (2022), ve kterém uvádí, že povrchový odtok a infiltraci do značné míry pozitivně ovlivňuje povrchový pokryv půdy. Jako nejlepší variantu uvádí trvale travní porosty, které půdu před negativními vlivy chrání nepřetržitě. V případě orné půdy pak doporučuje využívat pro ochranu půdy meziplodiny a ponechání rostlinných zbytků na povrchu v co největší možné míře.

Při měření hydraulické vodivosti metodou SFH vykazovala nejlepší výsledky infiltračních schopností varianta s technologií přímého setí. Mírně horší hodnoty byly naměřeny v případě varianty s redukovanou technologií. Výrazný odstup od těchto variant měly hodnoty obou konvenčně založených variant a dle předpokladu nejhorší výsledky vykazovala varianta bez vegetace. S těmito výsledky přímo koresponduje měření Kameníčkové, Larišové a Stoklasové (2012), které během 3 let hodnotily vliv konvenční a redukované technologie na hydraulickou vodivost. Ve své práci došli k závěru, že opakovaným zpracováním půdy technologií s orbou se hydraulická vodivost na daném pozemku takřka nezměnila. Naproti tomu v případě opakování redukovaného zpracování po 3 roky došlo ke dvojnásobnému zlepšení hydraulické vodivosti.

V případě kumulativní infiltrace byly nejlepší výsledky naměřeny v případě varianty s redukovanou technologií zpracování půdy. Zbylé 4 varianty vykazovaly hodnoty horší, ale v navzájem velice blízkém rozsahu.

V případě poslední využití metody pro zhodnocení pomocí infiltrace kontrastního roztoku do půdy bylo z vytvořených snímků patrné, že nejlepší prostorové rozptýlení roztoku nastalo v případě varianty s redukovanou technologií. Obě varianty založené technologií s orbou vykazovaly zhutnění půdy, které bránilo roztoku v rovnoměrném rozptýlení a infiltraci do větší hloubky. Na základě hloubky, ve které se zhutnění nacházelo, bylo patrné, že příčinou jeho vzniku bylo pravděpodobně sekundární zpracování půdy. Mírným překvapením byla infiltrace kontrastního roztoku v případě kontrolní varianty s černým úhorem, která prokázala lepší výsledky, než se předpokládalo. To však mohlo být způsobené popraskáním půdní struktury vlivem sucha.

Z hlediska lepšího porovnání varianty s redukovanou technologií a varianty s přímým setím, by bylo vhodné polní pokus rozšířit ještě o další dvě varianty. První by byla založena na podzim technologií přímého setí s pšenicí ozimou a druhá by spočívala v založení porostu ovsa setého na jaře redukovanou technologií. Byl by tak eliminován vliv rozdílů vývojových fází porostů, které mají zásadní vliv na zpomalení povrchového odtoku a infiltraci dešťových srážek.

9. Závěr

V současné době je eroze půdy problém, který ve společnosti získává stále větší pozornost. Tento fakt je na jedné straně způsoben větším zájmem o změnu klimatu, která se v našich podmínkách projevuje například silnými nárazovými dešti, spolu se snahou maximalizovat výnos zemědělských plodin na straně druhé. S tím souvisí i zvýšené úsilí v oblasti výzkumu a rozvoje možných řešení v podobě organizačních, agrotechnických a technických možností, jak erozi půdy zabránit.

V rámci této práce byl hodnocen vliv technologií zpracování půdy a založení porostů na nežádoucí účinky vodní eroze. Výzkum se skládal ze 2 variant založených konvenční technologií, varianty založené redukovanou technologií, varianty s přímým setím a poslední byla varianta kontrolní bez vegetace. Na jednotlivých variantách byl po 4 měsíce hodnocen povrchový odtok a smyv zeminy, který byl způsoben dešťovými srážkami. Součástí polního pokusu bylo i měření infiltračních schopností půdy použitím metod SFH, Mini Disk a snímků půdy s kontrastním roztokem Brilantní modři.

Na základě naměřených výsledků byl potvrzen předpoklad, že minimalizace zpracování půdy povede ke snížení povrchového odtoku spolu s poklesem smyvu zeminy ve srovnání s konvenčním zpracováním půdy. Nejnižší hodnoty byli ve většině případů naměřeny u varianty s přímým setím a mírně horší hodnoty vykazovala varianta s redukovanou technologií. Varianty založené konvenční technologií vykazovali výrazně větší povrchový odtok a v některých případech více než dvojnásobný smyv zeminy oproti variantě s přímým setím. Zdaleka nejhorší výsledky měření pak dle předpokladu byly naměřeny u varianty bez vegetace. Nutné je rovněž podotknout, že vliv technologií zpracování půdy se s postupem času snižoval a naměřené hodnoty jednotlivých variant se k sobě postupně přibližovaly, což bylo způsobeno postupným vývojem vegetace, která půdu více chránila.

Na základě použitých metod pro posouzení infiltračních schopností půdy byly rovněž potvrzeny pozitivní důsledky minimalizačních technologií zpracování půdy na půdní strukturu a retenční schopnosti. Horší výsledky u variant založených konvenční technologií byly pravděpodobně způsobeny výskytem půdního zhutnění doloženého na kontrastních snímcích.

Z výsledků měření tak lze doporučit využití minimalizačních technologií na erozně ohrožených pozemcích, což povede k zvýšení infiltračních schopností půdy a snížení smyvu zeminy.

10. Seznam zdrojů

BEDNAR, c1997-2023. SWIFTER SN [online]. Dostupné z:

<https://www.bednar.com/swifter-sn/>

BENEŠ, P., 2022. Novinky pro ultramělké zpracování půdy. *Mechanizace zemědělství*. Roč. 72, č.7, s. 20-21. ISSN 0373-6776.

BENEŠ, P., 2021. Mechanické hubení plevelů namísto herbicidů. *Mechanizace zemědělství*. Roč. 71, č.10, s. 26-27. ISSN 0373-6776.

BRANT, V., BEČKA, D., CIHLÁŘ, P. et al., 2016. *Pásové zpracování půdy (strip tillage): klasické, intenzivní a modifikované*. Praha: Profi Press. ISBN 978-80-86726-76-2.

DOLAN, A., 2019. Stroje pro zpracování půdy [online]. České Budějovice. Dostupné z: <http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2019/09/szp-2019.pdf>

Farmet, c2023. Krtek [online]. Dostupné z: <https://www.farmet.cz/cs/hloubkovy-kypric-krtek#tab-CustomTab-956>

GODWIN, R. J., 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil & Tillage Research* [online]. S. 331-340. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198706001516>

HALENKA, M., 2015 Technologie zpracování půdy a jejich vliv na zaplevelení kukuřice seté. [online]. Brno. Dostupné z: https://theses.cz/id/no2ai2/zaverecna_prace.pdf

HÁBOVÁ, L., 2016. Vliv vodní eroze na polích na půdní faunu [online]. Olomouc. Dostupné z: <http://myriapoda.upol.cz/tuf/pdf/papers/Habova2017.pdf>

HEJDOVÁ, A., 2011. Posouzení fyzikálních vlastností půdy u konvenční a bezorebné technologie jejího zpracování [online]. České Budějovice. Dostupné z: <https://dspace.jcu.cz/bitstream/handle/123456789/11353/Hejdova-DP-2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HORÁKOVÁ, V., 2022. Infiltrační schopnost půdy a možnosti jeho ovlivnění [online].

Dostupné z: https://kmo.shmu.sk/media/files/2022/VH/Horakova_Vera-Infiltracni_schopnost_pudy_a_moznosti_jeho_ovlivneni.pdf

HORSCH, c2023. SPRINTER ST. [online]. Dostupné z:

<https://www.horsch.com/cs/produkty/vysev/radlickove-seci-stroje/sprinter-st>

HŮLA, J., NOVÁK, P., PETRÁSEK, S. et al., 2010. Povrchový odtok vody a smyv zeminy při pěstování kukuřice a ovsa setého. [online]. Praha. Dostupné z:

<http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2010/011.pdf>

HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B. et al., 2008. *Minimalizace zpracování půdy*. Praha: Profi Press. ISBN 978-80-86726-28-1.

HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B., BADALÍKOVÁ, B. et al., 2010. Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí [online]. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky. ISBN 978-80-86884-53-0. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/publikace/2010/079.pdf>

JAVOREK, F., 2022. Nabídka kypričů pro různé využití *Mechanizace zemědělství*. Roč. 72, č.9, s. 30-33. ISSN 0373-6776.

JAVŮREK, M., VACH, M., 2008. *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění* [online]. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-87011-57-7.

Dostupné z:

https://www.agro.basf.cz/Documents/jin%C3%A9/migrated_files/information_material_files/dal_materi_ly_files/isbn978_80_87011_57_7.pdf

KAMENÍČKOVÁ, I., LARIŠOVÁ, I., STOKLASOVÁ, A., 2012. Vliv různých agrotechnologií na nasycenou hydraulickou vodivost Ks hlinité půdy v lokalitě Bohaté Málkovice [online]. Brno. *Littera Scripta*, Roč. 5, č. 2, s.233-242. Dostupné z:

<https://littera-scripta.com/wp-content/uploads/2019/05/Vliv-r%C3%B9zn%C3%BDch-agrotechnologi%C3%AD-na1.pdf>

KARÁSKOVÁ, M., 2022. Univerzální pomocník pro menší farmy. *Mechanizace zemědělství*. Roč. 72, č.8, s. 46-47. ISSN 0373-6776.

KOVAŘÍČEK, P., HŮLA, J., NÝČ, M. et al., 2017. *Užití kypřičů v technologiích zpracování půdy bez orby: metodická příručka* [online]. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky. ISBN 978-80-7569-001-2. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2017/070.pdf>

KŘEN, J., NEUDERT, L., PROCHÁZKOVÁ, B. et al., 2015. *Obecná produkce rostlinná* [online]. Brno. ISBN 978-80-7509-327-1. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-obecna_produkce_rostlinna_2._cast_-_kren.pdf

KVÍTEK, T., TIPPL, M., 2003. *Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině* [online]. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN 80-7271-140-7. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Tomas-Kvitek/publication/47103172_Ochrana_povrchovych_vod_pred_dusicnany_z_vodni_eroze_a_hlavni_zasady_protierozni_ochrany_v_krajine/links/583c30b108ae1ff45982b40b/Ochrana-povrchovych-vod-pred-dusicnany-z-vodni-eroze-a-hlavni-zasady-protierozni-ochrany-v-krajine.pdf

KWS Osiva s.r.o.. *Technologie základního zpracování půdy* [online]. Dostupné z: <https://www.kws.com/cz/cs/poradenstvi/zakladani-porostu/zpracovani-pudy/technologie-zakladniho-zpracovani-pudy/>

PANAGOS, P., BALLABIO, C., HIMICS, M. et al., 2021. Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050 [online]. *Environmental Science and Policy* s 380-392. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1462901121001970?token=37E8BDB523D4618531074D0A96771B5351D1ED4CFA27628C68653B67AB20FB7B8289320105CF0FD54EA39FD6F686ACB3&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230320121858>

PIŠL, S., 2018. *Vliv použitého náradí na kvalitu zpracování půdy* [online]. České Budějovice. Dostupné z: <https://dspace.jcu.cz/handle/123456789/39024>

PÖTTINGER, c2023. *FLEXCARE V Sklopné radličkové plečky* [online]. Dostupné z: https://www.poettinger.at/cs_cz/produkte/detail/flexv/flexcare-v-sklopne-radlickove-plecky

RŮŽIČKA, J., 2009. Porovnání talířových a radličkových podmítačů z hlediska kvality provedené podmínky a spotřeby pohonných hmot [online]. České Budějovice. Dostupné z: <https://dspace.jcu.cz/handle/123456789/10597>

SPOOR, G., 2006. Alleviation of soil compaction: requirements, equipment and techniques. *Soil Use and Management* [online]. s. 113-122. Dostupné z: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1475-2743.2006.00015.x?saml_referrer

STEJSKAL, M., 2013. Vliv minimalizační technologie zpracování půdy na regulaci plevelů v porostech obilnin [online]. České Budějovice. Dostupné z: https://theses.cz/id/17adef/Vliv_minimalizan_technologie_zpracovn_pdy_na_regulaci_ple.pdf

TOMIŠKA, Z., 2009. Degradace půdy pod vlivem zhutňování. *Úroda* [online]. 2009 (09), s. 65-66. Dostupné z: <https://www.profiipress.cz/archiv/uroda-092009/?text=kyp%C5%99en%C3%AD%20p%C5%AFdn%C3%ADho%20profilu#page/65>

11. Seznam obrázků

Obrázek 1 Poloha překlopených skýv v závislosti na hloubce zpracování.....	2
Obrázek 2 Stroj pro pásové zpracování půdy Eco Tiller 600.....	5
Obrázek 3 Přímé setí strojem AUROCK 6000 R/RC značky KUHN.....	6
Obrázek 4 LEMKEN Koralin 9.....	9
Obrázek 5 Köckerling Trio 300.....	11
Obrázek 6 Předset'ový kompaktor BEDNAR SWIFTER SN.....	13
Obrázek 7 Radličková secí botka HORSCH Duett pro ukládání hnojiva pod osivo.....	15
Obrázek 8 Radličková plečka FLEXCARE od firmy Pöttinger.....	16
Obrázek 9 Dolan: Dvoustranný klín v nesoudržné půdě.....	17
Obrázek 10 Dolan: Třístranný klín.....	18
Obrázek 11 Spoor: Narušení půdy na základě rozteče pracovních těles.....	21
Obrázek 12 Eroze půdy způsobená vydatnými srážkami v porostu kukuřice.....	23
Obrázek 13 Schématické znázornění pásového střídání plodin.....	25
Obrázek 14 Měření Mini Disky a SFH metodou.....	29
Obrázek 15 Povrch po aplikaci roztoku Brilantní modři.....	30
Obrázek 16 Snímek infiltrace barviva varianty číslo 1 po převedení.....	44
Obrázek 17 Snímek infiltrace barviva varianty 2 po převedení.....	45
Obrázek 18 Snímek infiltrace barviva varianty číslo 3 po převedení.....	45
Obrázek 19 Snímek infiltrace barviva varianty 4 po převedení.....	46
Obrázek 20 Snímek infiltrace barviva varianty číslo 5 po převedení.....	46

12. Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní fyzikální vlastnosti půdy.....	31
Tabulka 2 Homogenní skupiny pro hodnocení metodou SFH.....	42

13. Seznam grafů

Graf 1 Závislost relativní ztráty půdy na pokrytí povrchu půdy mulčem.....	4
Graf 2 Úhrn a intenzita srážek v měsíci květen.....	32
Graf 3 Povrchový odtok po deštích v polovině května.....	33
Graf 4 Smyv zeminy po deštích v polovině května.....	33
Graf 5 Úhrn a intenzita srážek v měsíci červen.....	34
Graf 6 Povrchový odtok po dešti a krátké bouřce v období 26. – 27. června.....	34
Graf 7 Smyv zeminy po dešti a krátké bouřce v období 24. – 26. června.....	35
Graf 8 Povrchový odtok po dvou bouřkách v období konce června.....	36
Graf 9 Smyv zeminy po dvou bouřkách v období konce června.....	36
Graf 10 Úhrn a intenzita srážek v měsíci červenec.....	37
Graf 11 Povrchový odtok při prudké bouřce koncem července.....	38
Graf 12 Smyv zeminy při prudké bouřce koncem července.....	38
Graf 13 Úhrn a intenzita srážek v měsíci srpen.....	39
Graf 14 Povrchový odtok při prudkém dešti v polovině srpna.....	40
Graf 15 Smyv zeminy při prudkém dešti v polovině srpna.....	40
Graf 16 Povrchový odtok při prudkém dešti na konci srpna.....	41
Graf 17 Smyv zeminy při prudkém dešti na konci srpna.....	41
Graf 18 Nasycená hydraulická vodivost metodou SFH červen.....	42
Graf 19 Kumulativní infiltrace při měření v červnu.....	43